

# Verkenning herstel­mogelijkheden duindynamiek Westduinen (Schouwen)

L. van der Valk (red.)  
S.M. Arens  
A. Koomen  
M.A.J. Bakker



Ministerie van Economische Zaken

© 2013 Directie Agro-kennis, Ministerie van Economische Zaken

Rapport nr. 2013/OBN184-DK  
Den Haag, 2013

Deze publicatie is tot stand gekomen met een financiële bijdrage van het Ministerie van Economische Zaken

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Deze uitgave kan schriftelijk of per e-mail worden besteld bij het Bosschap onder vermelding van code 2013/OBN184-DK en het aantal exemplaren.

Foto voorkant Anton van Haperen, Staatsbosbeheer

Oplage 150 exemplaren

Samenstelling Bert van der Valk, Deltares (red.)  
Bas Arens, Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek  
Arjan Koomen, Alterra  
Marcel Bakker, TNO

Druk Ministerie van EZ, directie IFZ/Bedrijfsuitgeverij

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



# Voorwoord

Het doel van het Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (O+BN) is het ontwikkelen, verspreiden en benutten van kennis voor bos- en natuurbeheerders over natuurherstel, Natura 2000, leefgebiedenbenadering en ontwikkeling van nieuwe natuur.

In het kader van Natura 2000 worden in Europees perspectief zeldzame soorten en vegetatietypen in Nederland beschermd. Eén van de habitattypen die vallen onder Natura 2000 is H2130 Grijze duinen, welk in dit rapport centraal staat.

Ten behoeve van het halen van Natura 2000 doelen is de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) ontwikkeld. Hieruit voortkomend worden herstelstrategieën opgesteld om de betreffende habitattypen er boven op te helpen. Een zekere mate van duindynamiek is een belangrijk aspect van de Grijze duinen. Inzicht in de sturende processen rond duindynamiek is nodig om een goed onderbouwd plan voor herstelstrategieën uit te werken. Juist aan vergroting van dit inzicht wil dit rapport bijdragen.

Op verzoek van het OBN deskundigenteam Duin- en Kustlandschap, Provincie Zeeland, en de twee grote duinbeheerders Staatsbosbeheer en Natuurmonumenten op Schouwen, is een verkenning uitgevoerd naar de herstelmogelijkheden van duindynamiek in de Meeuwenduinen en de Zeepeeduinen (beide onder de noemer Westduinen Schouwen in dit rapport).

Hoofdvraag is welke sturende factoren in het verleden hebben geleid tot het ontstaan van verschillende vormen van grootschalige en kleinschalige dynamiek. Daarbij is het nodig vast te stellen welke belangrijke *bottle necks* zich voordoen bij het herstel van de dynamische processen op verschillende schalen.

Dit rapport geeft voor het eerst inzicht in de (lage) voortplantingssnelheid van enkele 18<sup>e</sup> eeuwse duinvormen, toen het duinlandschap nog algemeen stuivend was. Dit gegeven biedt goede perspectieven voor een aanzet tot duurzaam herstel van grootschalige duindynamiek als eenmaal de dynamiserende maatregelen in het Schouwense duinlandschap genomen zijn. Lees de discussie in hoofdstuk 10 en de conclusie in hoofdstuk 11 voor aanbevelingen voor het beheer.

Ik wens u veel leesplezier.

Drs. E.H.T.M. Nijpels  
Voorzitter Bosschap

## Summary

The organisation OBN expert team Dunes and Coastal areas, the Province of Zeeland and the two major local nature conservation authorities in the area Staatsbosbeheer and Natuurmonumenten have requested a pilot study into the possibilities to restore the natural dynamic conditions of the dune landscape in the Meeuwenduinen and the Zeepeduinen areas, jointly called Westduinen Schouwen in this report. After studying the history of dune dynamics in the area, restoration measures were designed, mainly using sequential data showing the decline of mobile sand surfaces. The historic build-up of dunes was studied using ground penetration radar, and selected foresets of individual dune forms were dated by using the quartz luminescence method (an application not tried before in The Netherlands). The results of the dating suggests a low propagation speed of individual dune forms during the 17<sup>th</sup> and 18<sup>th</sup> century (less than 1 m/yr.). Meteorological data show that the current prevailing weather conditions are not significantly different from those in the early 20<sup>th</sup> century, when a huge proportion of dune area was mobile. This suggests that restoration of dune sand mobility may be successful. Therefore it is recommended that a wide (ca. 1 km perpendicular to prevailing wind directions) and deep area (ca. 2,5 km) is selectively cleared of vegetation, predominantly on the southern slopes, and if necessary, in several phases. To ensure continued exposure to wind dynamics strong enough to move large quantities of sand, access from the beach and through the sea-front dunes is needed. Removing vegetation from the southern slopes will allow higher exposure to winds and therefore sand to other vegetated areas nearby, to the extent that these areas will become dynamic as well.

# Samenvatting

Op verzoek van OBN deskundigenteam Duin- en Kustlandschap, Provincie Zeeland, en de twee grote duinbeheerders Staatsbosbeheer en Natuurmonumenten op Schouwen is een verkenning uitgevoerd naar de herstelmogelijkheden van duindynamiek in de Meeuwenduinen en de Zeepeduinen (beide onder de noemer Westduinen Schouwen in dit rapport). De herstelmaatregelen zijn opgesteld na bestudering van de verstuiwingsgeschiedenis van het gebied, vooral aan de hand van de afname oppervlaktes kaal zand. Ook is de interne opbouw bestudeerd door middel van grondradar en zijn geselecteerde duinafzettingen in de tijd geplaatst door middel van luminescentie dateringen (dit is nieuw voor Nederland). Daaruit bleek dat in de 17e en 18e eeuw paraboolduinen nog maar met lage snelheden bewogen ( $< 1$  m per jaar). De meteorologische gegevens tonen aan dat de huidige weersomstandigheden niet significant anders zijn dan in de 20e eeuw toen er nog veel duin stoof. Er is dus toekomstperspectief voor het herstel van duindynamiek. Daartoe dient een breed gebied (ca. 1 km) over de gehele diepte van het duinmassief (2,5 km) grotendeels van vegetatie ontdaan te worden (vooral de zuidhellingen), eventueel in fasen. Voor een continue aanvoer van dynamiek (en zand) is aansluiting op het strand en de zeereep (met daarin stuifsluven) belangrijk. Door het vrijmaken van de zuidhellingen kunnen andere delen door de natuurlijke her-mobilisatie van zand eveneens weer gedynamiseerd worden.



# Inhoudsopgave

<b>Samenvatting</b>	<b>6</b>
<b>Inhoudsopgave</b>	<b>8</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>7</b>
1.1 Doelen	7
1.2 Vraagstelling	7
1.3 Opzet rapport	7
1.4 Dankwoord	8
<b>2 Synthese historische ontwikkeling</b>	<b>9</b>
<b>3 Aanpak</b>	<b>14</b>
3.1 Analyse van de huidige geomorfologie op basis van het AHN	14
3.2 Patroonanalyse op basis van luchtfoto's	14
3.3 Analyse van historische kaarten	15
3.4 Ground Penetrating Radar (GPR)	15
3.5 Dateringen met Optisch geStimuleerde Luminescentie (OSL)	16
3.6 Sturende processen	17
<b>4 Methoden</b>	<b>18</b>
4.1 Historische ontwikkeling duindynamiek	18
4.2 Ground Penetrating Radar (GPR)	18
4.3 Dateringen met Optically Stimulated Luminiscence (OSL)	20
4.4 Meteorologie	21
4.4.1 Windrichting- en snelheid	22
4.4.2 Berekeningen transportvectoren	22
4.4.3 Neerslaggegevens	23



4.5	Gebruikte gegevens karteringen	23
4.5.1	Luchtfoto's	23
4.5.2	Karteringen SBB	24
4.5.3	Aanvullende karteringen	24
<b>5</b>	<b>Resultaten Ground Penetrating Radar</b>	<b>26</b>
<b>6</b>	<b>Resultaten dateringen Optisch geStimuleerde Luminescentie (OSL)</b>	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>Verstuivingshistorie en sturende processen</b>	<b>36</b>
7.1	Uitgevoerde studies	36
7.2	Geomorfologie	36
7.3	Ontwikkeling verstuivingen	37
7.4	Verstuivingsdynamiek op basis van het AHN	40
7.5	Meteorologie	44
7.5.1	Wind	44
7.5.2	Transportberekeningen	44
7.6	Neerslaggegevens	45
<b>8</b>	<b>Integratie</b>	<b>48</b>
<b>9</b>	<b>Uitwerking herstel-ingrepen</b>	<b>50</b>
9.1	Algemene beschrijving	50
9.1.1	Systeemvisie	51
9.1.2	Systeemherstel	52
9.2	Toepassing voor de Kop van Schouwen	54
9.3	Oplossingsrichting ingrepen	55
9.4	Uitwerking per deelgebied	55
<b>10</b>	<b>Discussie</b>	<b>58</b>
<b>11</b>	<b>Conclusies</b>	<b>61</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>63</b>
<b>Bijlage 1</b>	<b>Kaarten van kaal zand karteringen</b>	<b>67</b>
<b>Bijlage 2</b>	<b>Meteo</b>	<b>78</b>
<b>Bijlage 3</b>	<b>Zandtransportberekeningen</b>	<b>80</b>

<b>Bijlage 4</b>	<b>Beschrijving profielkuilen t.b.v. OSL-monsters</b>	<b>82</b>
<b>Bijlage 5</b>	<b>Windrozen</b>	<b>84</b>
<b>Bijlage 6</b>	<b>Luminiscentiedateringsrapport</b>	<b>86</b>
<b>Bijlage 7</b>	<b>Kaarten Herstelplan Schouwen</b>	<b>101</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Doelen

Het eerste doel van dit onderzoek is een reconstructie van dynamische aardkundige processen, die in de afgelopen 1200 jaar hebben geleid tot het ontstaan van duinen van de Meeuwenduinen en het Zeepe op Schouwen (voor dit onderzoek samen genoemd: de Westduinen). Met de resultaten van deze analyse moeten vervolgens aanbevelingen worden gedaan voor het herstel van de grootschalige en kleinschalige duindynamiek in dit gebied. Het doel is dus tweeledig. Ten eerste kennisontwikkeling, maar niet per se voor de kennis, maar voor toepassing in de praktijk: het herstel (het tweede doel). Dat neemt niet weg dat hier een uitgelezen kans ligt om ons begrip van het ontstaan van grote duinstructuren aanmerkelijk te verbeteren, iets wat al jaren op het verlanglijstje staat van duinonderzoekers in Nederland. De inzichten door middel van dit project te verkrijgen, zijn hard nodig om de processen die met dynamisering te maken hebben, te kunnen begrijpen, niet alleen op Schouwen, maar ook ten behoeve van andere duingebieden in Nederland.

## 1.2 Vraagstelling

Hoofdvraag is welke sturende factoren in het verleden hebben geleid tot het ontstaan van verschillende vormen van grootschalige en kleinschalige dynamiek. De vraag is vervolgens hoe en of deze dynamiek thans, nu de Westduinen in belangrijke mate zijn gefixeerd, kan worden hersteld. Bijkomende vraag is dan welke factoren in de Westduinen tot deze fixatie hebben geleid. Er moet zowel aandacht zijn voor herstel van de macrodynamiek (loopduinen en grootschalige paraboolduinen) als voor de meer kleinschalige dynamiek van lokale windkuilen. Centrale vraag is welke belangrijke bottle necks zich voordoen voor herstel van verschillende dynamiekvormen en hoe deze kunnen worden opgeheven dan wel gemitigeerd. Daarbij moeten relaties worden gelegd met andere aspecten van het kust- en duinbeheer, zoals kustsuppleties, zeereepbeheer, bosbeheer en begrazing.

## 1.3 Opzet rapport

Dit onderzoek bestaat uit 4 deelonderzoeken waarover in verschillende hoofdstukken wordt gerapporteerd. Het eerste deelonderzoek geeft een synthese van de historische ontwikkeling, op basis van bestaande kennis en nieuwe analyses van bestaande gegevens (Hoofdstuk 2). Hiervoor is een gedetailleerde analyse gemaakt van het reliëf in het gebied met behulp van het recentelijk beschikbaar gekomen AHN2 (Algemeen Hoogtebestand Nederland), aangevuld met een analyse van historische kaarten. De meer recente processen zijn onderzocht met behulp van sequentiële luchtfoto-

analyse. Hierbij is tevens een analyse van meteorologische gegevens verricht. De gebruikte methoden worden toegelicht in Hoofdstuk 3. Op grond van de verkregen inzichten in de geomorfologie is een raaiennetwerk vastgesteld waarlangs met Ground Penetrating Radar (GPR) de ondergrond is onderzocht. Dit is het tweede deelonderzoek (Hoofdstuk 4). Analyse van de GPR gegevens geven een gedetailleerd inzicht in de opbouw van de ondergrond en de interne opbouw van de grotere geomorfologische structuren. Deze analyse is vervolgens gebruikt om met goede argumenten op de juiste plaatsen monsters te nemen om de loopsnelheid van de paraboolduinen met Optically Stimulated Luminescence (OSL) te dateren (Hoofdstuk 5). Dit derde deelonderzoek geeft nog meer inzicht in de landschappelijke ontwikkeling. Aan de hand van de dateringen is het inzicht in de dynamiek en migratiesnelheid van grotere paraboolsystemen verkregen. In hoofdstuk 6 worden de resultaten van de OSL analyse besproken.

Door alle inzichten uit alle deelonderzoeken te bundelen wordt in Hoofdstuk 7 duidelijk gemaakt wat de sturende processen zijn binnen het landschap. Op basis van de deelonderzoeken is een hoofdstuk 8 'integratie' geschreven. Inzicht in deze sturende processen is nodig om een goed onderbouwd plan voor herstelstrategieën uit te werken (Hoofdstuk 9). Hoofdstukken 10 en 11 bevatten tenslotte de discussie en de conclusies.

## **1.4 Dankwoord**

De auteurs danken de begeleidingscommissie onder voorzitterschap van Anton van Haperen (Staatsbosbeheer), met daarin Mirjam Kuzee en Welmoed Hollemans (provincie Zeeland), Wouter van Steenis (OBN/Natuurmonumenten), Marten Annema (Natuurmonumenten/Evides), Camiel Beijersbergen en Sander Terlouw (Staatsbosbeheer) en adviseur-vrijwilliger Frans Beekman. Staatsbosbeheer en Natuurmonumenten worden bedankt voor het ter beschikking stellen van hun vergaderruimtes op Schouwen en te Rotterdam. Daarnaast danken we ook de Staatsbosbeheer-vrijwilligers die gastheer waren in de veldschuur op Westenschouwen en actief waren in het veld bij het graven en weer dichtgooien van de profielkuilen voor de OSL dateringen!

## 2 Synthese historische ontwikkeling

In de dissertatie over de geomorfologie en bodems van de kustduinen van Klijn (1981) is een eerste systematische beschrijving van de Nederlandse kustduinen gemaakt. In het kader van de Geomorfologische kartering van Nederland op de kaartbladen langs de kust op schaal 1: 50.000 zijn patronen en vormen in beeld gebracht. Beekman (2007) heeft inzicht gegeven in de randvoorwaarden voor het ontstaan van de grote duinstructuren op Schouwen. Het rapport van Van der Valk en Beekman (2011) over archeologische vondsten in relatie tot de geologie van de duinen, heeft tot nieuwe aanwijzingen geleid voor ontstaan en ontwikkeling van de kustduinen op Schouwen.

### **De Kop van Schouwen onder het zand (Beekman, 2007)**

In de loop van de 10e eeuw maar mogelijk vroeger begint het Jonge Duin vanuit het zuidwesten het Oude Duin te overstuiven, eerst nog buiten de huidige kustlijn. De volgende eeuwen tonen een zeer dynamisch beeld van een veranderende kustlijn als gevolg van de grote veranderingen in het achterland van de Oosterschelde, en door de verbindingen van dit enorme Oosterschelde bekken met de Noordzee. Kortsluitgeulen voor de Kop van Schouwen eroderen de duinkust aan de voorzijde, en de duinkliffen vormen zo een aangrijpingspunt voor de wind. Bij gebrek aan organisatie en mankracht had de middeleeuwse mens geen verweer tegen dit soort natuurgeweld en schoof de landwaartse grens van het Jonge Duin steeds verder de Kop van Schouwen op, en dwong de boeren de bewoning en het gebruik van de grond op te geven. Tot 1250 is er sprake van een zandzee waarvan de binnenduinrand met een snelheid van eerst 3 maar later van 25 m per jaar naar het noordoosten schoof. De kustlijn volgde mee naar het oosten. Uiteindelijk werd ca. 10 km<sup>2</sup> land overdekt met duinzand. De ontstane duinvalleien werden vanaf de 13e eeuw weer als weidegrond in gebruik genomen. De binnenduinrand van dit loopduin werd gestabiliseerd en is na 1300 niet veel meer verder opgerukt (maar is wel hoger geworden door de voortdurende beplantingsactiviteiten).

Van de 14e tot en met de 17e eeuw is bekend dat het vrij rustig was in het duingebied, met alleen lokale verstuivingen. Vanaf de 16e eeuw wordt na elke storm helm geplant in de zeereep om te proberen deze vast te leggen. Na de 16e eeuw werd de komberging in het Oosterscheldebekken groter, en bijgevolg nam de activiteit en de eroderende kracht van de geulen in de Oosterschelde toe. Het Krabbengat ontstond en zorgde voor veel kusterosie. De kusterosie veroorzaakte verbindingen tussen de kust en de eerder uitgeblazen valleien achter de zeereep, waardoor de wind vat kon krijgen op het zand. De kust trok zich binnen 1 eeuw (1650-1750) over 750 meter terug. Er ontstond een nieuwe duinrug, die zich met 12,5 m per jaar in noordoostelijke richting verplaatste. Door beplanting met helm liep deze rug later minder snel naar binnen dan het eerdere loopduin. Grotere beplantingsactiviteit bracht de rug tenslotte, nu ongeveer op de grens tussen Meeuwenduinen en Zeepeduinen, tot stilstand. Ook die rug werd hoger, wel tweemaal zo hoog als de eerste, door intensief voortgezette beplantingen.

Verregaande verwaarlozing van de duinplantingen vanaf het laatste kwart van de 19e eeuw leidde vanaf de twintiger jaren van de vorige eeuw tot grootschalige verwoestijning van het gebied. In combinatie met verdere vergroting van de geulen van de Oosterschelde leidde dit opnieuw tot sterke kusterosie voorlangs de kust van de Kop van Schouwen. Er ontstonden weer kortsluittracé's tussen het strand met de klifduinen en de laaggelegen valleien erachter. Er ontstond zelfs overlast op het binnenduingebed door stuifzand. Vanaf de eerste wereldoorlog is de overheid weer begonnen met vastlegging en beplanting met bos. Met een pauze in de 2e wereldoorlog, waarin het duin omwoeld werd ten behoeve van de bunkerbouw en door militair gebruik ervan, voorkwam dit beplantingsprogramma het ontstaan van een derde duinrug.

Morfologische monitoring naast archeologische waarnemingen 2007-2011 Tijdens de archeologische monitoring van de stuifvalleien in het westelijke deel van de Meeuwenduinen zijn ook geologisch-morfologische waarnemingen gedaan. Uit het rapport Van der Valk en Beekman (2011) zijn de volgende ontwikkelingen ontleend.

In het noordelijke profiel in één van de stuifkuilen, de Nieuwe Westerse Laagte (voor de ligging zie fig. 7.6) was een gefaseerd opgebouwd duinprofiel te zien. Reconstruerend is de volgende fasering opgesteld (Tabel 2.1):

*Tabel 2.1: Stratigrafie Nieuwe Westerse Laagte en inschatting van de ouderdom van de verschillende bodems c.q. bodemcomplexen en duinfasen. Ook de schatting van de afstanden tot de kust ten tijde van vorming is aangegeven. Eenheid D is Oude Duin; de eenheden C, B en A behoren tot het Jong Duin. Eenheid C is dezelfde duinfase als die van de binnenduinrand rondom het Zeepe. Eenheid B is de 16-17e eeuwse verstuiving; eenheid A is de meest recente verstuiving die later door SBB is vastgelegd (naar: Van der Valk en Beekman, 2011).*

*Tabel 2.1: Dune stratigraphy in the Nieuwe Westerse Laagte and age estimates of the different soil horizons and soil horizon complexes and sedimentation phases. Equally estimates of distance to the coast at the moment of dune formation. Eenheid (=unit) D is Older Dune; units C, B, and A belong to the Younger Dunes. Unit C is assumed to belong to the same lithological unit as the precipitation ridge east of the Zeepe duinen.*

bodemcomplexen	zandpakketten	stuifperiode	periode met bodemvorming	afstand tot de toenmalige kust (m)
1			Vanaf 1920 AD	125
	A	1880-1920 AD		
2			1700-1880 AD	500
	B	1600-1700 AD		
3			1100-1600 AD	1000
	C	975-1100 AD		
4			500 vChr-975 AD	1500
	D	voor 500 v Chr.		

De afnemende afstanden naar de kust geven aan hoe snel die naderbij kwam. De huidige valleien stuiven alleen maar omdat de grondwaterspiegel omlaag is getrokken door de eroderende kust. Door vernatting is de snelheid van verdieping in die valleien afgeremd. Die vernatting is deels het gevolg van de verdieping door uitblazing, maar deels ook van een toegenomen neerslagoverschot gedurende de laatste jaren. Er kan verwacht worden dat ook deze laatste nu nog maar marginaal stuivende valleien vrijwel dicht gaan groeien en alleen aan de oostrand nog wat uitbreiding zullen vertonen. De wind kan de verstuiving naar alle waarschijnlijkheid niet in stand houden; de vegetatie verdicht nu sterk en rukt op tot vlak aan de stuifrand

(veldwaarnemingen eerste auteur, 2008-2011; Van der Valk en Beekman, 2011).

### **Kustbeheer van de natte en droge kust**

De afsluiting van de Grevelingen en de verkleining van het getijdvolume in de Oosterschelde door de aanleg van de stormvloedkering is van grote invloed geweest op de grootschalige morfologische ontwikkeling van de natte kust. Sommige geulen werden ondieper (Brouwershavense Gat) en op de voordelta ontstonden brekerbanken die zich eerst snel verplaatsten en later meer gestabiliseerd raakten. De invloed van golven nam toe ten opzicht van die van de getijden op de morfologische ontwikkeling. Het Krabbengat breidde zich in noordelijke richting uit. Vanaf 1970 is er gesuppleerd op Schouwen, vanaf 1990 frequent (= 1 x per 2 jaar). De grotere suppleties zijn vooral uitgevoerd als strandsuppleties (en een enkele keer als duinversterking); deze liggen voor de Kop van Schouwen. En tweede (kleinere) suppletielokatie is het strand van Renesse, buiten ons interessegebied. Het suppletievolume is ca. 0.3 Mm<sup>3</sup> per jaar (1990-2009). Tweemaal is er 'morfologisch gebaggerd' waarbij zand van de buitenbocht van het Krabbengat is neergelegd in de binnenbocht, ofwel het strand van Westenschouwen.

Voor de Kop van Schouwen kan de volgende samenvatting gegeven worden. Het is een erosief stuk kust dat vaak gesuppleerd is. De trend van de GLW en GHW en duinvoetposities is voor het grootste deel negatief. Er komen zandgolven voor (tijdelijke kustlangs bewegende zandvolumes). Het is onduidelijk waar deze zandgolven vandaan komen. Mogelijk staan ze in relatie tot het Krabbengat. De suppleties houden de Momentane Kust Lijn (MKL) overeind en in het zuiden loopt deze zelfs iets uit richting zee (Van der Werf et al., 2011).

Voor 1996 werd de zeereep intensief onderhouden. In de jaren 1950 werd de zeereep zelfs geheel ingepakt (Figuur 2.1). Sinds 1996 wordt de zeereep niet meer ingeplant met helm. De gevolgen daarvan laten zich hier en daar zien door de vestiging van windsleuven in de zeereep. Vooral voor het noordelijk deel van het bos is dit het geval, maar ook verder naar het noorden vertoont de zeereep inmiddels de nodige windsleuven, al zijn die nog niet breed. De meest actieve stuifgebieden bevinden zich bij de strandopgangen. Achter de windsleuven vormen zich zandaccumulaties die de potentie hebben zich te ontwikkelen tot kleine parabolen. De beheerder (waterschap de Scheldestromen) en de drinkwaterproducent (Evides, die een concessie heeft in het noordelijk deel van het bos) houden de ontwikkeling scherp in de gaten.



*Figuur 2.1: Op deze foto uit 1959 wordt het noordelijke gedeelte van de Meeuwenduinen getoond, plus de Verklikkerduinen, ten noorden van het pad naar zee ('t Oude Vuur). In de Meeuwenduinen zijn bijna alle opengestoven vlaktes bezet met rijshoutschermen, en daartussen met helm, niet alleen in de zeereep, maar tot aan de achterrand van de Jonge Duinen tot het vliegveld aan toe. De Verklikkerduinen zijn met verschillende dichtheden rijsscherm bezet, waartussen helm. Op het strand ligt een bunker, afgegleden van de steilrand langs de zee. Foto: Topografische Dienst Emmen (1959), beeld verkregen via Marinus van Dijke (Schouwen-Duiveland).*

*Figure 2.1 This 1959 oblique aerial photograph shows the northern part of the Meeuwenduinen, as well as the Verklikkerduinen, the latter north of the 'Oude Vuur' footpath to sea. The Meeuwenduinen show most mobile sand areas are planted with willow branch wind screens. Marram grass is planted in between these screens, not only in the sea-front dunes, but equally in the dune area up to the airstrip. The Verklikkerduinen were planted with different densities of willow branch wind screens, with Marram grass planted in between. At the beach a 1944 pillbox that was originally built on high coastal dune can be seen, demonstrating coastal erosion since then.*

Recent is de kust van geheel Nederland onderzocht, in het kader van het Kustlijnzorg-ecologie project (RWS-Waterdienst en Deltares), op de responstypen van de kust op de suppleties die van tijd tot tijd aangebracht worden. De relatie tussen suppleties en zeereepgedrag is uitgewerkt door Arens et al., (2010).

### **Recente beheergeschiedenis van de Meeuwenduinen**

Het beheer van Rijkswaterstaat van de duingebieden van Schouwen was er eerst en vooral op gericht om de veiligheid te dienen. Een sluffertje bij de Rijkszeewering (noordrand Schouwen) is in de 60-er jaren van de vorige eeuw nog dichtgestopt. Een groot gedeelte van het meer naar binnen gelegen deel van de Meeuwenduinen is ook in die jaren overgedragen aan Staatsbosbeheer. Vanaf 1968 zijn er nog veel rijshoutschuttingen geplaatst (waarvan de enkele wilgenbosjes her en der in de duinen nog getuigen) en ook nog veel helm gepoot. Pas in de 80-er jaren van de vorige eeuw is men opgehouden met deze werkzaamheden en werd het onderhoud dmv helm



poten beperkt tot de zeereep (en de strook tot 300 m achter de kustlijn). Successievelijk werd ook dit onderhoud minder. Daarna kwam de overdracht aan het Waterschap bij het inzetten van het beleid tot het handhaven van de kustlijn (het BKL beleid, 1991). De zeer grote strand- en duinsuppletie van 1993-4 is nog wel geheel met helm beplant. Deze suppletie omvatte 4 Mm<sup>3</sup>. Kort en goed: het duinonderhoud stond tot midden in de 70er jaren geheel in het teken van stabilisatie. De gestage wens om meer natuurlijke duinen te zien en kostenbesparingen hebben de omslag naar een meer natuurlijk duin bewerkstelligd (bron: interview met de heer Jaap Geleijnse, Zierikzee, oud-medewerker van RWS, april 2012). Achteraf kunnen we constateren dat het vastleggingsbeleid tot aan ca. 1975 uitstekend gewerkt heeft, en in de periode daar onmiddellijk na, kreeg de net geplante duinvegetatie een enorme kick-start door de in die periode sterk stijgende stikstofdepositie vanuit de lucht (zie voor de effecten van stikstofdepositie op de duinen van (Walcheren en) Schouwen, zie Arens et al., (2012)). In de afgelopen jaren is Schouwen een van de proeflokaties geweest van het Europese project LIFE duinen (Zevenberg, 2010).

## **3 Aanpak**

### **3.1 Analyse van de huidige geomorfologie op basis van het AHN**

Er is veel ervaring verkregen met geomorfologische analyse op basis van het AHN, onder ander ten behoeve van de actualisering van de geomorfologische kaart van Nederland (en Zeeland). Het AHN biedt een zeer gedetailleerd inzicht in geomorfologische structuren en daarmee uitstekende mogelijkheden om de geomorfologie in kaart te brengen. De Ausgangssituatie is de beschikbaarheid van de geomorfologische kaart uit begin jaren '90 met een schaalniveau van 1: 50.000. Het beschikbaar komen van het AHN versie 1 in 1999 (detail 5x5 meter) en die van versie 2 (2009) (detail 1x1 meter) betekent dat er een detaillering en actualisatie van het oorspronkelijke kaartmateriaal mogelijk is. Op basis van het AHN-2 is in het kader van dit project het duingebied op Schouwen opnieuw gekarteerd. Een nieuwe geomorfologische kaart met veel meer detail (1:25.000) is een van de bouwstenen om meer inzicht te krijgen in de structuren. Deze kaart kan als basis worden gebruikt in het verdere onderzoek (bepaling transecten OSL en de keuze voor de uiteindelijke herstelmaatregelen). Uit de vergelijking tussen AHN1 (1999) en AHN2 (2009) kan inzicht worden verkregen in erosie en sedimentatie en daarmee over de intensiteit in de (grootschalige) korte termijn dynamiek van de huidige verstuingen. Hiertoe is een overzichtsbeeld gemaakt van de verschillen in de hoogte van het maaiveld tussen de twee versies van het AHN voor het gehele duingebied van Schouwen. Aanvullend is als voorbeeld voor de huidige actieve arealen stuivend zand gekeken naar een specifiek gebied waarvoor de dynamiek in erosie en sedimentatie over de periode 1999-2009 (AHN-1 en AHN-2) in beeld is gebracht.

De resultaten van dit onderdeel bestaan uit:

- Herziene en meer gedetailleerde geomorfologische kaart van het duingebied op Schouwen;
- Overzicht op basis van AHN van de dynamiek (kwantitatief in erosie en sedimentatie) in verstuing over de periode 1999-2009 met specifieke uitwerking voor een huidig actief stuifzandgebied.

### **3.2 Patroonanalyse op basis van luchtfoto's**

De interpretatie van luchtfoto's geeft goede mogelijkheden om de ontwikkeling van dynamiek in verstuing in de loop van de tijd vast te stellen. De analyse van verschillende series van luchtfoto's over verschillende tijdstippen geeft inzicht in de veranderingen/verplaatsingen van dynamiek over een langere periode.

Luchtfoto's uit verschillende tijdstippen zijn gebruikt om de reeks zo volledig als mogelijk te maken:

- 1943 (RAF-serie, aanwezig bij WUR/Alterra)
- 1959 (Provincie Zeeland)
- 1970 (Provincie Zeeland)
- 1978 (via SBB, NM)
- 1986 (via SBB, NM)
- 1998 (via SBB, NM)
- 2000 (via SBB, NM)
- 2003 (via SBB, NM)
- 2008 (via SBB, NM)
- 2009 (Via RWS en/of Alterra)
- 2010 (via RWS en/of Alterra)
- 2011 (via RWS en/of Alterra)

De resultaten van dit onderdeel bestaan uit kaarten en tabellen met een overzicht van de arealen kaal of stuivend zand in het duingebied van Schouwen over de periode 1943-2011. Voor de periode 1978-2008 is mede gebruik gemaakt van een inventarisatie die is gemaakt door SBB. Deze gegevens zijn herbewerkt om de aansluiting met jaren daarvoor en daarna te optimaliseren: concreet zijn gebieden die ten onrechte (geen kaal zand of kaal als gevolg van betreding, dus lijnvormige elementen als paden etc.) als kaal of stuivend zand zijn geïnventariseerd uit de analyse weggehaald.

### **3.3 Analyse van historische kaarten**

Op nog langere tijdschaal (periode van voor 1943) kan de analyse van historisch topografisch kaartmateriaal informatie toevoegen aan de analyses van het AHN en de luchtfoto's. Dit heeft vanwege de relatief geringe mate van detail (interpretatie van kaal zand in grids van 25x25 meter) waarschijnlijk vooral betrekking op de grootschalige migratie van duinmassieven. Het bestand Historische Grondgebruik Nederland (HGN) van WUR/Alterra herbergt digitale topkaarten uit 1850, 1900, 1950, 1960, 1970, 1980 en 1990 inclusief een kwantitatieve analyse van de verschillende vormen van landgebruik waaronder kaal zand. Deze gegevens zijn bekeken op de bruikbaarheid voor dit onderzoek. De conclusie is dat de arealen kaal zand op de oudere topografische kaarten een weinig betrouwbaar beeld geven van de werkelijke arealen als gevolg van het feit dat het duingebied voor het overgrote deel als kaal zand is geïnterpreteerd. Vanaf 1950 wordt de categorie kaal zand als zodanig onderscheiden maar vanaf 1943 geven de luchtfoto's een beter beeld. De analyse van historische kaarten geeft geen additionele informatie voor dit project.

### **3.4 Ground Penetrating Radar (GPR)**

Op basis van de in Hoofdstuk 1 besproken onderzoeksstappen is een grondradar (GPR) campagne uitgevoerd. De motivatie om GPR te gebruiken is tweeledig.

Ten eerste is GPR zeer geschikt om in droge zandige milieus ondergrondse structuren in beeld te brengen. GPR is een bewezen techniek in kustduinmilieus waarbij het ruimtelijke complex van verstuvingsfasen en begraven bodems (palaeosols) kan worden ontrafeld. Samen met de analyse van de huidige geomorfologie levert dat een verbeterd inzicht op van de

historische dynamiek. De diverse verstuiwingsfasen zijn in dit onderzoek geanalyseerd, gebaseerd op een OSL bemonsteringsstrategie die werd opgesteld op basis van de geomorfologische analyse, luchtfoto interpretatie en het GPR onderzoek zelf.

De tweede motivatie om GPR toe te passen volgt uit de mogelijkheid om de beoogde OSL monster locaties te toetsen op (recente) verstoring van de ondergrond, en daarmee de bruikbaarheid voor datering.

De ligging van de GPR profielen is, voorafgaande aan het veldwerk, gebaseerd op een zorgvuldige afweging van de morfologische- en luchtfoto analyse. De gehanteerde criteria voor de selectie van deze profielen waren:

- de geologie van de Jonge Duinen zoals vooraf bekend;
- de vertegenwoordiging van de belangrijke verstuiwingsfasen op Schouwen;
- de ligging van grote en hoge duinmassieven op de Geomorfologische Kaart, het AHN en luchtfotoanalyse;
- de ligging van gebieden die op voorhand al als 'hoog potentieel inhoudend voor verstuiwing' kunnen worden beschouwd.

De daadwerkelijke ligging van de meetlijnen is daarbij bepaald door de terreinomstandigheden, waarbij de aanwezigheid van vegetatie (zoals duindoorn) het meest duidelijk sturend is: deze gebieden zijn door ons gemedan.

### **3.5 Dateringen met Optisch geStimuleerde Luminescentie (OSL)**

Datering van duinzanden door middel van Optisch geStimuleerde Luminescentie (OSL) heeft laten zien dat deze techniek zeer geschikt is om de ouderdom van de zanden te bepalen (Ballarini et al., 2003). OSL bepaalt het moment van afzetting en begraving van zandkorrels. De methode maakt gebruik van een klein lichtsignaal dat kwartskorrels kunnen uitzenden. Dit in de kwartskorrels opgeslagen luminescentiesignaal wordt op nul gesteld (gebleekt) door zonlicht, en bouwt na afzetting en begraving van de korrels op, doordat de korrels natuurlijke achtergrondstraling absorberen uit hun directe omgeving. De methode is toepasbaar voor sedimenten van enkele jaren oud tot ongeveer 150.000 jaar.

Anders dan duinonderzoek in het verleden, waarbij alleen organisch materiaal in duinzand kon worden gedateerd (met de <sup>14</sup>C techniek), kan met OSL het tijdstip van afzetting van de duinzanden zelf worden gedateerd. De monsternamen zijn nauw gerelateerd aan het GPR onderzoek, waarmee de geschiktheid van de ondergrond voor OSL onderzoek wordt bepaald. De combinatie van GPR en OSL levert inzicht op in de historische dynamiek waaronder verstuiwings- en fixatiefasen. Daarnaast worden de dateringen gebruikt om uitspraken te kunnen doen over de migratiesnelheid van paraboolduincomplexen. Dit soort onderzoek is nog niet eerder in (Nederlands) kustduinen uitgevoerd.

### **3.6 Sturende processen**

Op basis van de voorgaande stappen zijn de sturende processen geanalyseerd en beschreven. Voor wat betreft de analyse van de ontwikkeling van het gebied heeft hier de synthese plaatsgevonden. Hierbij zijn ook aspecten van beheer, zowel natuurbeheer als kust(zeereep-)beheer en/of het ontbreken daarvan en grondwaterbeheer meegenomen. In hoofdstuk 7 wordt uitgebreider ingegaan op deze sturende processen. In feite vormt dit onderdeel dus het slothoofdstuk van het onderzoek, waaruit aanbevelingen volgen voor eventueel aanvullend of vervolgonderzoek. Uitgaande van de synthese en de onderscheiden sturende processen is vervolgens een plan gemaakt voor herstel mogelijkheden. Het streven is en blijft een zo grootschalig mogelijke aanpak, waarbij de aandacht uitgaat naar herstel van verstuing als essentieel onderdeel van de landschapsvormende processen en herstel van de belangrijke gradiënt in winddynamiek loodrecht op de kustlijn. Er zijn echter ook kleinschalige maatregelen uitgewerkt, waarbij alleen lokaal processen hersteld worden. Enerzijds is dit bedoeld voor landschapsonderdelen waar grootschalig herstel niet mogelijk is, anderzijds is dit bedoeld om waar nodig lokaal op korte termijn al veranderingen te induceren die kunnen anticiperen op processen die op de lange termijn pas tot ontwikkeling kunnen komen.

## 4 Methoden

### 4.1 Historische ontwikkeling duindynamiek

Voor de analyse van de hoogtegegevens is gebruik gemaakt van het vlakdekkende hoogtebestand AHN-1 (peiljaar 1999) en AHN-2 (peiljaar 2009). De resolutie hiervan bedraagt voor AHN-1 5x5 m<sup>2</sup> en voor AHN-2 1x1 m<sup>2</sup>. Door gebruik te maken van het AHN-2 is de geomorfologische kaart voor het duingebied op Schouwen sterk verbeterd door een nadere detaillering van het oorspronkelijke 1:50.000 kaartbeeld. Deze verbetering is in GIS uitgevoerd waarbij de bestaande geomorfologische kaart en het AHN-2 beeld zijn bewerkt tot aangepaste en nieuwe polygoenen.

Er is aanvullend in GIS een vergelijking gemaakt van AHN-1 en AHN-2 wat een verschilkaart in hoogte voor het gebied heeft opgeleverd, uitgedrukt in centimeters of meters hoogteverschil. In detail is voor een tweetal actieve stuifgebieden een nadere uitwerking gemaakt door de combinatie met de luchtfoto-interpretatie te maken.

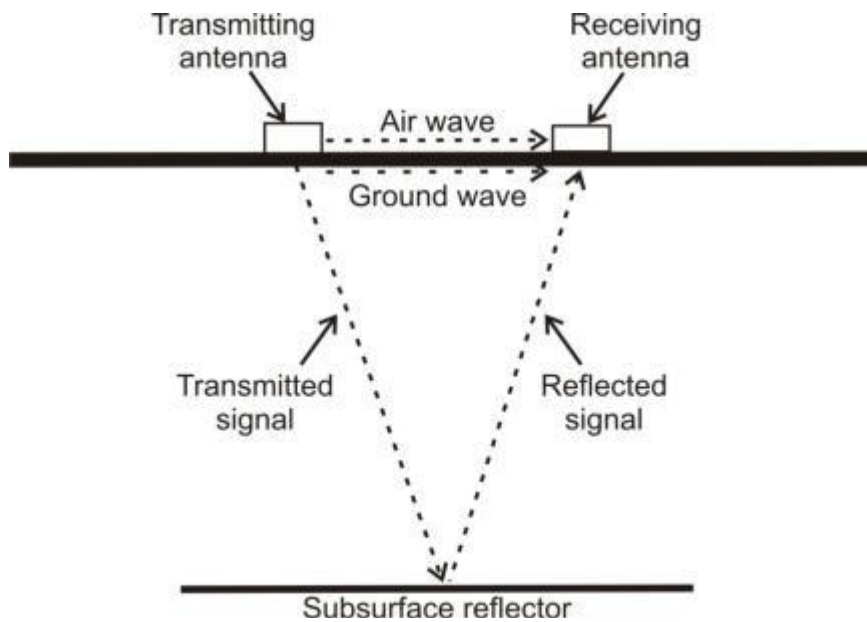
Op basis van een reeks luchtfoto's tussen 1943 en 2011 is een tijdreeks van de ontwikkeling van kaal of stuivend zand gemaakt. Deze analyse is gedaan door luchtfoto's te interpreteren en de vlakken met kaal of stuivend zand als polygoenen (vlakken) vast te leggen. De tijdreeks geeft informatie over de ontwikkeling in arealen over de geanalyseerde periode.

De resultaten van bovenstaande analyses staan beschreven in Hoofdstuk 7.

### 4.2 Ground Penetrating Radar (GPR)

Het GPR onderzoek is uitgevoerd met apparatuur van Deltares (Utrecht). GPR stuurt electromagnetische pulsen in de grond gestuurd middels een zendantenne. Deze kaatsen terug op laagovergangen (reflectoren) in de ondergrond en worden weer opgevangen door de ontvangstantenne (fig. 4.1). Eerdere ervaringen in de Nederlandse kustduinen en elders hebben geleerd dat 100, 200 en 250 MHz antennes de beste combinatie van detail en dieptedoordringing bieden (Pedersen & Clemmensen, 2005; Bakker et al., 2012). De ruwe resultaten van de GPR werden direct tijdens de veldmetingen beoordeeld en de meetstrategie daarop aangepast. Tevens is lokale verificatie van de radarbeelden met behulp van handboringen direct mogelijk. De ligging van de profielen is gebaseerd op een zorgvuldige afweging van de morfologische- en luchtfoto analyse. Plaatsbepaling, inclusief nauwkeurige hoogteligging, in het veld is uitgevoerd met zeer nauwkeurige RTK-GPS apparatuur (cm nauwkeurigheid) van Deltares. De verwerking van de radarbeelden is uitgevoerd met de nieuwste software ontwikkeld door de GPR fabrikant (Sensors & Software, Canada). Grote zorg is besteed met name aan de verticale verloop van de profielen, zodat de hoogteverschillen in het terrein nauwgezet zijn verwerkt in de metingen. Met name in de bosgebieden is

hierbij van het AHN (onderdeel 1) gebruik gemaakt, omdat de beperkte satellietontvangst daar een minder nauwkeurige hoogtebepaling mogelijk maakt. In de processing worden verder technieken toegepast die elektromagnetische omgevingsruis onderdrukken. In de nabijheid van de vuurtoren van Nieuw-Haamstede is de ruis zo sterk dat deze niet weg te filteren is. Deze verstoring wordt veroorzaakt door de radarinstallatie bovenop de toren. De invloed van ondergrondse infrastructuur is eveneens zichtbaar op de profielen. Dit betreft verstoringen veroorzaakt door de infrastructurele elementen zelf (met name kabels, leidingen en winputten) en verstoringen door graafwerkzaamheden welke plaats hebben gevonden tijdens de aanleg ervan.



*Figuur 4.1: Principes van Ground Penetrating Radar.*

*Figure 4.1 Principles of the Ground Penetrating Radar.*

Ruwe GPR metingen zijn registraties van de ondergrond in het tijdsdomein, met de afstand (in m) op de horizontale as en de tijd (in nanoseconden) op de verticale as. Omzetting naar diepte (het dieptedomein) gebeurt middels de bepaling van de voortplantingssnelheid van het radar signaal naar een bepaalde reflector en terug naar de ontvanger. In duingebieden is de grondwaterspiegel een dankbare hulp bij het bepalen van deze snelheid. Verder genereren ondergrondse verstoringen een zogenaamde diffractiehyperbool welke kan worden gebruikt voor de bepaling van de voortplantingssnelheid van het signaal. Samen met de hierboven genoemde topografische (hoogte) correctie kunnen vervolgens de definitieve profielen worden gegenereerd.

De dieptedoordringing van de toegepaste GPR antennes bedraagt in het algemeen 7-8 m, in enkele gebieden maximaal 10 meter. De grootste doordringing wordt bereikt in vlak terrein, de geringste doordringing op steilere hellingen. In lager gelegen gebieden kan er tot onder de grondwaterspiegel worden gekeken, in het meest gunstige geval tot 1.5 m beneden NAP.

De verdere interpretatie (zie hoofdstuk 5) heeft geprofiteerd van de eerdere ervaringen opgedaan in kustduingebieden (zie o.a. Bakker et al., 2012)

### 4.3 Dateringen met Optically Stimulated Luminiscence (OSL)

Voor luminescentiedatering worden twee grootheden bepaald. Door metingen van het OSL signaal wordt bepaald hoeveel achtergrondstraling het materiaal (in dit geval de kwartskorrels) heeft ontvangen sinds afzetting en begraving, ofwel sinds de laatste blootstelling aan zonlicht. Daarnaast wordt gemeten en berekend hoeveel achtergrondstraling de kwartskorrels per jaar hebben ontvangen. Door de totale hoeveelheid ontvangen straling (paleodosis) te delen door het dosistempo (de jaarlijkse dosis) wordt de ouderdom verkregen:  $\text{Ouderdom (jaar)} = \text{Paleodosis (Gy)} / \text{jaarlijkse dosis (mGy/jaar)}$ . Meer informatie over de methode is te vinden in NOAA hoofdstuk 5 (Wallinga, 2005) en Wallinga et al. (2007).

Bij de bepaling van de jaarlijkse dosis is informatie over de mate van vochtverzadiging van het monster -in de loop der tijd - van belang. Een monster dat een deel van de tijd verzadigd is geweest (i.e onder de grondwater spiegel heeft gelegen) ontvangt een andere dosis dan een onverzadigd monster (boven de grondwaterspiegel). Verder hebben nabije leem- en veenlagen invloed op de dosis.



*Figuur 4.2: Profielkuil WD-1 met onderin een in de wand geslagen pvc buis. Het zand dat hierin is verzameld is ter analyse aangeboden. De schaalverdeling van de chalon stok is 20 cm.*

*Figure 4.2: Test pit WD-1 with the pvc sample tube driven into the vertical side of the pit. The sand collected in the tube was given for OSL analysis. The division on the measuring pole is 20 cm.*



*Tabel 4.1: Overzicht van de in het veld verzamelde OSL monsters. Van deze monsters zijn 10 OSL analyses uitgevoerd, zie Tabel 6.1 voor de resultaten.*

*Table 4.1: Collected sand sample data. From these samples 10 were selected for OSL analysis. See Table 6.1 for results of these analyses.*

Monster	X-coördinaat	Y-coördinaat	Maaiveld (m + NAP)	Monsterdiepte (cm)	Analyse in lab
WD-1	37813,2	412471,5	11,9	110	Ja
WD-2	37826,8	412472,6	13,1	135	Nee
WD-3	37841,8	412476,1	14,1	130	Nee
WD-4	37856,5	412475,7	15,0	140	Ja
WD-5	37932,0	412515,8	18,5	140	Ja
WD-6	37951,1	412533,3	18,4	140	Ja
WD-7	38312,2	412524,0	18,0	120	Ja
WD-8	38488,5	412601,1	17,6	130	Ja
WD-9	38219,0	413837,3	8,2	100	Ja
WD-10	38244,9	413862,0	10,0	80	Nee
WD-11	38257,3	413874,1	11,3	90	Ja
WD-12	38285,1	413898,9	13,6	90	Ja
WD-13	39508,9	413485,8	14,6	110	Ja
WD-14	39532,5	413491,4	15,6	80	Nee
WD-15	39501,9	413482,7	13,1	120	Nee

Op basis van onderdelen 1 en 2 is het bemonsteringsschema voor OSL dateringen bepaald. Bij nadere overweging is de monsterreeks uit de zogenaamde Nieuwe Westerse laagte, verzameld door Alistair Cunningham en Bert van der Valk in 2009, in de reserve gezet. Twee velddagen waren nodig om de beoogde hoeveelheid (15) monsters te nemen. In het veld zijn de precieze locaties eerst vastgesteld met behulp van GPR en RTK-GPS. De monsters zijn vervolgens genomen in hand gegraven profielkuilen van 1,0 tot 1,8 m diepte. Het zand is verzameld door het onder in de wand slaan van een pvc buis (Figuur 4.3.1). De monsters zijn genomen onder de bovenste zone waarin mogelijke versturende werking van graafactiviteiten van dieren, boomwortels en dergelijke aanwezig is. Met de RTK-GPS zijn de pvc buizen nauwkeurig ingemeten.

Uiteindelijk zijn 10 monsters geselecteerd en in januari 2012 ter analyse aangeboden bij het NCL laboratorium van de TU Delft. De selectie was gericht op het zo goed mogelijk in de vingers krijgen van de ouderdom en voortplantingssnelheden van de grote duinsystemen.

Tabel 4.1 geeft een overzicht van alle verzamelde OSL monsters en welke daarvan daadwerkelijk zijn ingediend bij het NCL lab. De monsters welke niet bij ter analyse zijn aangeboden kunnen, afhankelijk van de uitkomst van de eerste 10 monsters, in een latere fase om wetenschappelijke redenen alsnog worden gebruikt. Bijlage D geeft de beschrijving van de profielkuilen ten behoeve van de OSL monsterring.

## 4.4 Meteorologie

Alle meteorologische data zijn afkomstig van de website van het KNMI (KNMI, 2012). Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van windgegevens (richting en snelheid) en neerslaggegevens van verschillende stations. Voor gegevens

over de meteo-stations is behalve van de KNMI-website gebruik gemaakt van Wieringa en Rijkoort (1983) en Verkaik (2001).

#### **4.4.1 Windrichting- en snelheid**

Voor windsnelheden is gebruik gemaakt van potentiële windsnelheden, afkomstig van het KNMI ([http://www.knmi.nl/klimatologie/onderzoeksgegevens/potentiele\\_wind/](http://www.knmi.nl/klimatologie/onderzoeksgegevens/potentiele_wind/)). De (uurgemiddelde) windsnelheden zijn door het KNMI omgerekend naar een standaard hoogte van 10m en opgenomen als grootheden van 0.1 m/s. De gegevens t/m 04-12-2011 zijn opgevraagd voor stations 312 (Oosterschelde), 310 (Vlissingen) en 320 (Lichteiland Goeree, tot 1971 Lichtschip Goeree).

Daarnaast zijn voor Vlissingen daggemiddelden gebruikt die terug gaan tot 1906 om een overzicht te krijgen van eventuele opmerkelijke veranderingen in het windveld in de 20e eeuw die een verklaring zouden kunnen bieden voor de afname of toename in verstuivingen.

Voor lange meetreeksen moet altijd rekening worden gehouden met veranderingen in de metingen. Wieringa en Rijkoort (1983) geven aan dat de windgegevens van Vlissingen pas vanaf 1959 een consistente en betrouwbare reeks vormen. Daarvoor zijn de metingen niet goed gedocumenteerd, van opstelling of locaties veranderd, of om andere redenen niet betrouwbaar. Voor Oosterschelde meldt Verkaik (2001) dat dit een "raar geval is voor een zee-locatie". Voor Lichteiland Goeree is er sowieso een inconsistentie vanwege de overgang van Lichtschip tot 1971, naar een automatisch weerstation op Lichteiland Goeree in 1972. Tot 1971 werden de windsnelheden door een waarnemer geschat aan de hand van het zee-oppervlak. Er was één waarneming per 3 uur. Om deze redenen moeten trendberekeningen van de wind voor deze stations met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden.

#### **4.4.2 Berekeningen transportvectoren**

Voor de stations Oosterschelde en LE Goeree zijn de uurwaarden van windsnelheid en -richting gebruikt om een schatting van het potentieel transport te maken, de hoeveelheid zandtransport die de wind onder ideale omstandigheden zou kunnen verplaatsen.

Aan de berekening van het potentieel transport zitten de nodige haken en ogen. De berekeningen moeten dan ook vooral gezien worden als een relatieve vergelijking van jaren met veel en jaren met minder transport. Uit vergelijkingen van dit soort berekeningen met werkelijk gemeten transporten blijkt de correlatie over het algemeen beroerd, maar er zijn geen andere methoden om snel inzicht te krijgen in transport. Voor de methode van berekening wordt verwezen naar Bijlage C. Hier volgt alleen uitleg over de berekende vectoren.

Met behulp van een transportformule kan voor een uurgemiddelde windsnelheid het bijbehorende transport worden berekend. Wanneer voor alle uren deze hoeveelheden bij elkaar op te tellen wordt het totale transport bepaald (TP). Door voor ieder uur rekening te houden met de windrichting, wordt de bijbehorende transportwaarde als vector uitgedrukt. Wanneer deze vectoren bij elkaar op worden geteld, wordt een netto resultante transport

(RTP) bepaald. Een voorbeeld: in uur 1 waait de wind uit het westen, met kracht 6 en is het totale transport 10. In uur 2 waait de wind uit het oosten, met vergelijkbare windsnelheid en is het totale transport ook 10. Voor beide uren samen is het totale transport TP dan 20. Door de vectoren bij elkaar op te tellen is het resulterende transport RTP echter 0, de vectoren zijn immers tegengesteld aan elkaar. De richting van de resulterende vector heet de "resultant direction".

### 4.4.3 Neerslaggegevens

Neerslaggegevens zijn gebruikt van de volgende stations:

- Haamstede-vuurtoren (1951 t/m 1955);
- Haamstede (1951-heden);
- Brouwershaven (1951-heden);
- Vlissingen (1954-heden (neerslag, neerslagduur en verdamping)).

Van de neerslaggegevens zijn maand- en jaartotalen berekend per station. Voor Vlissingen zijn ook neerslagduur en verdamping gebruikt. Voor de neerslaggegevens is niet bekend in hoeverre deze data onbetrouwbaar zijn.

## 4.5 Gebruikte gegevens karteringen

### 4.5.1 Luchtfoto's

Voor het onderzoek in het algemeen en de karteringen van kaal zand in het bijzonder zijn luchtfoto's verstrekt door Staatsbosbeheer en door de Provincie Zeeland en is gebruik gemaakt van luchtfoto's die door Rijkswaterstaat zijn verstrekt in het kader van het suppletie onderzoek. Het betreft de volgende jaren:

jaar	opname	bron	verstrekker	soort	Pixelgrootte (cm)
1945	voorjaar	RAF	WUR/Alterra	zwart-wit	nvt
1959			Provincie Zeeland	zwart-wit	50
1970			Provincie Zeeland	zwart-wit	25
1978			Provincie Zeeland	kleur	40
1986 (?)			Provincie Zeeland	kleur	80
1996			WUR/Alterra	kleur	100
1998			WUR/Alterra	kleur	50
2000			WUR/Alterra	kleur	50
2003			WUR/Alterra	kleur	50
2005			WUR/Alterra	kleur	40
2006			WUR/Alterra	kleur	50
2007			WUR/Alterra	kleur	40
2008			RWS	kleur	25
2009			RWS	kleur	25
2010			RWS	kleur	25
2011			RWS	kleur	25

Verder is er een opname van 1986 (?) verschaft in zwart-wit, maar na vergelijking van deze opname is geconcludeerd dat dit jaartal niet klopt en dat de opname dezelfde is als die van 1988, maar dan in zwart-wit en van een andere datum. De zwart-wit opname heeft een hogere resolutie dan de kleurenfoto van 1988.

De kwaliteit van de georeferentie van de luchtfoto's verschilt, waardoor grenzen in de loop van de tijd soms (fors) kunnen verspringen. Dit heeft

vanzelfsprekend invloed op de karteringen en op de analyse van veranderingen. Op de analyse van het totaal oppervlak en hoe dit zich in de loop van de tijd ontwikkeld heeft, hebben de verschuivingen geen invloed. Bovendien is met behulp van GIS-software gecorrigeerd voor deze verschuiving waardoor de invloed op de resultaten als die er al zouden zijn, verwaarloosbaar zijn.

#### **4.5.2 Karteringen SBB**

Staatsbosbeheer heeft een aantal kaal-zandkarteringen (dat is niet per definitie een kartering van stuivend zand) vervaardigd op basis van luchtfoto-interpretatie. Hierbij zijn per jaar oppervlakken met kaal zand omgrensd, over het algemeen witte, of zeer lichte vlakken zonder structuur in de luchtfoto's. Het betreft karteringen voor de volgende jaren: 1978, 1986, 1998, 2000, 2003, 2006 en 2008.

De karteringen zijn niet geheel eenduidig. Voor sommige jaren zijn paden wel gekarteerd, voor andere jaren niet. In sommige jaren is de omgrenzing van kaal zand veel ruimer dan in andere jaren. In sommige jaren zijn ook delen van de overstuivingszone mee gekarteerd of zijn kleinere, begroeide eenheden binnen kale oppervlakken in meer of minder detail mee gekarteerd. In sommige jaren zijn niet alle deelgebieden gekarteerd. Ook bleek voor de opname van 1998 dat de grenzen van de kaarteenheden verschoven waren ten opzichte van andere jaren, mogelijk veroorzaakt door onnauwkeurigheid in de georeferentie van de gebruikte luchtfoto's. Om de karteringen meer op elkaar af te stemmen zijn ze gecorrigeerd voor verschuivingen, en zijn karteringen eenduidig bewerkt, zodat een onderlinge vergelijking betere resultaten kan opleveren.

#### **4.5.3 Aanvullende karteringen**

Om de serie van Staatsbosbeheer (1978-2008) aan te vullen zijn aanvullende luchtfoto's opgezocht en gekarteerd. Omdat er ook oudere luchtfoto's beschikbaar waren is hiermee de serie in de tijd aanmerkelijk verlengd. Ook is de serie aangevuld met recente luchtfoto's. De aanvullende karteringen hebben betrekking op de volgende jaren: 1943, 1959, 1970 en 2011.

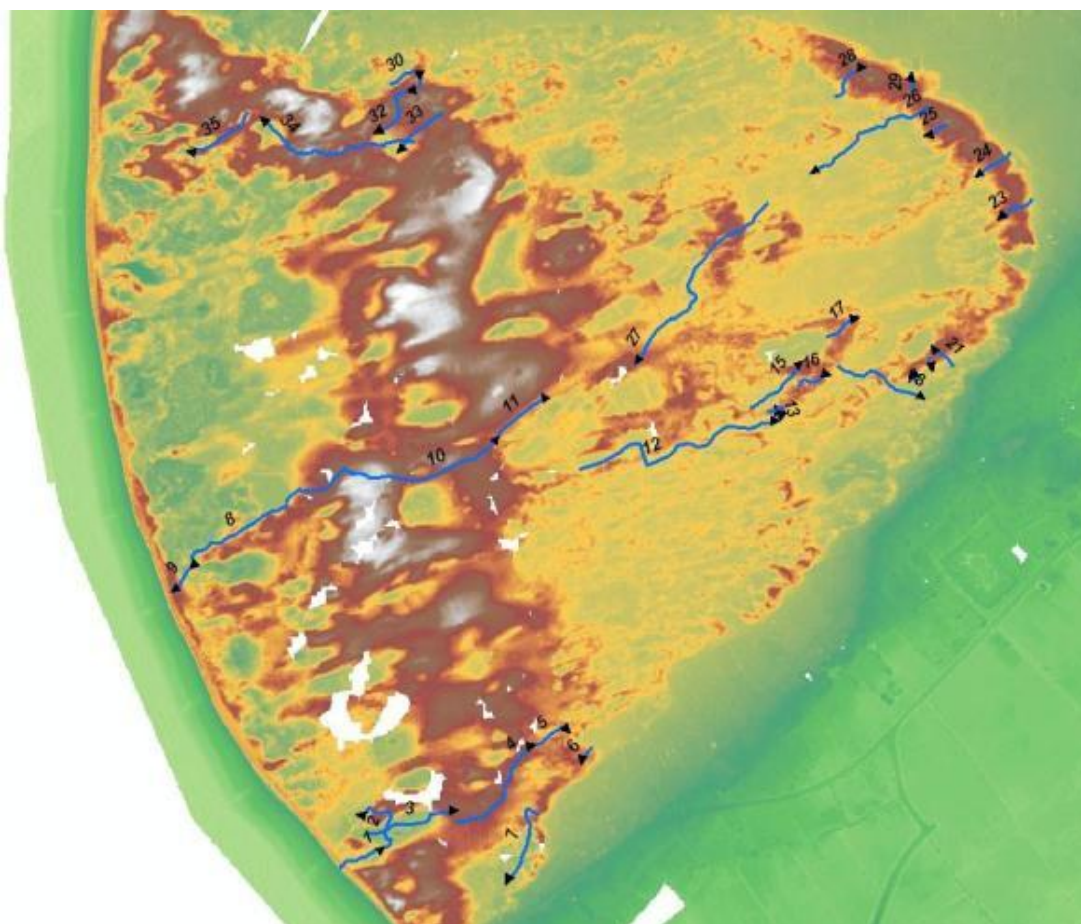
Deze zijn zo veel mogelijk op vergelijkbare manier gekarteerd. Ook voor deze inventarisatie van kaal zand geldt dat dit niet per definitie ook stuivend zand is. In werkelijkheid zal het areaal actief stuivend zand kleiner zijn dan de inventarisaties aangeven. Behalve veldkarteringen zijn alternatieven niet voorhanden en geeft deze methode weliswaar een overschatting maar tegelijk een redelijke inschatting van het potentiaal aan actief stuivend zand in een gebied. Helaas zijn de luchtfoto's van 1945 van beperkte kwaliteit, waardoor ze minder detail geven (zowel in schaal als in grijstonen) dan de nieuwe luchtfoto's. Deze kartering is vrij grof en geeft mogelijk een overschatting van het areaal aan kaal zand. Er was overigens veel activiteit in de duinen door de dichte bezetting met bunkers en dus met militair personeel. Voor 1959 was de luchtfotoserie van betere kwaliteit, maar wel in minder hoge resolutie dan de nieuwere foto's en met weinig contrast, wat het onderscheid tussen kaal zand, licht begroeid oppervlak en overstoven oppervlak moeilijk maakte. Voor 1970 was de luchtfotoserie van nog iets betere kwaliteit, maar redelijk grofkorrelig vergeleken met de nieuwe luchtfoto's. Vanaf 1978 zijn alle luchtfoto's

beschikbaar in kleur. De pixelgrootte van de foto's varieert van 25x25 cm<sup>2</sup> tot 100x100 cm<sup>2</sup>.

Voor het bepalen van de arealen kaal zand per jaartal is gebruik gemaakt van een gebiedsindeling in 7 deelgebieden (zie HS 7 en bijlage A). Hierbij zijn de arealen kaal zand buiten de 7 deelgebieden niet meegenomen in de inventarisatie waaronder de zeereep. Deze zone is in de periode 1945-2011 altijd een zeer dynamische en bestaat voor het grootste deel uit stuivend zand. Het meetellen van deze arealen komt de analyses van kaal zand in de overige deelgebieden met name die aan de zeereep grenzen niet ten goede omdat de analyse is gericht op kaal zand / stuivend zand in het duingebied.

## 5 Resultaten Ground Penetrating Radar

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van het GPR onderzoek. Het veldwerk is op 12 en 13 september 2011, tijdens stormachtige weerscondities, uitgevoerd. Zoals eerder in dit rapport besproken, is de beoogde ligging van de lijnen vooraf bepaald na analyse van het AHN, de Geomorfologische Kaart en luchtfotoanalyse. De daadwerkelijke ligging is bepaald door de terreinomstandigheden ter plaatse. In open terrein zijn de metingen vanzelfsprekend eenvoudig uit te voeren. In de bossen en dicht struikgewas (duindoorn) wordt de ligging van de meetlijnen bepaald door eventuele (voet-) paden of trekroutes van grofwild. Figuur 5.1 geeft de ligging van de 35 meetlijnen; in totaal is circa 10 km aan lijnen opgenomen.



*Figuur 5.1: Ligging van de GPR meetlijnen in de Westduinen van Schouwen, afgebeeld op het AHN.*

*Figure 5.1 Location of GPR lines taken in the Westduinen, Schouwen, on the AHN (=official DEM of the Netherlands).*

Alle GPR lijnen zijn uitgewerkt volgens de procedure beschreven in paragraaf 4.2. Vervolgens is een uitgebreide interpretatieslag op alle lijnen uitgevoerd. Uit de TNO-DINO database zijn historische en recente grondwaterstanden opgevraagd en vergeleken met horizontale reflecties op de profielen. De grondwaterspiegel is op veel profielen als een (sub)horizontale reflectie zichtbaar. De overige structuren zijn verdeeld in antropogene verstoringen en de natuurlijke ondergrond. Antropogene verstoringen worden met name veroorzaakt door ondergrondse infrastructuur in het gebied zoals leidingen, putten en graafactiviteiten gerelateerd aan waterwinning. Zie tabel 5.1, eenheid X.

De reflectiepatronen van de natuurlijke ondergrond zijn geïnterpreteerd door eenheden met eenduidige reflectiepatronen (facies) samen te voegen (patroonanalyse). Vooral reflectie terminaties, waarbij de ene reflectie de andere afsnijdt, zijn daarbij van belang.

De natuurlijke reflectiepatronen kunnen in twee hoofdeenheden worden gegroepeerd. Het laagst gelegen laagpakket (ruwweg beneden 1.0 m +NAP) bestaat uit evenwijdige, scheefstaande en sigmoidale (S—vormige) sets (tabel 5.1, eenheid A). Deze kunnen in het meest gunstige geval tot circa -1.5 m NAP worden vervolgd. Gezien hun diepte ligging (ten minste 7 m beneden het maaiveld) zijn dit zwakke reflecties. Deze structuren, welke alleen in de Zeepeduinen zijn waargenomen, en dan nog plaatselijk, hellen in variabele doch meestal in noordoostelijke tot oostelijke richting. De maximale zichtbare dikte is circa 2,0 m. Vergelijkbare GPR patronen zijn aangetoond in andere kustgebieden, onder andere in Noord Holland. Uit boorinformatie en opgravingen aldaar en onderzoek elders blijkt dat deze afzettingen niet-eolisch zijn. Ze worden geïnterpreteerd als afzettingen geassocieerd met kustprocessen. Gezien hun dikte en dimensies kunnen de afzettingen niet aan washovers of banken-troggen worden gelieerd. Waarschijnlijk kunnen ze worden geassocieerd met de vorming van haakwallen (spits). Informatie uit boringen in en nabij de Zeepeduinen leert dat de afzettingen liggen op veen en kleiige afzettingen, welke tot het Laagpakket van Walcheren worden gerekend.

Alle overige reflectiepatronen worden gerekend tot het hierboven gelegen laagpakket (vanaf 1.0 m +NAP tot aan maaiveld). Deze hoofdeenheid kan worden onderverdeeld in:

- eenheid B. Licht golvende structuren;
- eenheid C. Subhorizontale structuren;
- eenheid D. Scheefstaande, subparallele structuren;
- eenheid E. Chaotische structuren.

De eenheden hebben de volgende kenmerken (Tabel 5.1):

Ad. B. De licht golvend structuren hebben een horizontale dimensie van enkele tientallen meters en een verticale dimensie van enkele meters. Deze structuren bevinden zich direct op of vlak boven de hierboven genoemde kustafzettingen en zijn alleen in de lager gelegen vlakke van de Zeepeduinen aangetroffen. De structuren worden geïnterpreteerd als kleinschalige duintjes. Mogelijk betreft dit afzettingen welke gerekend kunnen worden tot de Oude Duinen.

Ad. C. Subhorizontale structuren zijn alleen in de vlakke van de Zeepeduinen waargenomen. Ze bevinden zich op 2 tot 6 m +NAP en liggen tegen, of op, eenheid B. Deze afzettingen worden geassocieerd met actieve stuifvlaktes. In dit bereik bevindt zich ook de grondwaterspiegel welke zich eveneens uit als een subhorizontale reflectie.

Ad. D. Scheefstaande, subparallele structuren komen overal voor buiten de Zeepeduinen, en binnen de Zeepeduinen in de hoger gelegen terreindelen.


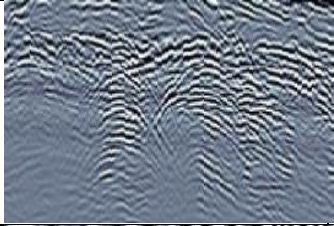
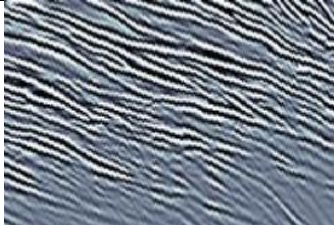
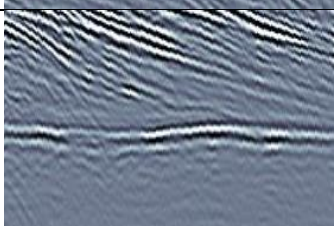
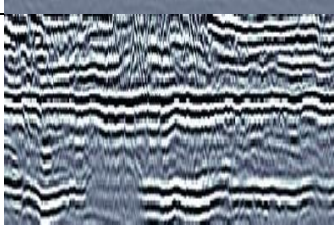
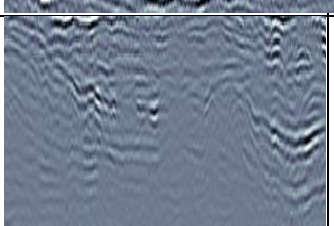

Deze structuren komen voor in sets, welke veelvuldig worden afgesneden, of zelf dieper gelegen sets trunceren. De sets hellen bijna altijd in noordoostelijke tot oostelijke richting. De hellingshoek varieert, echter deze is nooit meer dan de rusthoek. De afzettingen worden geïnterpreteerd als eolische afzettingen welke in de lijzijde van duincomplexen accumuleerden. Het zijn deze eenheden welke voor OSL dateringen zijn bemonsterd.

Ad. E. Chaotische structuren komen overal voor in de hogere terreindelen. Het betreft duinafzettingen welke waarschijnlijk zijn afgezet in sterk turbulente omstandigheden of in struikgewas/bos aan de lijzijde van het duin, leidend tot een complexe opbouw.

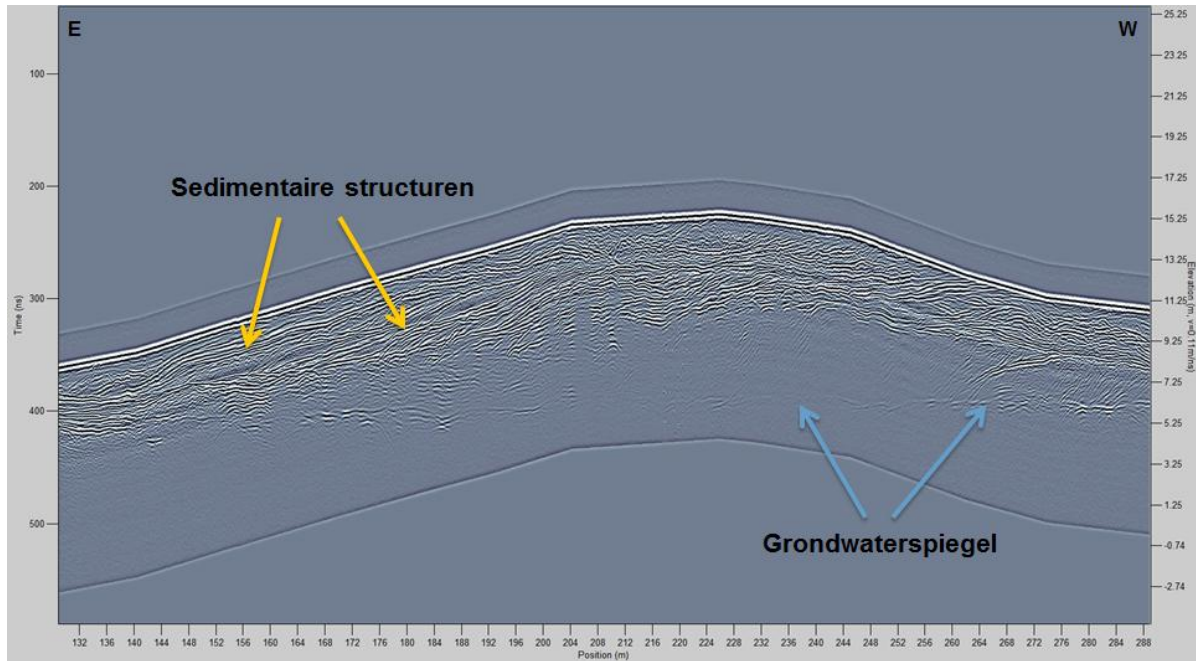


*Tabel 5.1: Overzicht van GPR reflectiepatronen ('facieseenheden'). De opgenomen voorbeelden zijn alle afkomstig uit de voor dit rapport opgenomen profielen.*

*Table 5.1 Overview of typical GPR reflection patterns ('facies units'). All images from the Schouwen Westduinen field area.*

Unit	GPR reflectie patroon	Positie (NAP)	Beschrijving	Interpretatie
X		Max 10 m+	Chaotisch met diffracties	Antropogene verstoringen
E		> 7 m +	Chaotisch	Chaotische eolische afzettingen
D		> 0 m+	Scheefstaand, subparallel	Grootschalige eolische afzettingen (het is deze eenheid die bemonsterd is voor OSL)
G		0 - 6 m+	Subhorizontale reflectie	Grondwaterspiegel
C		2-6 m+	Subhorizontaal	Afgevlakte duinfasen
B		0-5 m+	Licht golvend	Kleinschalige duinstructuren
A		< 1m+	Scheefstaande, sigmoidale sets	Kustafzettingen

Eenheden B tot en met E worden als eolische (wind)afzettingen geïnterpreteerd. De facies eenheden worden begrensd door vlakken ontstaan in perioden van erosie op verschillende niveaus en van verscheidene generaties. Ook kunnen zij worden begrensd door (langdurige) perioden van non-depositie, waarbij in meer of mindere mate bodemvorming is opgetreden. Over het algemeen kan gesteld worden dat de grotere duincomplexen bestaan uit structuren welke kunnen worden gerekend tot eenheid D, afgewisseld met eenheid E, welke zich verplaatsten (migreerden) over eenheden B en C.



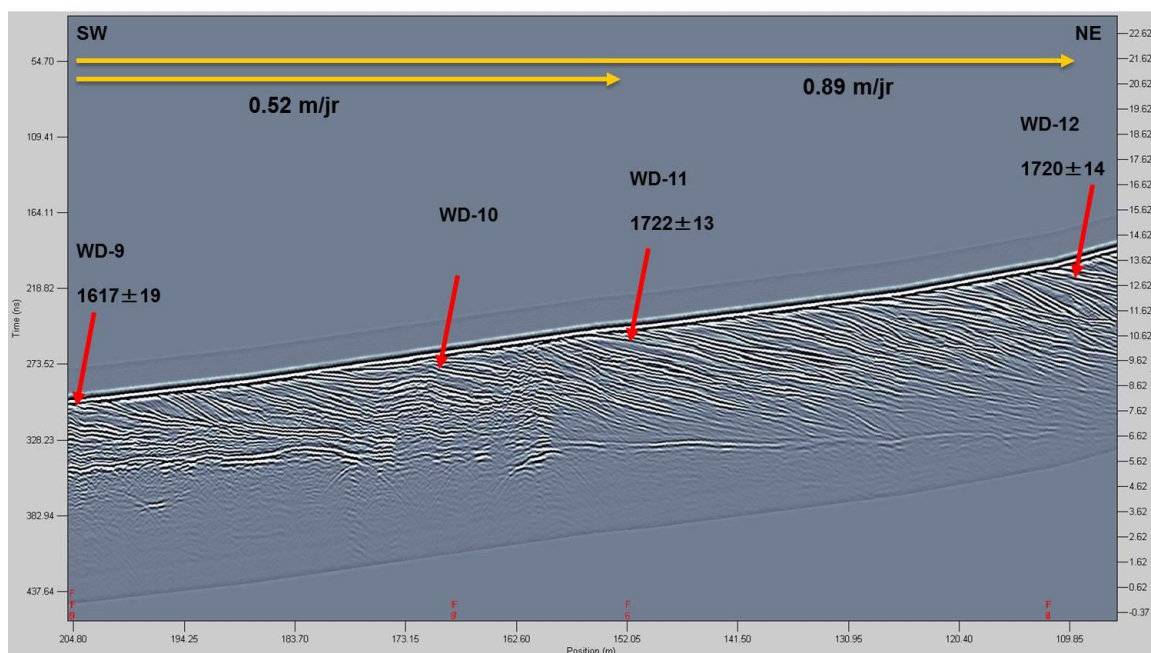
*Figuur 5.2: GPR profiel 34 in de Meeuwenduinen (zie figuur 5.1), waarin reflectiepatronen/sedimentaire structuren D en E en de grondwaterspiegel (G) zichtbaar zijn.*

*Figure 5.2: GPR profile 34 in the Meeuwenduinen area (see fig. 5.1): facies units D and E are visible as well as groundwater table G*

Figuren 5.2, 6.1 en 6.2 geven voorbeelden van GPR profielen zoals die in de Meeuwenduinen opgenomen zijn, waarna de genoemde bewerking heeft plaatsgevonden.

## 6 Resultaten dateringen Optisch geStimuleerde Luminescentie (OSL)

Alwaar GPR reflectiepatroon D over grotere laterale afstand duidelijk is ontwikkeld, is de OSL bemonsteringsstrategie uitgevoerd. Naast deze voorwaarde aan sedimentaire structuur en de laterale dimensie ervan, is een vereiste dat de ondiepe ondergrond onverstoord is en dat er geen subrecente insnijding heeft plaatsgevonden (zoals in Figuur 6.1). De OSL locaties zijn daarom direct gekoppeld en geselecteerd aan de hand van de GPR profielen. Ook direct voor de monsternamen (het graven van de profielkuilen) zijn de locaties nogmaals met GPR gecontroleerd op juiste ligging en afwezigheid van verstoring. Figuur 6.1 toont het GPR profiel bij de OSL monsters WD-4 en WD-5. Tussen deze twee OSL locaties bevindt zich een insnijdingsfase welke, gezien de reflectie terminaties, duidelijk jonger is dan de scheefstaande reflectie sets van eenheid D. Figuur 6.2 laat het eenduidige reflectiepatroon zien op GPR lijn 33. Hier zijn de monsters WD-9 tot en met WD-12 verzameld.



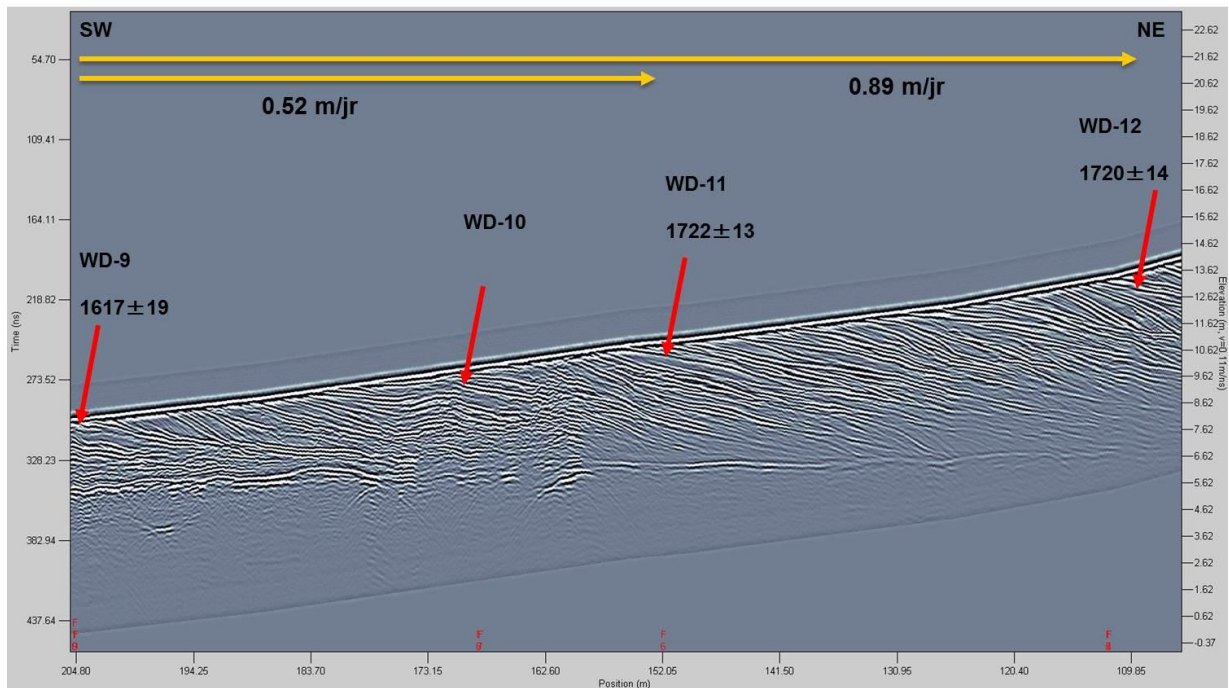
*Figuur 6.1: Ligging van OSL monsters WD-4 en WD-5 aan weerszijden van een latere insnijdingsfase (GPR lijn 10).*

*Figure 6.1: OSL sample positions WD-4 and WD-5 on both sides of a younger filled-in dune blow-out (GPR line nr. 10).*

Tabel 6.1 geeft een overzicht van de resultaten. Figuur 6.3 geeft een kaart met de ligging van de OSL dateringen, de bepaalde ouderdom en de bijbehorende onzekerheden van deze bepalingen. De aangegeven onzekerheden betreffen één standaardafwijking of standaarddeviatie ( $1\sigma$ ). De monsters zijn qua samenstelling homogeen, zowel wat betreft de mineralogie

als bijmenging (kalk, schelpresten, organische stof etc.). Dat betekent dat er ook relatief weinig verschil zit in de onzekerheden. Ook de ligging van de monsters is vergelijkbaar, altijd (ver) boven de grondwater spiegel en, zoals aangetoond door GPR, ver weg van leem- of veenlagen. Daardoor is er ook weinig verschil in de hoeveelheid achtergrondstraling die de monsters per jaar ontvangen (dosistempo). Bijlage F geeft nadere informatie over de wijze van analyse, de geringe verschillen tussen de monsters en een nadere toelichting op de resultaten.

De analyses laten, uitgezonderd WD-1, WD-4 en WD-13, geven aan dat het zand in de 17e eeuw of het begin van de 18e eeuw is afgezet; wat goed overeen komt met de plaatsing in de tijd van de overstuivingsfasen zoals door Beekman (2007) worden aangegeven.



*Figuur 6.2: OSL monsters WD-9 tot en met WD-12 (GPR lijn 33), Meeuwenduinen, Schouwen Duiveland. De gele pijlen geven voortplantingsnelheden van de duinvorm aan (op basis van de geïnterpreteerde OSL data).*

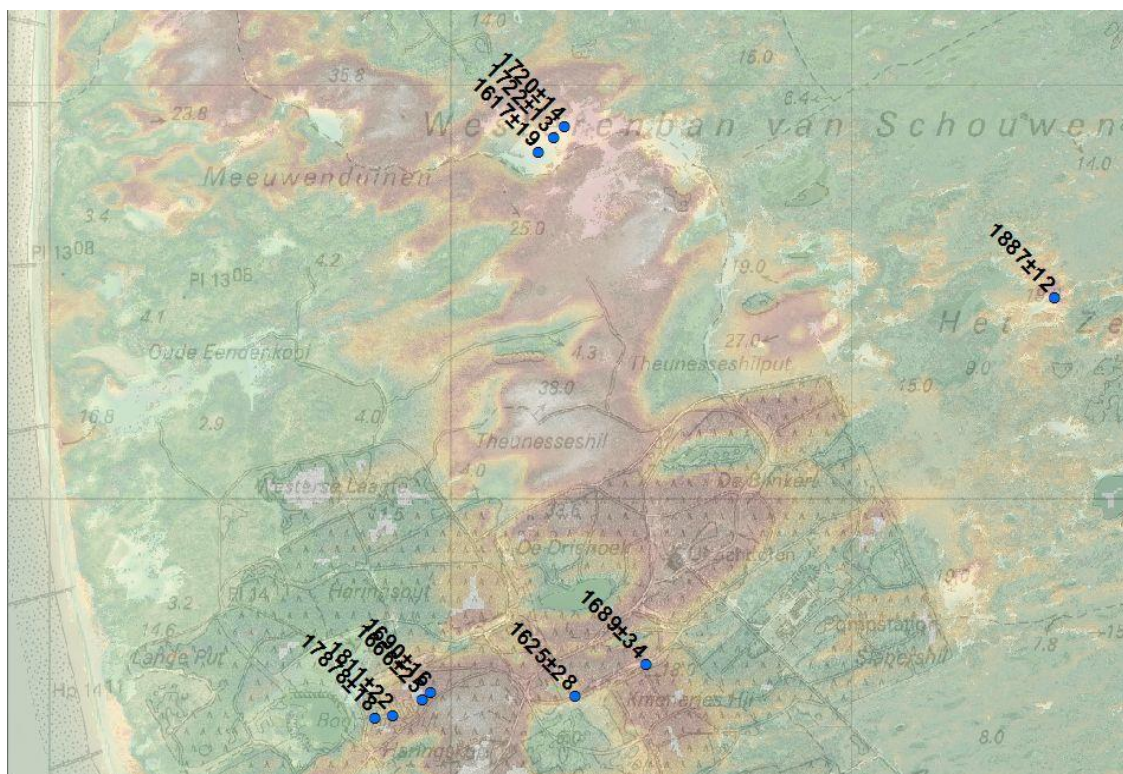
*Figure 6.2: OSL samples WD-9 up to and including WD-12 (GPR line nr. 33, Meeuwenduinen, Schouwen-Duiveland. The yellow arrows indicate foresetting speeds of dune forms (on the basis of interpreted OSL datings).*

*Tabel 6.1: Resultaten van de OSL dateringen, Meeuwenduinen, Schouwen-Duiveland. De onzekerheid ( $\pm$ ) betreft 1 standaarddeviatie ( $1\sigma$ ). Voor nadere informatie over de analyses: zie Bijlage F.*

*Table 6.1: OSL dating results Meeuwenduinen, Schouwen-Duiveland. Uncertainty ( $\pm$ ) refers to 1 standard deviation ( $1\sigma$ ). For more information on the analysis: see Appendix F.*

<b>Monster</b>	<b>NCL code</b>	<b>Monsterdiepte (cm)</b>	<b>Dosistempo (Gy/ka)</b>	<b>Ouderdom (ka)</b>	<b>Ouderdom (jaar AD)</b>
WD-1	NCL-3112044	110	0.73 $\pm$ 0.02	0.225 $\pm$ 0.018	1787 $\pm$ 18
WD-4	NCL-3112045	140	0.71 $\pm$ 0.02	0.201 $\pm$ 0.022	1811 $\pm$ 22
WD-5	NCL-3112046	140	0.71 $\pm$ 0.02	0.346 $\pm$ 0.025	1666 $\pm$ 25
WD-6	NCL-3112047	140	0.67 $\pm$ 0.02	0.322 $\pm$ 0.016	1690 $\pm$ 16
WD-7	NCL-3112048	120	0.71 $\pm$ 0.02	0.387 $\pm$ 0.028	1625 $\pm$ 28
WD-8	NCL-3112049	130	0.69 $\pm$ 0.02	0.323 $\pm$ 0.034	1689 $\pm$ 34
WD-9	NCL-3112050	100	0.70 $\pm$ 0.02	0.395 $\pm$ 0.019	1617 $\pm$ 19
WD-11	NCL-3112051	90	0.70 $\pm$ 0.02	0.290 $\pm$ 0.013	1722 $\pm$ 13
WD-12	NCL-3112052	90	0.73 $\pm$ 0.03	0.292 $\pm$ 0.014	1720 $\pm$ 14
WD-13	NCL-3112053	110	0.67 $\pm$ 0.02	0.125 $\pm$ 0.012	1887 $\pm$ 12

Monster WD-1 en WD-4 zijn gedateerd op eind 18e/begin 19e eeuw en daarmee jonger. Monster WD-13, bemonsterd in een geïsoleerde duintop in de Zeepeduinen, geeft een nog jongere leeftijd (Figuur 6.3). De uitkomsten zijn, op twee metingen na, logisch en consequent en vallen daarmee binnen het verwachtingspatroon. Zoals Figuur 6.3 laat zien is het gedateerde sediment in noordoostelijke richting consequent jonger dan het bijbehorende sediment ten zuidwesten daarvan. Dit valt in het verwachte plaatje van migratie in noordoostelijke richting. Ook bij de monsters WD-1 en WD-4 is dit het geval. Echter op basis van het bijbehorende GPR profiel, op basis waarvan de monsters ruimtelijk werd gepositioneerd, werd verwacht dat deze monsters WD-1 en WD-4 een lagere leeftijd zouden laten zien dan het even verderop gelegen paar WD-5 en WD-6. De doorgaande dakpansgewijze, sedimentaire structuur cf. Tabel 5.1D en Figuur 6.1 wijst daar eenduidig op. Gezien de vragen die dit opriep heeft het NCL lab een aanvullende test uitgevoerd om te zien of er logistieke onvolkomenheden zijn geweest tijdens de lab analyses. Dit is zeer waarschijnlijk niet het geval. Gezien ook de eenduidigheid van het GPR profiel kan een verklaring voor de leeftijdsopenvolging niet makkelijk worden gegeven.



*Figuur 6.3: Locaties en resultaten van de OSL dateringen (in jaren AD).  
Erratum: jaartal linksonder moet zijn: 1778 ± 18.*

*Figure 6.3: OSL dating (in years AD): locations and results. Error: age lower left should read: 1778 ± 18.*

Opvallend is verder de datering WD-11 ten opzichte van WD-9 en WD-12, waarbij WD-11 en WD-12 dezelfde ouderdom laten zien. Bij dateringen in het algemeen, en dus ook bij OSL dateringen, komen dit soort opvallende zaken vaker voor. Vanuit wetenschappelijk oogpunt zouden feitelijk meerdere monsters vlak bij elkaar moeten worden gedateerd, zodat aan statistische criteria wordt voldaan en uitspraken kunnen worden gedaan over de werkelijke, wetenschappelijke waarde van een individuele datering. Dat is binnen de grenzen van dit onderzoek een brug te ver.

Hoewel relatief gering, zijn de onzekerheden van de OSL dateringen van belang bij het bepalen van de horizontale migratiesnelheden van de duincomplexen. De bruikbaarheid van de dateringen voor de bepaling van migratiesnelheden is geanalyseerd door prof. Jakob Wallinga van het Nederlands Centrum voor Luminiscentiedatering, samen met geo-statisticus Dr. Ir. Gerard Heuvelink (WUR). De dateringen zijn daartoe steeds in koppels van twee met elkaar vergeleken. Voor het overgrote deel van de gepaarde monsters is bepaling van migratie-snelheid helaas betekenisloos gebleken, omdat gepaarde OSL leeftijden binnen elkaars foutmarges vallen. Met andere woorden, het verschil tussen de dateringen kan, binnen de onzekerheid, nul jaar zijn. De maximale snelheid wordt daarmee schijnbaar oneindig groot (een horizontale verplaatsing  $x$  in nul tijd). Er is voor de monsters wel een minimale migratiesnelheid uit te rekenen door de afstand te delen door het verschil in dateringen  $+ 1\sigma$  (dit geeft de  $1\sigma$  minimale snelheid), of  $+ 2\sigma$  (dit geeft de  $2\sigma$  minimale snelheid). Statistisch en ook praktisch gezien hebben deze minimale snelheden echter geen betekenis. Alleen voor  $WD-9 > WD-11$  kan een reële waarde berekend worden van de migratie-snelheid, namelijk  $0.52 \pm 0.08$  m/jr. Dit kan ook voor  $WD-9 > WD-12$  (als we er van uitgaan

dat WD 11 een uitbijter is): 0.89 +/- 0.11 m/jr (email J. Wallinga, 13 maart 2013).

*Tabel 6.2: Analyses migratiesnelheden op basis van OSL dateringen (Wallinga, email 3 maart 2013).*

*Table 6.2: Dune form foresetting speeds based on OSL dating (Wallinga, email dated March, 3<sup>rd</sup> 2013).*

Monster Ouderdom AD ( $\pm 1\sigma$ )	Monster Ouderdom AD ( $\pm 1\sigma$ )	Verschil in ouderdom		Hor. afstand $\Delta$ (m)	Migratiesnelheid			
		$\Delta$ (jr)	$1\sigma$ (jr)		Minimaal (m/jr)		Best guess	
					$1\sigma$	$2\sigma$	m/jr	$1\sigma$
WD-4 1811 $\pm$ 22	WD-1 1787 $\pm$ 18	24	26	43.5	0.87	0.58		
WD-6 1690 $\pm$ 16	WD-5 1666 $\pm$ 25	24	24	26	0.54	0.36		
WD-8 1689 $\pm$ 34	WD-7 1625 $\pm$ 28	64	40	192.5	1.85	1.34		
WD-11 1722 $\pm$ 13	WD-9 1617 $\pm$ 19	105	14	53	0.44	0.40	0.52	0.08
WD-12 1720 $\pm$ 14	WD-11 1722 $\pm$ 13	-2	11	37	3.94	1.78		
WD-12 1720 $\pm$ 14	WD-9 1617 $\pm$ 19	103	12	90	0.78	0.71	0.89	0.11

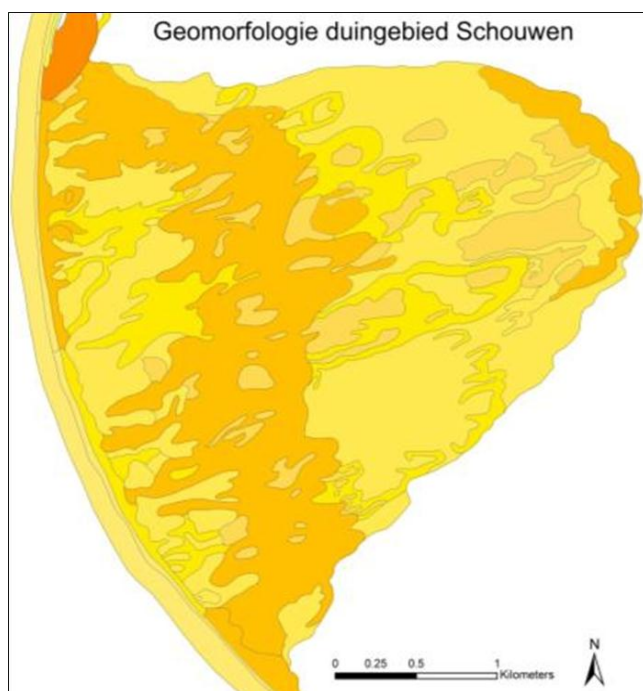
## 7 Verstuiwingshistorie en sturende processen

### 7.1 Uitgevoerde studies

Over de vorming van het Jonge Duin massief is er op grond van archeologische data een goed begrip over de initiële vorming (Van der Valk et al., 1997). Over de historische ontwikkeling van het duinsysteem van de kop van Schouwen bestaat zeer goede informatie (Beekman, 2007). Recentelijk heeft het proefschrift van Van Haperen (2009) de geobotanische invalshoek belicht. De afgelopen drie jaar hebben archeologisch-geologisch veldverkenningen nieuwe data toegevoegd aan de vorming van het duinmassief en aan de rol die de mens hier al vanaf de prehistorie heeft gespeeld (Van der Valk & Beekman, 2011).

### 7.2 Geomorfologie

De Geomorfologische kaart van Nederland is voor het duingebied op Schouwen met behulp van AHN-2 geactualiseerd en verder gedetailleerd (Figuur 7.1).



*Figuur 7.1: Nieuwe bewerking van de geomorfologische kaart Westduinen, Schouwen.*

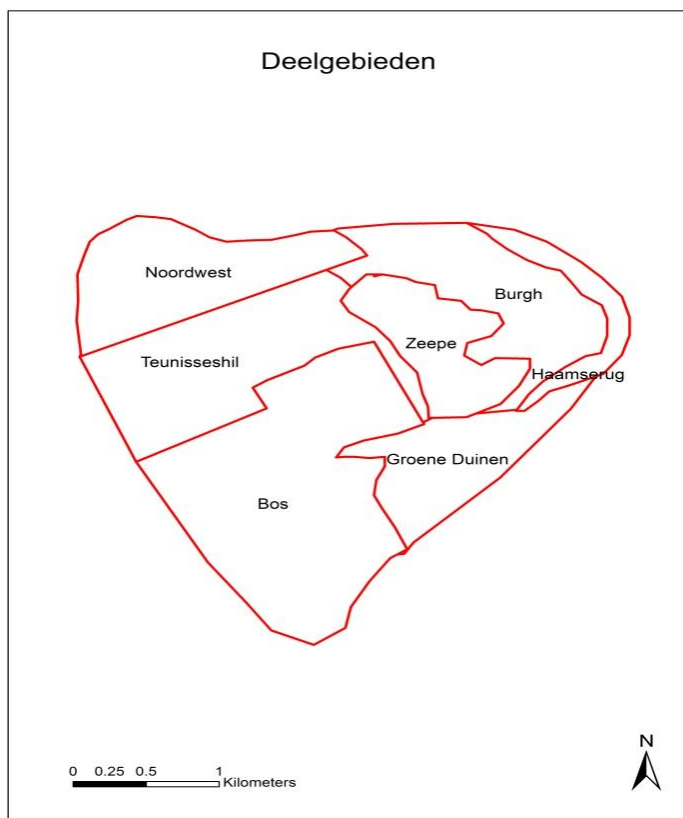
*Figure 7.1: Geomorphological map Westduinen, Schouwen, new version.*



Op de kaart is goed te zien dat het duingebied is opgebouwd uit verschillende fasen van verstuiving. Gezien van West naar Oost en in toenemende ouderdom zijn de volgende landschapseenheden te onderscheiden: achtereenvolgens de zeereep, de brede en hoge duinen van de Boswachterij/Oostelijke Meeuwenduinen, bestaande uit aan elkaar versmolten parabolen, en aan de oostzijde van de Zeepe, het samengestelde en doorgaande smalle en hoge paraboolduin van Haamstede. In het noorden ligt de jonge door helmbeplanting overhoogde zeereep van 't Oude Vuur.

### **7.3 Ontwikkeling verstuivingen**

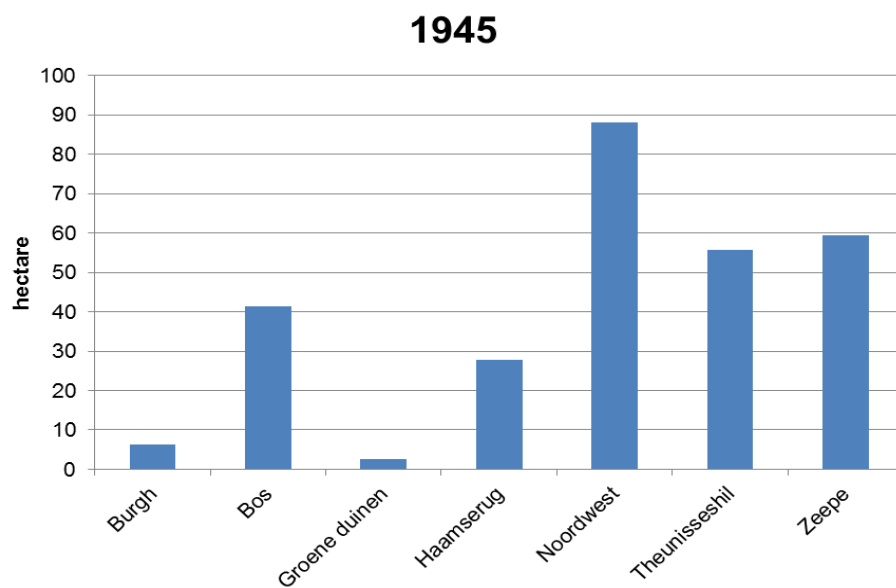
Vanaf het begintijdstip van de inventarisatie van verstuivingen (1945) omvatten de deelgebieden Noordwest (NW), Theunisseshil (TH) en Zeepe duinen (ZD) (figuur 7.2) de grootste oppervlakken kaal zand / stuivend zand. In 1945 komen ook in de andere deelgebieden tamelijk omvangrijke oppervlakken kaal zand voor, maar in de opname van 1959 zijn deze vrijwel geheel verdwenen. Aan het eind van de onderzoeksperiode (2011) herbergen alleen de deelgebieden NW en TH nog belangwekkende oppervlakken. Deelgebied ZD is dan grotendeels gestabiliseerd. Wanneer we in meer detail kijken zijn er verschillende perioden te onderscheiden. Van 1945 tot aan 1978 (luchtfoto datums) is sprake van een forse afname van de verstuivingen in alle deelgebieden. In 1959 zijn er verschillende oppervlakken die blijkens het luchtfotobeeld zijn ingeplant, met name aan de noordkant van deelgebied NW en aan de uiterste noordoostkant van deelgebied TH. Het gevolg is een enorme reductie van het kaal zand oppervlak, van in totaal 281 ha in 1945 tot slechts 53 ha in 1959. De grote afname in het deelgebied Theunisseshil tussen 1945 en 1959 is waarschijnlijk vooral door stabiliserende maatregelen gestuurd. Het gehele gebied is vrijwel dichtgegroeid in 1959, in groot contrast tot de deelgebieden Noordwest en Zeepeduinen waar in 1959 juist nog behoorlijk grote verstuivingen bestaan. Het is niet overdreven om te stellen dat men in die periode van slechts 14 jaar in staat is geweest vrijwel het gehele gebied van de Meeuwenduinen te stabiliseren (zie hoofdstuk 2 van dit rapport).



Figuur 7.2: Deelgebieden Westduinen, Schouwen.

Figure 7.2: Subareas Westduinen, Schouwen.

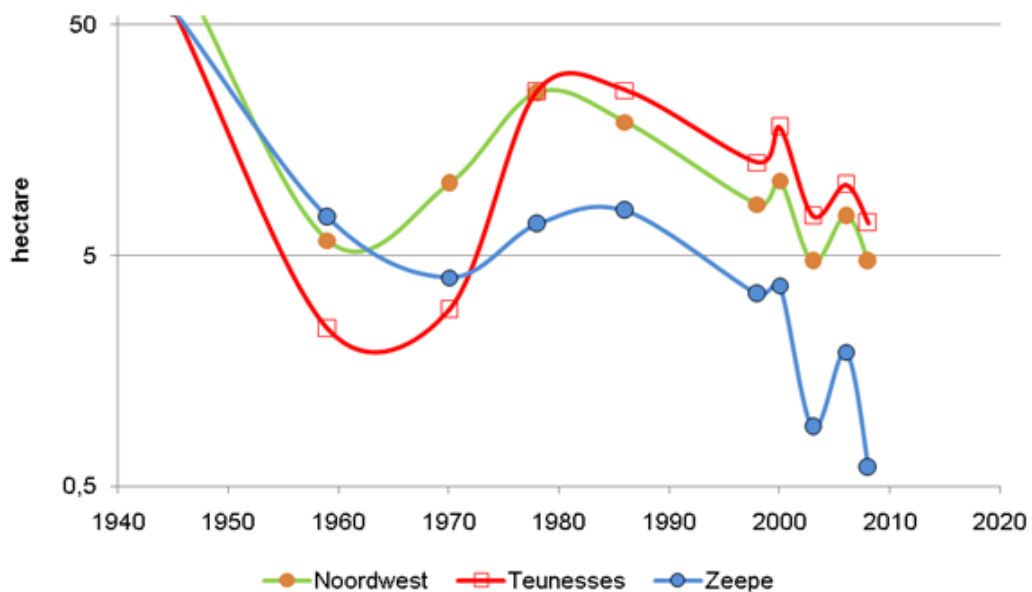
In figuur 7.3 is per deelgebied een staafdiagram weergegeven van de oppervlakten kaal zand in 1945.



Figuur 7.3: Oppervlakte kaal zand per deelgebied in 1945.

Figure 7.3: Un-vegetated sand surface per sub-area in 1945.

Van 1959 naar 1970 blijkt in enkele deelgebieden sprake van een beperkte uitbreiding en in andere van een verdere afname (NW en ZD). In 1978 is er een plotselinge, zeer forse toename van kaal zand, waarbij de toename in deelgebied TH extreem is (van 2.4 naar 30.7 ha), in deelgebied NW zeer groot (van 9.8 naar 29.4 ha) en in deelgebied ZP groot (van 3.6 naar 7.1 ha). Het totale kaal zand areaal is daarmee weer toegenomen tot 72.8 ha (nog steeds een bescheiden deel van het oppervlak in 1945). Het areaal aan kaal zand vanaf 1978 is in deelgebied TH het grootste, en dat blijft tot het einde van de onderzochte periode. Vanaf 1978 is er sprake van een gestage afname van de verstuivingen, waarbij overal in alle deelgebieden de oppervlakken met kaal zand krimpen.



Figuur 7.4. Ontwikkeling van het oppervlak kaal zand voor de drie belangrijkste deelgebieden (NB de verticale as is logaritmisch).

Figure 7.4: Un-vegetated sand surface development of the three most important subareas (NB: the vertical axis is logarithmic).

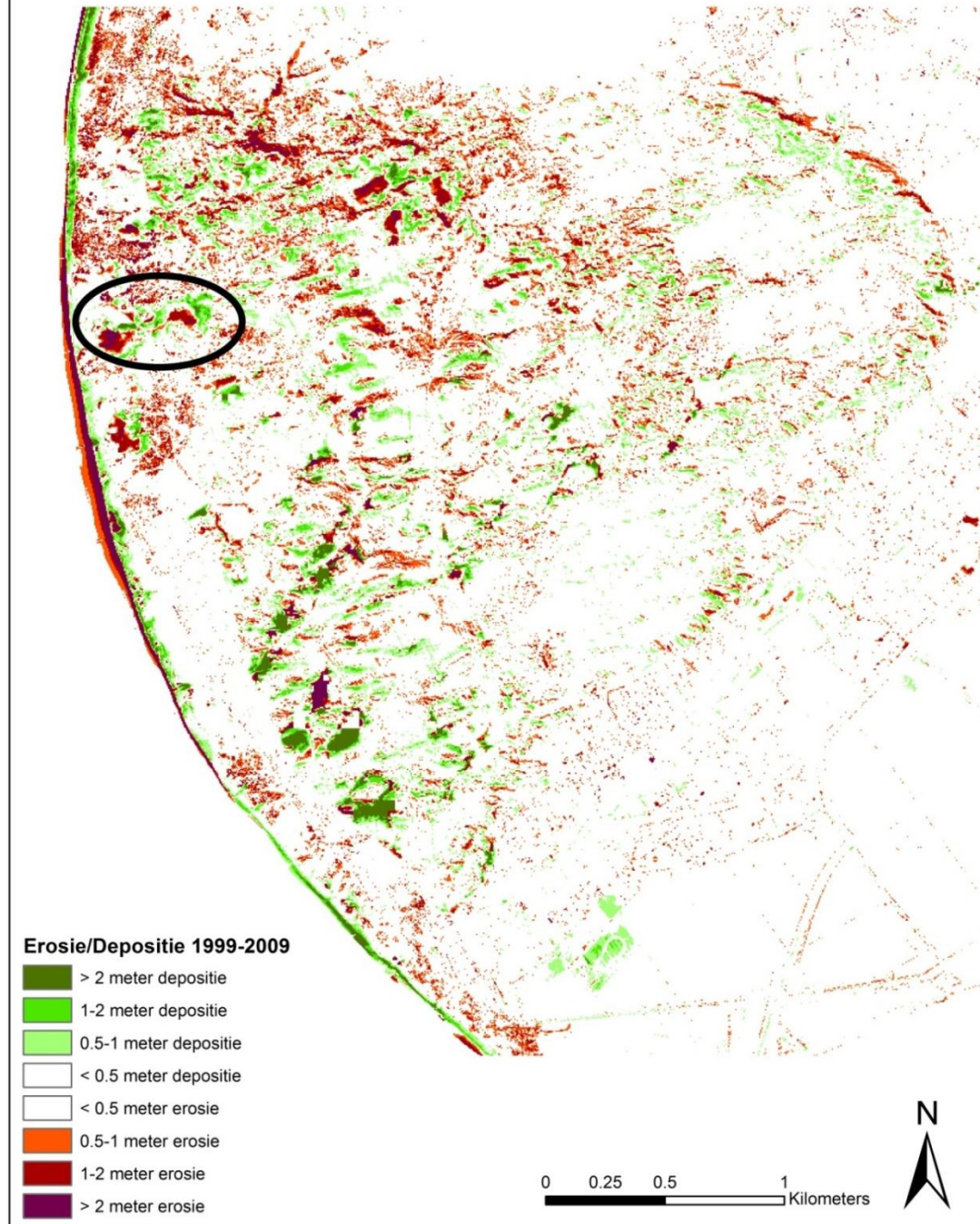
Omdat in slechts drie deelgebieden na 1945 nog substantiële oppervlakken kaal zand voorkomen, focussen we bij de verdere analyse op die gebieden (Noordwest, Theunisseshil en Zeepeduinen). In een grafiek (figuur 7.4) is het verloop in de oppervlakken kaal zand weergegeven. Er vallen een aantal zaken op. Er kunnen twee trends worden onderscheiden, één in de beginperiode, de ander na 1978. De trend in de beginperiode is behoorlijk steil, waarschijnlijk doordat in die periode actief verstuivingen zijn bestreden. Op de luchtfoto van 1959 (figuur 2.1) is op een groot aantal vlakken aanplant te zien, in een grof grid van wilgenteen-schuttingen, duidelijk bedoeld om het oppervlak te stabiliseren. De fluctuaties in de trend na circa 2000 zijn waarschijnlijk het gevolg van niet-eenduidige karteringen. Wat opvalt, is dat de afname na 1978 in deelgebieden Theunisseshil en Zeepeduinen pas in 1986, of kort daarna inzet. Wat verder opvalt aan de periode tussen 1959 en 1978 is dat de enorme toename van verstuiving in 1978 al vooraf gegaan wordt door een toename in 1970 voor deelgebieden Noordwest en Theunisseshil. De fluctuatie in het gebied van Theunisseshil is verreweg het grootst.

Wat is de oorzaak van de toename in de jaren 1970-1978? Verklaringen zijn mogelijk te vinden in die periode in enkele belangrijke ontwikkelingen/gebeurtenissen. Rond 1978 is er een piek in de waterwinning (van Ee, 1982—de waterwinning start in 1930, maar pas na 1970 komt die op een veel hoger niveau). Op dat moment wordt nog niet kunstmatig geïnfilteerd, en het is te verwachten dat de verdroging van het duin als gevolg van het onttrekken van water op dat moment maximaal is. De verdroging zet waarschijnlijk al begin jaren 70 / eind jaren 80 in, mede veroorzaakt door kustafslag, polderpeilverlaging en de aanwezigheid van naaldbos (van Ee, 1982). In 1976 had Nederland te kampen met een extreem warme en droge zomer. Het zou de verklaring kunnen zijn voor de plotselinge toename in oppervlak kaal zand. De extreem warme en droge zomer, in combinatie met een piek in de waterwinning is voor een deel van de vegetatie waarschijnlijk fataal. Detailonderzoek aan de luchtfoto's van 1970 en 1978 leert dat de kale plekken in 1978 vooral ontstaan zijn op oppervlakken die in 1970 een grijze en gelijkmatige structuur hebben, waarschijnlijk duingrasland en/of mos. De vegetatie met een ruigere structuur die op struweel wijst blijkt tussen 1970 en 1978 nauwelijks veranderd. Overigens speelt mogelijk ook een rol dat voorafgaand aan de extreme zomer van 1976 er in januari van hetzelfde jaar een andere extreme gebeurtenis plaats vond, namelijk een zeer zware west-zuidwester storm (11 Bft) die voor de nodige afslag heeft gezorgd (Buisman, 2011). Uit gegevens van het KNMI blijkt dat de windsnelheid bij Vlissingen tijdens die storm maxima van bijna 40 m/s heeft bereikt (KNMI, 2012). Uit vergelijking tussen de kustlijn in 1970 en 1978 blijkt deze in die periode inderdaad een stuk teruggezet, lokaal zelfs 46 m. Nadere bestudering van de zeereep in 1978 leert echter dat de dan ontstane dynamiek niet gerelateerd is aan verstuiwingen in de zeereep. Het is echter wel mogelijk dat de verdroging van de vegetatie al voor 1976 in gang is gezet (getuige de lokale toename tussen 1959 en 1970) en dat de storm van januari 1976 heeft bijgedragen aan een dynamisering van verdroogde oppervlakken. Een en ander wordt geïllustreerd in Figuur 7.4. Waarschijnlijk kent gebied Theunisseshil het grootste verdrogingseffect, het gebied ligt relatief laag en dus valt hier ook het grootste effect te verwachten. Het gebied ligt ook dichtste op waterwinning, dus de grondwaterstands daling zal daar het sterkst geweest zijn. Dit geeft een mogelijke verklaring voor het feit dat de toename van het areaal kaal zand naar 1978 in dit deelgebied het grootste is geweest.

## **7.4 Verstuiwingsdynamiek op basis van het AHN**

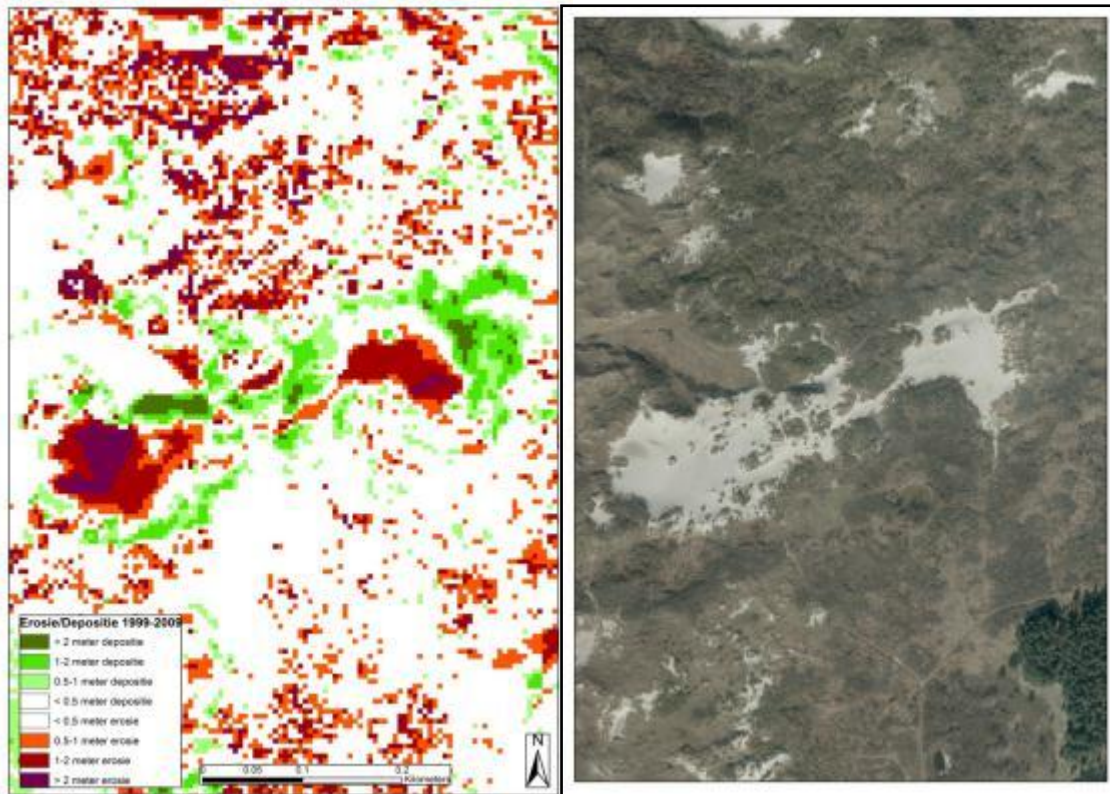
Over de periode 1999-2009 zijn twee opeenvolgende versies van het Actuele Hoogtebestand Nederland beschikbaar. Er is op basis van deze twee bestanden een verschilkaart gemaakt (Figuur 7.5) waarin is weergegeven of en hoeveel erosie dan wel sedimentatie is opgetreden in de periode 1999-2009 (volgens de AHN gegevens). In het kaartbeeld valt in eerste instantie de grote hoeveelheid ruis op. Dit komt voort uit afwijkende hoogtebepalingen die in het bestand aanwezig zijn – vaak als gevolg van de aanwezigheid van opgaande beplanting en/of water. Een nadere blik op de kaart maakt duidelijk dat er concentraties van erosie en sedimentatie aanwezig zijn. Deze concentraties vallen samen met de locaties waar stuifzandgebieden met kaal zand liggen. Een detail uit Figuur 7.5 laat zien dat de nu actieve stuivende gebieden zeer goed herkenbaar zijn in de AHN vergelijking (Figuur 7.6).

## Vergelijking AHN-1 en AHN-2 duingebied Schouwen



*Figuur 7.5: Verstuivingsdynamiek op basis van de hoogtebestanden AHN1 en AHN2. De zwarte omlijning is het gebied dat in figuur 7.6 is uitgelicht. Naast veel 'ruis' als gevolg van het de dynamiek van de vegetatie zijn de actieve stuifzandgebieden goed herkenbaar.*

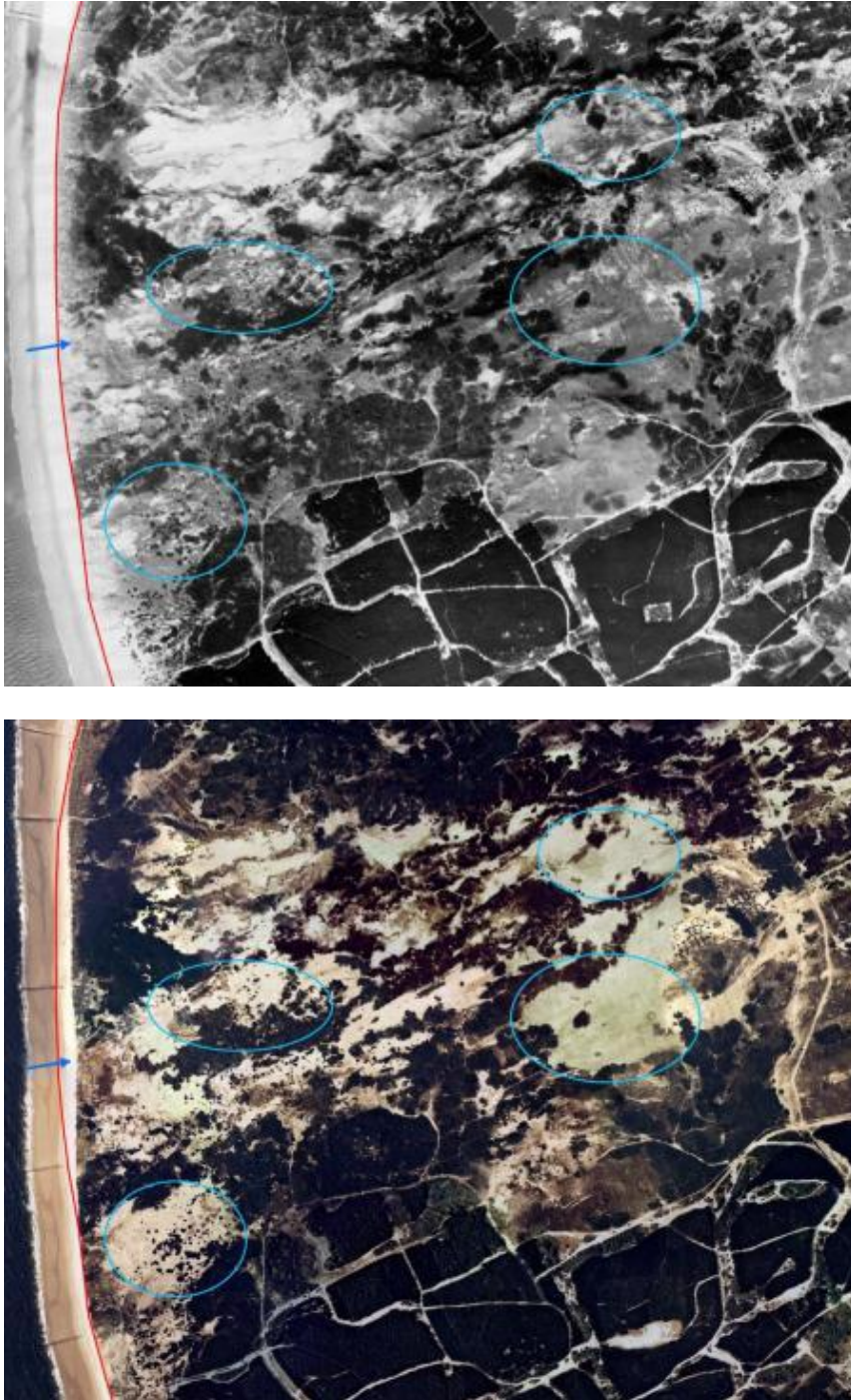
*Figure 7.5. Dune sand dynamics on the basis of DEM's AHN1 and AHN2. The black ellipse indicates the figure 7.6 cut-out. The major areas of mobile sand are clearly indicated, with a considerable background noise of vegetation growth effects.*



*Figuur 7.6: De vergelijking van AHN1 met AHN2 uitgedrukt in erosie/sedimentatie (links) en de luchtfoto opname uit 2011 (rechts). De linker stuifketel is de Nieuwe Westerse Laagte (doorsnede N-Z ca. 60 m, en de rechter ondiepe stuifketel is het Langedal (ca. 40 m in doorsnee). Vooral ten noorden van dit stuifzandgebied is goed te zien wat de weergave is van het voorkomen van bomen en struiken in het AHN. Nadere uitleg over de effecten van erosie en sedimentatie in de tekst.*

*Figure 7.6: The AHN1-AHN2 comparison expressed in erosion/sedimentation (left image) and the 2011 aerial photograph (right image). The blow-out on the left is called "Nieuwe Westerse Laagte"(N-S 60 m across, and the less pronounced blow-out on the right is called the "Langedal"(40 m across). North of the area of the two blow-outs, the image highlights the effect of trees and shrub vegetation dynamics on AHN images. For further explanation on the effects of erosion and sedimentation: see text.*

In Figuur 7.6 valt verder op dat het uitstuiven en het accumuleren van zand ruimtelijk met elkaar samenhangen zoals verwacht kan worden bij dergelijke kleinschalige verstuingen: accumulatie van zand aan de noordoostkant van het stuivende gebied. De omvang van erosie en sedimentatie komen overeen met metingen die in het veld zijn gedaan in dit gebied (van der Valk et al., 2011). Het is interessant om deze gegevens verder te verwerken naar het volume (in m<sup>3</sup>) van zand dat is weggestoven en is geaccumuleerd. Dergelijke getallen geven een indicatie van de intensiteit van verstuingen en kunnen aanvullend worden gebruikt om te bepalen in welke zones langdurige verstuingen het meest kansrijk zijn. Figuur 7.7 geeft verder de ontwikkeling in de wijdere omgeving van de stuifkuilen van figuur 7.6, waarbij ook de kustnabije ligging en de factor erosie van de zeereep, strand en dus ook de vooroever duidelijk wordt (zie verder bijschrift bij de figuur).



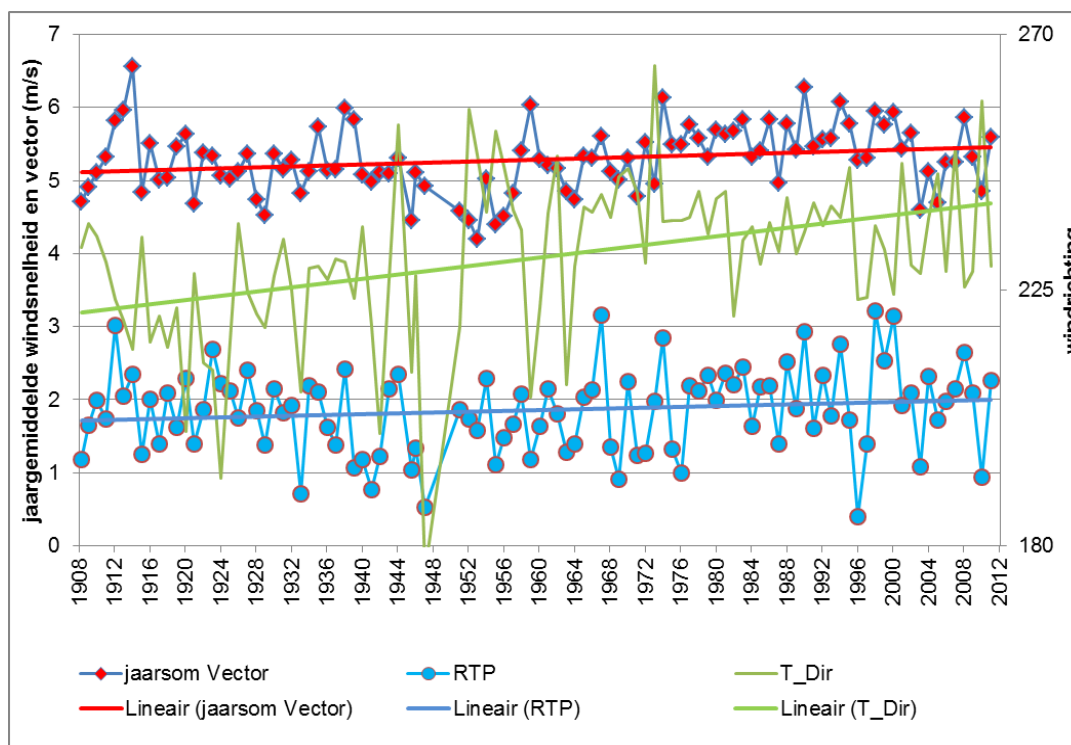
*Figuur 7.7: Belangrijke veranderingen tussen 1970 (boven) en 1978 (onder). De blauwe pijl geeft het punt met maximale afslag (achteruitgang van de duinvoet van 46m). De blauwe ellipsen geven enkele voorbeelden van duingrasland/mos (lichtgrijze vlakken op foto 1970) die overgaan naar kaal zand (witte vlakken op foto 1978).*

*Figure 7.7: Important changes in vegetation and sand dynamics between 1970 (image to the left) and 1978 (image to the right). The blue arrow indicates maximum dune foot withdrawal (over 46 m). The blue ellipses are locations where 'grey dunes' (grey surface on the 1970 photo) have become shifting sands (white surface at the 1978 photo).*

## 7.5 Meteorologie

### 7.5.1 Wind

De langste serie windgegevens (met de nodige kanttekeningen, zie paragraaf 4.4.1) is beschikbaar van Vlissingen. Figuur 7.8 toont de berekende vectoren voor snelheid (jaarsom Vector), resultante vector (RV) en resultante richting (T\_Dir) te Vlissingen. Voor de gebruikte windrozen, zie bijlage E.



*Figuur 7.8: Windvectoren voor Vlissingen.*

*Figure 7.8: Wind vectors at Vlissingen.*

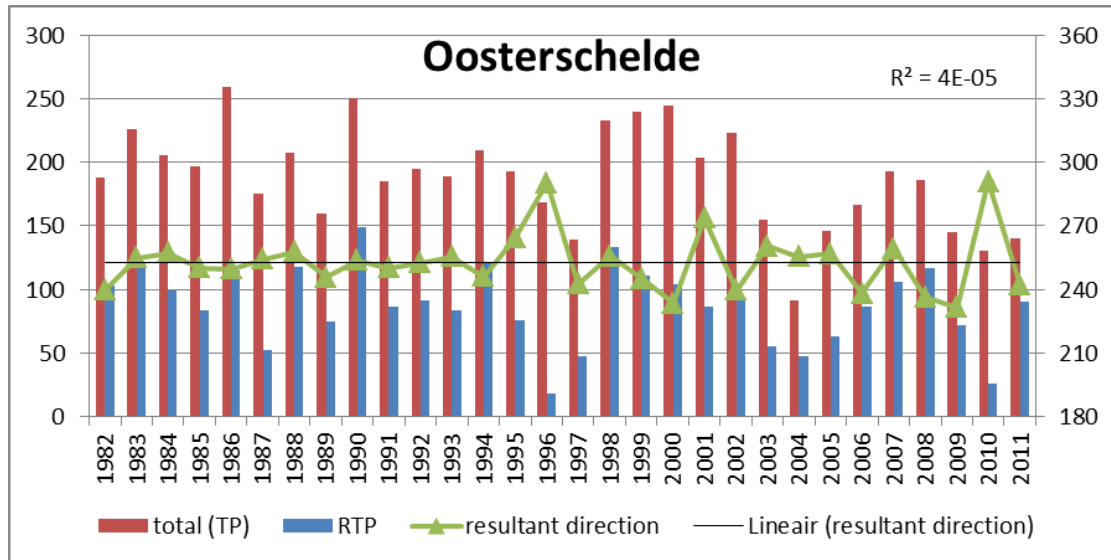
Uit deze figuur blijkt niet dat de windenergie over de afgelopen eeuw is afgenomen. Er blijkt zelfs een licht positieve trend uit, die suggereert dat de windenergie juist is toegenomen, maar dit hangt waarschijnlijk samen met de verplaatsing van het weerstation. Er lijkt ook een verandering van de windrichting, een verschuiving van 19 graden van 220 naar 239 graden (dus van bijna zuidwest naar meer westzuidwest) te zijn opgetreden. Hoogstwaarschijnlijk houdt dit verband met de verandering in de metingen, zo een grote verandering is niet waarschijnlijk. Als we inzoomen in perioden, dan blijkt vanaf 1959 (het jaar vanaf wanneer de meetreeks wel als betrouwbaar is beoordeeld, zie Wieringa en Rijkooft, 1983) de trend voor zowel jaarsom Vector als RV ook positief te zijn, voor de periode 1983-2011 zijn beide trends negatief, wat wel aanduidt dat de laatste decennia relatief minder windrijk zijn, in ieder geval minder dan gemiddeld.

### 7.5.2 Transportberekeningen

In onderstaande figuur 7.9 zijn voor windstations Oosterschelde de berekende transportvectoren weergegeven. Over de periode 1982-2011 is voor station



Oosterschelde de trend in de totale transportcapaciteit (TP) en de transport resultante (RTP) licht negatief, wat betekent dat in die periode het potentiële zandtransport iets af is genomen. Voor de jaren 1982, 1983 en 1987 mist een beperkt deel van de data, voor 2004 mist een groot deel. Dit kan effect hebben op de trend en in ieder geval op het berekende totaal voor die jaren. Over deze periode is er voor dit station geen verandering in de windrichting geconstateerd.



Figuur 7.9: Transportvectoren voor windstation Oosterschelde. Vectorsen linker Y-as, richting rechter Y-as.

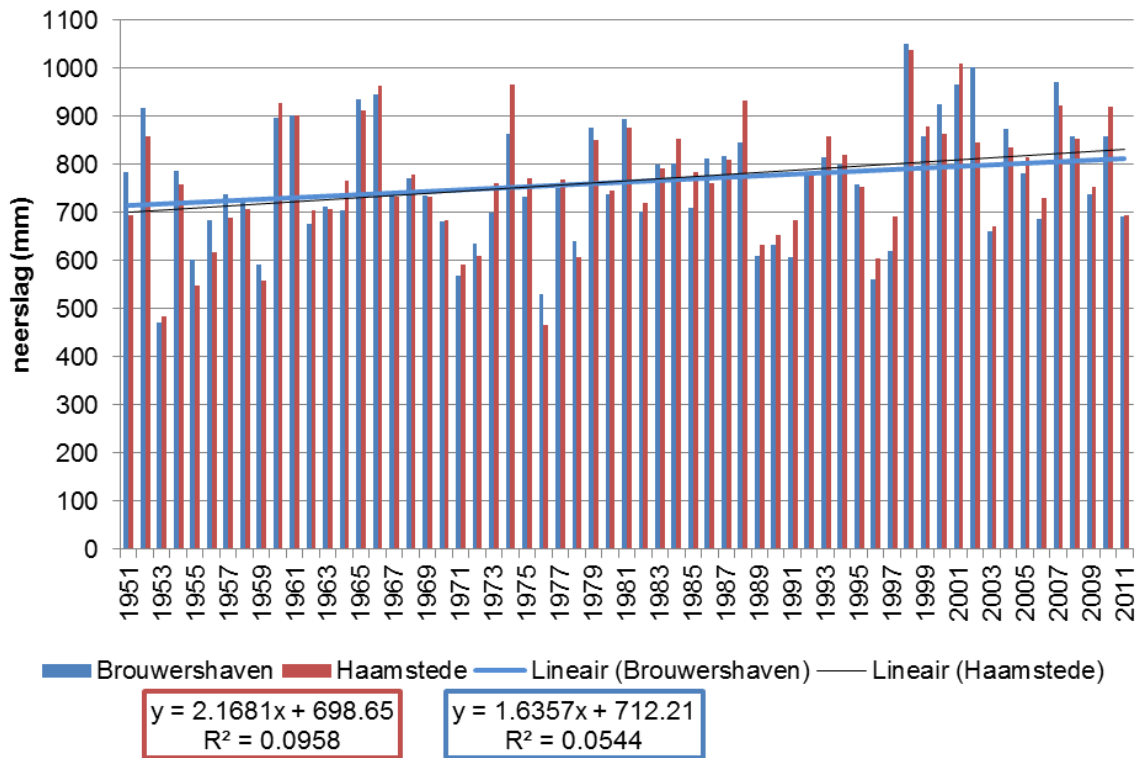
Figure 7.9: Transport vectors at the Eastern Scheldt wind station. Left vertical axis: vectors; right vertical axis: direction.

Voor LE Goeree is de trend door TP en RTP (gerekend vanaf 1966) positief (zie bijlage B), maar hier missen helemaal veel data en moet de trendberekening niet als betrouwbaar worden beschouwd. Voor 1966 zijn de data alleen in 3-uurwaarden beschikbaar. Tussen 1971 en 1990 zijn er veel jaren waar veel data ontbreken. Vanaf 1990, wanneer de databeschikbaarheid goed is, is de trend negatief, echter met een erg lage R2.

Voor beide stations lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat het laatste decennium het potentiële transport enigszins is afgenomen, maar dat deze verandering niet significant is. Het is niet waarschijnlijk dat dit dé verklaring is voor een afnemende dynamiek.

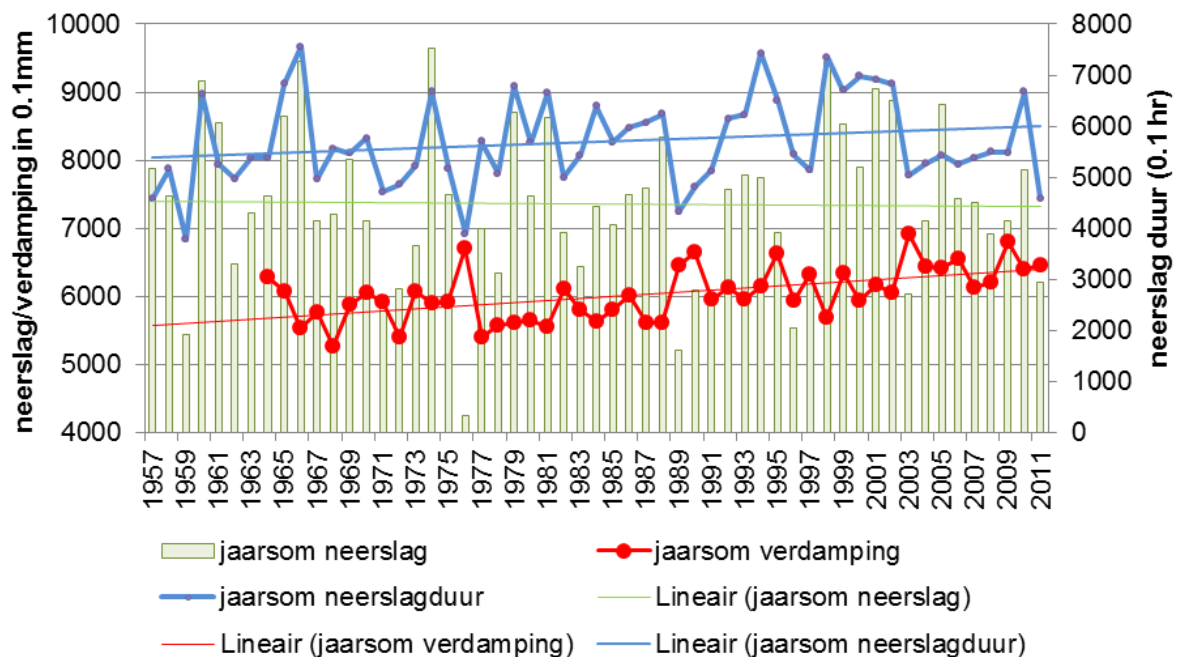
## 7.6 Neerslaggegevens

De jaartotalen voor Haamstede en Brouwershaven tonen sinds 1951 een duidelijk stijgende trend in de neerslaghoeveelheid, die past in de landelijke trend. De toename bedraagt gemiddeld circa 50-100 mm over deze periode en is voor Brouwershaven en Haamstede vergelijkbaar. De gegevens voor Brouwershaven en Haamstede zijn goed gecorreleerd (R2 is 0.87).



Figuur 7.10: Neerslaghoeveelheid voor Brouwershaven en Haamstede.

Figure 7.10: Precipitation figures at Brouwershaven and Haamstede.



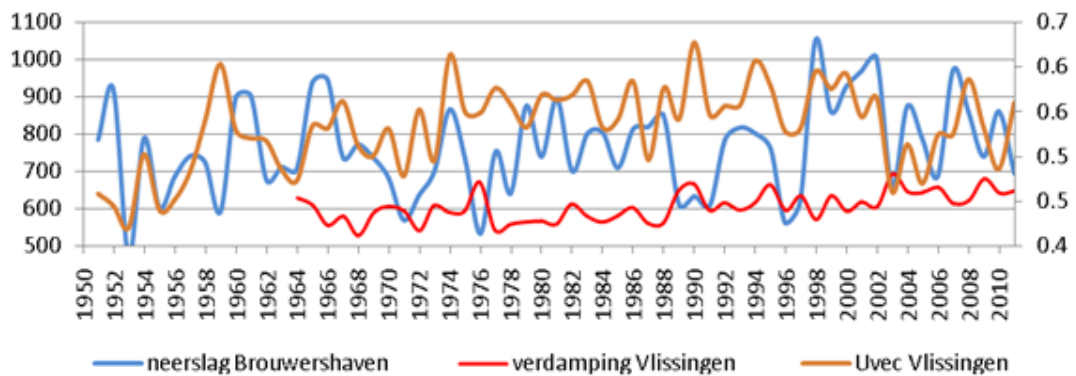
Figuur 7.11: Neerslaggegevens en verdamping voor Vlissingen.

Figure 7.11: Precipitation and evapotranspiration figures at Flushing.

Voor Vlissingen is geen sprake van een stijgende trend in de neerslag sinds 1957, de trendlijn loopt vrijwel horizontaal. Wel is voor Vlissingen een duidelijke trend zichtbaar in de toename van de verdamping en de neerslagduur. Dit is strijdig met het landelijke beeld van een toegenomen neerslag hoeveelheid en intensiteit. Er zijn verschillende jaren dat de jaarsom van de verdamping hoger is dan de jaarsom van de neerslag. Dit zijn 1976, 1989, 1990, 1996, 1997 en 2003. Dit zijn dus jaren met een neerslagtekort en een mogelijke verdroging van vegetatie. Overigens zijn de neerslaggegevens van Vlissingen, zowel de duur als de hoeveelheid, goed gecorreleerd met Brouwershaven en Haamstede ( $R^2$  tussen 0.5 en 0.7)

Conclusies met betrekking tot meteorologie als verklarende variabele

Voor het dungebied van Schouwen kunnen we uitgaan van een stijgende neerslaghoeveelheid (en -duur) in de loop van de 20e eeuw en een toename van de verdamping, met incidenteel flinke neerslagtekorten, en daarbij een sterk variabele wind, waarbij op grond van de gegevens niet met zekerheid gesteld kan worden of de windsnelheid toe- dan wel afneemt en of de richting verandert. Een synthese van de meteorologische variabelen die waarschijnlijk doorslaggevend zijn, wordt gegeven in onderstaande figuur 7.12.



*Figuur 7.12: Verloop van de belangrijkste meteorologische factoren tussen 1950 en 2010.*

*Figure 7.12: Development of the more important meteorological factors between 1950 and 2010.*

Hieruit vallen de perioden af te leiden waar neerslagtekort en verhoogde wind samenvallen. De periode tussen 1970 en 1978 laat inderdaad een combinatie van meer wind en minder neerslag dan gebruikelijk zien. Tussen 1990 en 1996 komt een vergelijkbare periode voor. Al met al lijken de meteorologische variabelen een goede verklaring te geven voor de opleving van dynamiek tussen 1970 en 1978, zeker in combinatie met de kennis over maximale grondwateronttrekking in die periode. De periode tussen 1990 en 1996 lijkt geen positieve invloed op de verstuiving te hebben. Waarschijnlijk is daarom de combinatie van maximale grondwateronttrekking, hogere verdamping en wind doorslaggevend.

## 8 Integratie

Wanneer we de resultaten van de OSL-dateringen in combinatie met de GPR-profielen bezien, dan kunnen we tot de volgende conclusies komen.

Het beeld wat uit die data oprijst is dat de dynamiek in de 17e-18e eeuwse landschap er niet veel anders uit heeft gezien dan de dynamiek in het huidige duinlandschap - wanneer we de explosie van vegetatie als gevolg van de stikstofdepositie even weg denken. We weten dat in het relatief recente verleden (ca. 1930-50) de duinen sterk gestoven hebben (waarna ze vastgelegd zijn). De verandering in weerpatroon is niet van dien aard geweest dat dergelijke dynamiek nu niet meer mogelijk zou zijn. Wanneer deze aanname correct is dan is er goede hoop voor een tenminste tijdelijk opleven van dynamiek (>10 jaar), met zandverplaatsingen over grote oppervlaktes na een eventuele schoonmaakoperatie van het duinoppervlak.

Dat er in de 17e-18e eeuw veel werd geklaagd over stuifbezwaar lijkt meer iets van perceptie van het fijne airborne (suspended) stuifzand wat bijvoorbeeld over het dorp Haamstede neer kwam dan dat er sprake was van uit de hand lopend wandelen van duinen: voortplantingssnelheden van 0,5 m per jaar (zoals door de OSL dateringen wordt gesuggereerd) zijn zeer gering te noemen. Bijvoorbeeld, van paraboolduinen met spaarzame helm begroeiing wordt algemeen aangenomen dat verplaatsings-snelheden van de duinvoet van 5-6 m/jr gewoon zijn. Dat steekt schril af bij de data van Schouwen. Het wijst erop dat onze voorstelling van zaken van "paleo-duindynamiek" aan bijstelling onderhevig zal moeten zijn. Het is daarmee ook duidelijk dat soortgelijke monstercampagnes als op Schouwen uitgevoerd, in andere duingebieden nog wel tot verrassende resultaten aanleiding kunnen geven. In tabel 8.1 is een vergelijking tussen de dynamiek van het 'oude' en het 'jonge' kustlandschap gegeven.

*Tabel 8.1: De verschillen en overeenkomsten tussen dynamiek in het verleden en hedendaagse dynamiek op de Kop van Schouwen.*

*Table 8.1: Differences and similarities between dune dynamics in the past and at present.*

	<b>Vroeger (16-17<sup>e</sup> eeuw)</b>	<b>Nu (20<sup>e</sup> - 21<sup>e</sup> eeuw)</b>
zeereep	Mobiel en sterk erosief zowel door golven als door wind; geparaboliseerd	Rechtgetrokken, gesuppleerd, beplant, passief ge-herdynamiseerd, maar wel onder curatele
Achter de zeereep	Mobiel en sterk erosief; stuifvalleien en stuifvlaktes, 'zandzee'	Onder vastlegging (mens tot 1980, daarna bemest met stikstof); periodiek lokaal relatief kleine stuifvalleien (tot 50 m doorsnede kustlangs)
Middenduin	Zeer langzaam verschuivende en sterk verhogende parabolen door helmbepanting	Onder vastlegging (mens tot 1980, daarna bemest met stikstof); verdroogd; lokale stuifvalleien, niet erg diep
Zeepeduinen	Er gebeurt niet veel, langzaam rukt begroeiing op	Vastlegging, verstruiking, elzenhakhoutj
Binnenduinrand	Stabiel door bebossing aan de landzijde	idem

## 9 Uitwerking herstel-ingrepen

De hier volgende tekst is, in overleg met Provincie Zeeland (M. Kuzee) overgenomen uit het rapport "Herstelstrategieën Kop van Schouwen en Manteling Walcheren, in ruimte en tijd", Arens et al., 2012, met hier en daar redactionele aanpassingen.

In dit hoofdstuk vindt een uitwerking plaats in ruimte en tijd wat betreft herstelstrategieën voor de Kop van Schouwen met daarbij ook een uitzicht op de lange termijn (2100). De herstelstrategieën komen voort uit de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS). De strategieën hebben betrekking op de habitattypen waarbij duindynamiek een rol speelt (met name habitatype 2130, Grijs duinen). Ze zijn dan ook gericht op het verbeteren, vergroten, versterken van dynamiek en van de mogelijkheden daarvoor. Voor de PAS worden drie beheerperioden onderscheiden, P1 van 2012 tot 2018, P2 van 2018 tot 2024 en P3 van 2024 tot 2030. Hoewel de strategieën gericht zijn op deze periode tot 2030 is er ook een doorkijk gegeven naar de langere termijn (tot 2100). In de eerste beheerperiode van PAS, 2012-2018 ligt de focus op het behoud van bestaande Grijs duinen. In de tweede en derde periode, 2018-2030 ligt de focus op uitbreiding en verbetering.

### 9.1 Algemene beschrijving

Vanzelfsprekend is bij het ontwikkelen van herstelstrategieën in het kader van de PAS, de PAS zelf het startpunt. De uitwerking van maatregelen komt ten eerste en vooral ten goede komen aan een oplossing van het stikstofprobleem, omdat de financiering plaatsvindt vanuit de PAS-regeling. Wanneer met de voorgestelde maatregelen bijkomend andere doelen bereikt kunnen worden (bijvoorbeeld verbetering kustveiligheid, ontwikkeling ruimtelijke kwaliteit, verbetermogelijkheden voor de lange termijn), dan levert dit echter een meerwaarde. Hoewel bij de ontwikkeling van een strategie deze bijkomende doelen geen uitgangspunt zijn, worden ze wel steeds uitdrukkelijk mee beschouwd, mede om te voorkomen dat een voorgestelde strategie juist tegen deze doelen in gaat. Dit maakt een voorgestelde strategie sterker, het zorgt voor een breder draagvlak, verbeterde acceptatie en het maakt het makkelijker om bepaalde vergaande maatregelen uitgevoerd te krijgen.

Bij de ontwikkeling van een strategie streven we naar duurzame oplossingen die ook op de lange termijn soelaas bieden. Maatregelen die gericht zijn op de afvoer van nutriënten met gangbare, "ouderwetse" natuurbeheermaatregelen, zijn een vorm van symptoombestrijding en zullen blijvend herhaald moeten worden zolang de stikstofdepositie de Kritische Depositie Waarden (KDW)'s overschrijdt. Meer heil wordt verwacht van een grootschalig systeemherstel, waarbij landschapsvormende processen zo op gang worden gebracht dat er sprake kan zijn van langdurige mogelijkheden voor verjonging met als gevolg een verbetering van de randvoorwaarden voor het behoud of de ontwikkeling van de relevante habitattypen. Een dergelijke vorm van systeemherstel vereist echter een ruime tijdshorizon. Het in gang zetten van (grootschalige)

processen kan jaren in beslag nemen, en het effect ervan op de duinen kan tientallen jaren duren (met een tijdshorizon die dus ver voorbij de PAS reikt). Daarom zullen voor de korte termijn, om binnen de PAS-periode ook succesvol te zijn met betrekking tot behoud, natuurbeheermaatregelen gericht op de afvoer van nutriënten noodzakelijk blijven. Deze maatregelen hebben immers hun nut bewezen, en zorgen direct voor een verbetering van de habitats. Binnen de ontwikkeling van een strategie moeten we er wel voor waken dat de korte termijnoplossingen de lange termijn oplossingen niet in de weg staan.

Systeemherstel op grote schaal in ruimte en tijd vraagt om een integrale benadering, waarbij kustonderhoud een belangrijke rol kan spelen. Enerzijds is de kustontwikkeling richtinggevend voor het ontstaan van duinen, en zijn de huidige natuurwaarden in de duinen voor een groot deel het gevolg van grootschalige duinvormende processen die in ieder geval deels door de kustontwikkeling zijn bepaald (zie bijvoorbeeld Beekman, 2007). Anderzijds kan door het sturen van de kustontwikkeling door middel van kustonderhoud het functioneren van landschappelijke processen binnen de duinen op de grootst en hoogst mogelijke schaal worden beïnvloed. Het kustonderhoud kan dus een krachtig hulpmiddel zijn ten behoeve van de aanpak van de PAS-problematiek. Daarmee raakt deze problematiek direct aan het aspect van kustveiligheid. De uitdaging is nu beide zo op elkaar af te stemmen, dat ze elkaar niet tegenwerken maar juist versterken (zie bijvoorbeeld Arens en Mulder, 2008).

Voor het behoud van habitattypen op de korte termijn wordt gebruik gemaakt van de PAS-systematiek met een scala aan bewezen natuurbeheermaatregelen. Voor het systeemherstel, en het behoud op de langere termijn is eigenlijk alles wat er op dit moment gebeurt experimenteel. Er zijn vele experimenten gaande sinds eind jaren 1980, maar gezien de tijd die nodig is voor een volledig functioneel herstel kan nog van geen enkel experiment gesteld worden dat dit 100% succesvol is geweest. Desondanks is er wel al de nodige ervaring en is van een aantal maatregelen gericht op systeemherstel al redelijk in te schatten wat het effect zal zijn. Deze worden in het kader van de PAS dan ook als bewezen beschouwd.

Hierbij nogmaals een pleidooi om gezien de noodzaak voor een aanpak op de lange termijn een goede koppeling te maken tussen de PAS en de verschillende programma's die zich richten op het beheer van de kust of een lange termijn visie, zoals het project "3 maal slimmer" en het Deltaprogramma Kust, met daarmee samenhangend de provinciale kustvisie voor Zeeland, Atelier Kustkwaliteit en de Nationale Visie Kust.

### **9.1.1 Systeemvisie**

Met betrekking tot dynamiek kunnen we binnen het kustduinsysteem twee gradiënten onderscheiden. De hoofdgradiënt (G1) wordt gekenmerkt door een invloed van zand (met kalk), zout en wind en staat dwars op de kust. Vanaf strand naar zeereep naar de achterliggende duinen neemt de intensiteit af, de mate waarin hangt onder meer samen met de kustexpositie. De tweede gradiënt (G2) heeft betrekking op de dynamiek rond kleinschaligere verschijnselen zoals stuifkuilen die in de duinen zelf voorkomen en wordt gekenmerkt door de invloed van zand (al dan niet met kalk). In vergelijking tot de hoofdgradiënt is de intensiteit geringer en de ruimtelijke schaal kleiner.

Kijken we naar het kustduinsysteem, dan zijn er twee verschillende systemen te onderscheiden, waarbij de hoofdgradiënt G1 verschillend functioneert.

Bij een aangroeiende kust wordt de gradiënt steeds in zeewaartse richting verlegd. Vanwege vegetatieontwikkeling en aanvoer van zand is er over het algemeen sprake van een milde dynamiek en een vrij korte gradiënt. De dynamiek wordt als het ware steeds naar buiten gedrukt, nieuwe duinen die ontstaan zorgen voor een stabilisatie van de achterliggende duinen. In zo een situatie reikt de gradiënt niet of nauwelijks tot in de duinen achter de Zeereep. Wanneer we spreken van systeemherstel is het niet logisch om in zo een situatie te proberen de gradiënt op te rekken. Als gevolg van suppleren ontstaan dit soort situaties op verschillende plaatsen, ook wanneer verder geen enkel zeereepbeheer wordt uitgevoerd.

Bij een afslagkust (erosief systeem) kan de gradiënt zich tot zeer ver in de duinen achter der zeereep uitstrekken. Door afslag en winderosie kan het zand de begroeiing bedekken en zou dynamiek steeds verder naar binnen kunnen dringen. Deze situatie is in de geschiedenis herhaaldelijk voorgekomen op Schouwen (Beekman, 2007). Er kan sprake zijn van een extreme dynamiek. In geval van systeemherstel, de mogelijkheden voor het ontwikkelen van een optimale gradiënt, kan hier worden gestreefd naar een zo lang mogelijke gradiënt. Dit betekent in feite de dynamiek zo ver mogelijk landwaarts van de zeereep te laten doordringen. Op dit moment komt een erosieve kust waarbij deze diepe gradiënt is ontwikkeld, niet langs de Nederlandse kust voor. Op plaatsen waar (soms ondanks suppleties) nog steeds erosie optreedt, begint dankzij dynamisch zeereepbeheer (in feite het uitvoeren van "geen" beheer) de gradiënt weer (langzaam) tot ontwikkeling te komen (zoals op de kop van Schouwen).

Systeemherstel dat mikt op de hoofdgradiënt (G1) heeft beter kansen als deze begint in de zeereep. In dat geval moet het gehele systeem van (strand en) zeereep en achterliggende duinen in kaart worden gebracht.

In veel gebieden zien we een ontkoppeling van zeereep en duinen achter de zeereep, als gevolg van allerlei stabiliserende en kustbeschermende maatregelen, maar soms ook als gevolg van een autonome ontwikkeling (aangroei). Het meest duurzame systeemherstel is mogelijk wanneer de koppeling tussen zeereep en duinen achter de zeereep hersteld kan worden, maar vaak is dit niet mogelijk.

Ten behoeve van het optimaliseren van de tweede gradiënt (G2) zijn maatregelen in de duinen achter de zeereep noodzakelijk. De zeereep hoeft hier niet noodzakelijkerwijs in betrokken te worden.

### **9.1.2 Systeemherstel**

Bij het ontwikkelen van een strategie voor systeemherstel moet vanzelfsprekend eerst de aard en toestand van het systeem worden beschouwd. Zijn er homogene deelgebieden, wat is de ontwikkelingsgeschiedenis van het gebied, wat zijn de geomorfologische karakteristieken, is er sprake van aardkundige waarden, welke habitats liggen er? Maar vooral wat is de huidige toestand van dynamiek en wat zijn de mogelijkheden voor verbetering en/of uitbreiding?

Kustonderhoud en in het bijzonder suppleties kunnen een belangrijke rol spelen in het systeem herstel (maar ze kunnen de zaak ook 'op slot' zetten,



cf. de Hollandse kust). Wanneer de grootschalige (hoofd)gradiënt (G1) wordt geoptimaliseerd zijn de mogelijkheden hier voor het grootste bij een afslaande kust, omdat hierbij het proces van dynamisering vanuit de zeereep autonoom op gang komt en ook autonoom in stand wordt gehouden. Suppleren kan dit proces in de weg zitten, maar dat hoeft niet. Bij preventief suppleren ter voorkoming van erosie, wordt het autonome proces onderbroken. Wanneer achteraf gesuppleerd wordt, om erosie te compenseren, dan kan het proces van dynamiseren op gang komen en vervolgens kan het extra toegevoegde zand door suppleren voor extra dynamiek, waarschijnlijk ook voor een verhoging van het landwaartse transport, zorgen.

In veel gevallen leidt suppleren tot een nabootsing van aangroei, vanzelfsprekend onder de randvoorwaarde dat gesuppleerd blijft worden. Stopt de suppletie dan zal op termijn de aangroei weer overgaan in afslag. In dit soort situaties is herstel van gradiënt G1 veel lastiger. In feite worden in zo een situatie de ontwikkeling van zeereep en die van duinen achter de zeereep ontkoppeld voor wat betreft het doorgeven van dynamiek.

Dynamiseren van de zeereep in gebieden waar de zeereep een beperkt volume heeft en de achterliggende duinen ontbreken of geen aaneengesloten duinenrij vormen kan een knelpunt gaan vormen voor de veiligheid. Dan moet er zo gedynamiseerd worden dat de zeereep een doorgeefluik voor zand wordt, zonder dat het volume wezenlijk afneemt. Dit houdt in dat zand kan worden toegevoegd aan het systeem landwaarts van de zeereep, wat de veiligheid op de langere termijn alleen maar ten goede zal komen. In zo een geval kunnen suppleties 'op maat' uitkomst bieden om te zorgen voor een permanente aanvoer van zand. Dit wel in combinatie met onderhoudsmaatregelen om de verstuingen in stand te houden.

Suppleties kunnen dus een belangrijk hulpmiddel zijn bij het systeemherstel. Op dit moment bestaat er echter nog weinig ervaring met het toepassen van suppleties vanuit deze achtergrond.

Bij het streven naar systeemherstel moeten we zoveel mogelijk gebruik maken van de autonome ontwikkelingen en indien mogelijk versterken. Inherent aan het systeemherstel is dat de landschapsvormende processen actiever worden. Dit kan leiden tot lokale veranderingen die soms ook een verlies kunnen betekenen, bijvoorbeeld in het geval van een achter de zeereep liggende vochtige duinvallei die onder stuift ( de kwaliteit van de vochtige duinvalleivegetaties is overigens niet hoog op Schouwen, vgl. Damm et al., 2010). Bij het activeren van de landschapsvormende processen kan dat echter gecompenseerd worden door het ontstaan van vergelijkbare habitats elders. Deze vorm van herstel geeft dus een zekere mate van onzekerheid, in die zin dat niet van te voren exact bepaalt kan worden waar een bepaald habitat ontstaat. Vanzelfsprekend kan hier wel in gestuurd worden door middel van beheeringrepen.

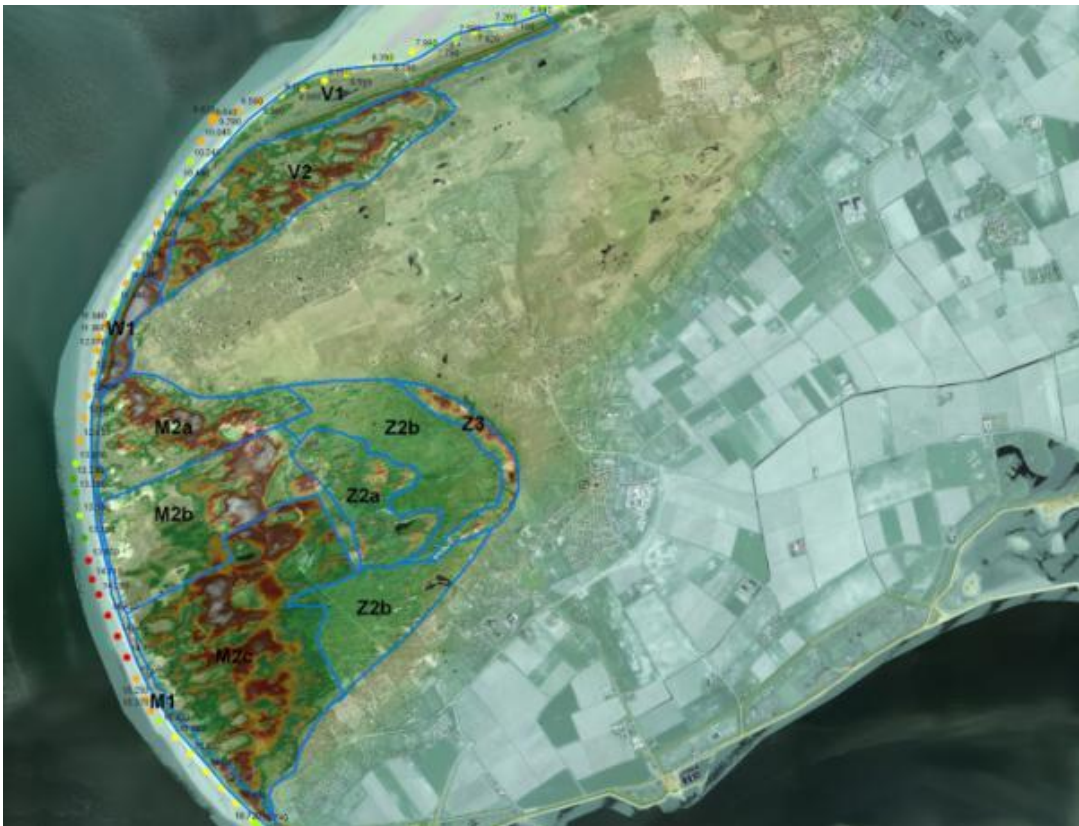
Aangezien bij systeemherstel sprake is van een lange termijn dient mogelijk ook rekening gehouden te worden met het verplaatsen van functies (op termijn), wanneer dit vanuit het systeemherstel gewenst is. Gezien de lange termijn (zeker als we praten over 50-100 jaar) heeft dit betrekking op alle functies (waterkering, waterwinning, natuur, recreatie, infrastructuur, gasleidingen enz.). Door bij de ontwikkeling van een strategie hierop te anticiperen, kunnen de noodzakelijke bestuurlijke maatregelen al vroegtijdig in gang worden gezet.

Overigens dient de stijgende zeespiegel in de lange termijn strategie te worden betrokken. Op dit moment is er voldoende veiligheid. Dit hoeft niet te betekenen dat er de komende eeuw bij een versnelde zeespiegelstijging geen veiligheidsissues gaan ontstaan. Hierdoor worden weer nieuwe kansen gecreëerd. Mocht in een gebied inderdaad op de lange termijn een veiligheidsknelpunt dreigen, dan kan al op voorhand, middels systeemherstel aan een natuurlijke oplossing gewerkt worden.

Het huidige kustbeleid richt zich echter op het handhaven van de zandvoorraad in het kustfundament om ook voor de lange termijn duurzaam behoud van functies te garanderen (de zandvoorraad in het kustfundament bepaalt de morfologische randvoorwaarden voor de functies). Bij toename van de zeespiegelstijging zal de totale suppletie-hoeveelheid evenredig stijgen. De verdeling van dat zand in ruimte en in de tijd (het suppletieschema) wordt tot heden voornamelijk ingericht op basis van BKL -overschrijdingen. Ervan uitgaande dat ditzelfde criterium gehanteerd blijft worden, mag worden aangenomen dat de effecten vergelijkbaar blijven. Met andere woorden: de kustlijn blijft gehandhaafd en de duingroei zet door.

## 9.2 Toepassing voor de Kop van Schouwen

Het gebied wordt onderverdeeld in verschillende deelgebieden (Figuur 9.1). De Verklikkerduinen aan de noordkant, aan de zuidkant de Zeepeduinen ten oosten en de Meeuwenduin ten westen.



*Figuur 9.1: Overzicht deelgebieden Kop van Schouwen.*

*Figure 9.1. Sub-areas in the Kop van Schouwen.*

De deelgebieden zijn onderverdeeld in zeereep en achterliggende duinen.

- V1: lage zeereep en primaire duinen voor de Verklikkerduinen. Hierin liggen ook een aantal afgesnoerde valleien en oudere stuifdijkjes.
- V2: complex van hogere paraboolvorming duinen en valleien. Voornamelijk duindoorn.
- W1: hoge zeereep op de overgang van de Verklikkerduinen naar de Meeuwenduinen. Hierachter liggen geen jonge duinen.
- M1: vaak gekerfde en dynamische zeereep voor de Meeuwenduinen. Deels erosief.
- M2a: paraboolgordel van het voormalige stuifduinenreservaat. Veel duindoorn.
- M2b: paraboolgordel met uitgestrekte (vochtige en droge) valleien. Veel duindoorn maar plaatselijk nog goed ontwikkelt Grijs duin.
- M2c: paraboolgordel onder dennenbos, met waterwinning.
- Z2a: kleinere paraboolgordel met deels nog goed ontwikkelde Grijs duinen.
- Z2b: lagere parabolen en valleien met deels Grijs duinen Kalkarm, deels sterk verruigd.
- Z3: hogere duingordel van de binnenduintrand in aanleg uit de 13e eeuw.

### **9.3 Oplossingsrichting ingrepen**

De Meeuwenduinen bevatten genoeg duinmassief voor het herstel van verstuiwingsprocessen op grote schaal. Gezien de omvang van de Meeuwenduinen met daarachter de Zeepeduinen is daar een systeemherstel op het grootste schaalniveau (= het gehele duingebied) mogelijk. In beide gebieden is er sprake van een enorme struweelontwikkeling en zal het opwekken van grootschalige verstuiwingen een enorme inspanning vergen.

Er wordt gestreefd naar een duurzame oplossing. Gezien de ruimte in de Meeuwenduinen / Zeepeduinen is het daar mogelijk een volledige gradiënt van zeereep tot de duinen achter de zeereep te herstellen, over een grote afstand. Maatregelen in een keten in de richting van de meest actieve wind (westzuidwest) kunnen elkaar versterken. Het heeft daarom de voorkeur om ingrepen zo veel mogelijk in elkaars verlengde te plannen. Gezien de kosten voor dergelijk grote ingrepen verdient het de voorkeur om alle middelen in te zetten op één locatie om daar een zo maximaal mogelijk resultaat te kunnen behalen.

### **9.4 Uitwerking per deelgebied**

In Bijlage G zijn de kaarten van de herstelplannen voor de Kop van Schouwen weergegeven. In de kaarten zijn maatregelen in vlakken aangegeven. Een en ander zal vervolgens met de beheerders afgestemd worden. Binnen de omgrenste vlakken moet vervolgens ook de precieze ingreep in meer detail worden uitgewerkt. Bijvoorbeeld: in een af te plagen eenheid heeft het afplagen vooral betrekking op de naar de wind gekeerde hellingen, en niet of minder op de lijnhellingen. Voor een kostenanalyse van de PAS maatregelen kan hier worden volstaan met een percentage van het oppervlak waarop de ingreep betrekking heeft. Behalve de voorgestelde ingrepen is daarbij ook een weergave van prioriteit en fasering in beheerperioden opgenomen.

Bij de Meeuwenduinen ligt het accent op het dynamiseren op de grootst mogelijke schaal. Bij het plan wordt een prioritering aangegeven en een fasering. Bij prioritering speelt een rol om een zo lang mogelijke gradiënt van strand tot duinen achter de zeereep te herstellen. Het heeft dan de voorkeur om een keten van ingrepen aan te leggen in de richting van de meest actieve wind (WZW) die elkaar kunnen versterken. Daarbij wordt er meer waarde gehecht aan een smallere, volledige keten, dan aan een bredere maar onvolledige of kortere keten. Bij de fasering speelt een rol waar urgente problemen liggen en waar een snelle ontwikkeling en dus snel resultaat mogelijk is.

Belangrijk hulpmiddel bij het op gang brengen van grootschalige verstuing zal zijn om het kustlijnonderhoud te staken of te temporiseren. Aan de zuidkant van het gebied is al een autonome ontwikkeling op gang gekomen met kerfontwikkeling en doorstuiving. Een vergelijkbaar proces zal meer naar het noorden gaan optreden als suppleties gestaakt worden.

Aangezien dit jaar gesuppleerd wordt/is, zal het de nodige jaren duren voor door autonome afslag de kerfontwikkeling op gang komt. Daarom wordt voorgesteld een aantal kerven (of windsleuven) aan te leggen, deels in hogere stukken zeereep om parabolisering van een groter massief op gang te brengen, deels in de lagere zeereep om de doorstuiving vanaf het strand naar de achterliggende duinen te stimuleren. De kerven moeten een afmeting van tussen de 30 en 70 m breed hebben (3 groot, 3 klein, 2 optioneel), vergelijkbaar met de kerven die aan de zuidkant zijn ontwikkeld. De ingang kan op circa 6 m + NAP worden aangelegd, de landwaartse uitgang kan oplopen naar 10 m+NAP, om te voorkomen dat de kerven watervoerend worden (vergelijkbaar met de huidige kerven aan de zuidkant). Op plaatsen waar al een aanzet voor kerfontwikkeling aanwezig is kan dit actief gestimuleerd worden. Overigens valt hier een heel palet aan meer of minder stimulerende maatregelen te bedenken die aansluit bij de autonome ontwikkeling. Voor de ingang van de kerf kan een minimumhoogte in stand gehouden worden, bijvoorbeeld 6 m +NAP. Indien blijkt dat de kerf door uitblazing dieper wordt, kunnen in de ingang stuifschermen gezet worden om de hoogte weer toe te laten nemen.

Achter de kerven (windsleuven) moet ruimte ontstaan voor een vrije doorvoer van zand (mobiele duinen). Met name in de vlakke en laaggelegen delen moet daarbij op enorme schaal struweel verwijderd worden. Op de hogere delen kan dit gecombineerd worden met afplaggen (met name de op het westen georiënteerde hellingen), om ook hier grootschalige verstuingen op gang te brengen. De ervaring heeft geleerd dat hierna een vervolgbeheer noodzakelijk is, zolang achter gebleven wortels het verstuingproces blijven belemmeren. De verwachting is dat na verloop van tijd een grootschalige verstuing zo goed op gang is gekomen dat deze zichzelf in stand houdt. De hoogste prioriteit ligt bij het centrale deel van het gebied, omdat hier de langste gradiënt gerealiseerd kan worden en de effecten maximaal landwaarts kunnen reiken. De ingrepen aan zowel de noordelijke kant als de zuidelijke kant krijgen minder prioriteit. Met betrekking tot fasering moeten eerst de ingrepen aan de kant van de zeereep worden uitgevoerd. Gezien de urgentie in de Zeepeduinen moeten de ingrepen daar ook in de eerste beheerperiode worden uitgevoerd. Daarna wordt in de volgende beheerperioden het tussengebied aangepakt. Voor veel maatregelen is overigens vervolgbeheer noodzakelijk: hier dient rekening mee gehouden te worden.

Om in het gehele gebied de werking van de wind te vergroten zou een deel van het bos moeten worden gekapt, ook te behoeve van het nog redelijk tot

goed ontwikkelde Grijze duinen wat zich in de luwte van het bos bevindt. Ook om de windwerking in de Zeepeduinen te vergroten zou daar de noordoostkant van het bos verder moeten worden ingeperkt. Wanneer in het gekapte bos ook stobben en strooisel worden afgevoerd ontstaat hier bovendien ontwikkelingsruimte voor Grijs duin. Verlies aan bos kan gecompenseerd worden door aan de zuidkant van het gebied, in de luwte van het overblijvende bos, spontane bosontwikkeling (van loofbos) toe te laten.

Aan de zuidkant moet een strook bos langs de zeereep worden verwijderd om te profiteren van de gunstige en veelbelovende autonome ontwikkeling die daar al plaatsvindt. De omvorming van bos naar Grijze duinen is hier kansrijk. De (unieke) ontwikkelingen kunnen vervolgens de komende beheerperiode onbelemmerd door zetten. Onderzocht dient te worden of op de lange termijn (>P3) de waterwinning-infrastructuur verplaatst kan worden. Dit maakt de weg vrij voor een verdere landwaartse ontwikkeling. Behalve het kappen zouden in deze strook ook de stobben en de strooisellaag (dennennaalden) verwijderd moeten worden.

Ook voor de korte termijn moeten eventuele knelpunten met betrekking tot de waterwinning in kaart worden gebracht. Het gaat dan om onderstuiven van infrastructuur, afname van de zoetwaterbel door kustafslag en risico voor overstroming bij kerfdoorbraak.

Wanneer de motor vanuit de kustontwikkeling goed op gang is gekomen en de verstuivingen optimaal landwaarts reiken, dan kunnen de Zeepeduinen ook gaan profiteren van de aanvoer van kalkrijk zand en in ieder geval van een toename van de windstress (en mogelijk zout). De vraag is of dit binnen de PAS-periode gerealiseerd kan worden. Voor de korte termijn kunnen kleinschalige maatregelen genomen worden om verstuivingen in bestaande stuifkuilen te bevorderen en hier en daar overstuiving met nog kalkhoudend zand te realiseren. Dit geldt voor de gehele zuidoosthoek, dus zowel de gronden van Natuurmonumenten als de gronden van Staatsbosbeheer. Behalve kleinschalige maatregelen voor verstuiving gaat het om ruimen van struweel en Vogelkers. Met betrekking tot het ruimen van Vogelkers geldt overigens dat dit zo veel mogelijk vanaf de bron moet worden bestreden, dus beginnen met de meest westelijke exemplaren.

### Opmerkingen

Afstemming met waterwinning is nodig om dynamiseringsproces in detail te kunnen plannen. Nadere detaillering is een volgende stap in het proces.

<b>Ingreep Meeuwenduinen</b>	<b>oppervlak</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>
aanleg kerven		x		
ruimen struweel		x	x	x
ontbossen			x	x
afplaggen		x	x	x

<b>Ingreep Zeepeduinen</b>	<b>oppervlak</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>
afplaggen		x	x	
ruimen struweel		x	x	
kleinschalig reactiveren		x	x	x

## 10 Discussie

Uit de historische synthese (met name gebaseerd op Beekman, 2007) weten we dat de paraboolvormende fasen in het verleden het gevolg zijn van kustafslag in combinatie met aanplant van helm. De trigger voor (grootschalige) verstuivingen was dus een eroderende kust gekoppeld aan geulontwikkelingen in het zeegebied ten westen van het eiland, met ontwikkeling van windsleuven waardoor zand naar binnen kon stuiven. Rond 1900 heeft zich nog zo een fase voorgedaan, waarbij in een periode van circa 30 jaar door "wanbeheer" (dit betekent niets meer dan geen onderhoud aan de zeereep, dus in feite wat we nu dynamisch zeereepbeheer noemen, maar dan over het gehele duingebied) enorme windsleuven zijn ontstaan (pers. comm. Beekman). In de huidige tijd zien we dit opnieuw gebeuren aan de zuidkant van de Kop van Schouwen, waar momenteel nieuwe (kleine) sleuven in ontwikkeling zijn, die ook hier weer zorgen voor de ontwikkeling van dynamiek achter de zeereep.

In de oorlog is er sprake van een enorme dynamiek in het duingebied, vooral het resultaat van allerlei menselijke (militaire) activiteiten. Hoe de toestand hiervoor eruit zag weten we niet, we kunnen dus ook niet met zekerheid zeggen of er in de periode van voor de oorlog tot 1943 sprake is van een toename van dynamiek, maar waarschijnlijk is dit wel.

Na de oorlog heeft men ingezet op intensief bestrijden van verstuivingen door middel van uitgebreide aanplant, het zetten van schermen, en het grotendeels "inpakken" van de zeereep (Figuur 2.1). In de kartering van 1959 uit dit zich in een sterke afname van het oppervlak kaal zand. Er zijn drie deelgebieden waar het kale zand substantiële oppervlakken bedekt, en waar de analyse van de kaal zand ontwikkeling zich op richt. Dit zijn de Noordwesthoek (NW), Teunisseshil (TH) en Zeepeduinen (ZD).

Ergens tussen 1959 en 1970 lijkt zich een omslag voor te doen in Teunisseshil en Noordwest. De kaalzand oppervlakken zijn in deze deelgebieden dan uitgebreid, terwijl in Zeepe Duinen het oppervlak in vergelijking tot 1959 verder is afgenomen. De omslag lijkt te wijten aan een toename van verstuivingen als gevolg van verdroging die weer het gevolg is van een stijgende grondwateronttrekking voor drinkwaterproductie. In de periode tussen 1970 en 1978 leidt dit tot een climax, met, hoogstwaarschijnlijk als gevolg van extreme droogte in de zomer van 1976, een forse toename van het oppervlak kaal zand. De trigger voor verstuivingen is in dit geval verdroging van vegetatie (grotendeels gras/mos, korte vegetatie) op stuifvlaktes. Er ontstaan allerlei nieuwe verstuivingen op die vlaktes, de meeste recente verstuivingen zijn daar het restant van. Verstuivingen lijken in deze periode geheel geen relatie met zeereepprocessen te hebben. Ergens in de jaren 1970 lijkt ook de verstruweling van het gebied op gang gekomen, mogelijk ook versterkt door het verdwijnen van gras/mosvegetatie door verdroging. Tussen 1978 (waarschijnlijk eerder, maar dit is het tijdstip van de foto) en 1988 is er sprake van een constant oppervlak aan kaal zand. De veranderingen in de drie deelgebieden zijn dan gering. Vanaf 1988 kunnen we

spreken van een geleidelijke en trendmatige verschrompeling van het kaal zand areaal. Opvallend is dat de verstuiwingen in 1959 en die na 1988 bijna complementair zijn. De verstuiwingen die in 1959 actief zijn, zijn tegen die tijd vrijwel gestabiliseerd, de verstuiwingen die na 1988 actief zijn bestonden in 1959 nog niet. Tussen 1988 en 1998 doet zich (rond 1990) nog een periode met droogte voor, maar het effect hiervan is waarschijnlijk beperkt. Het zou kunnen dat er tussen 1988 en 1992 nog sprake is van een toename van areaal, maar hiervoor zouden aanvullende foto's moeten worden geraadpleegd (Eleveld, 1994, vermeldt nog foto's van 1990 en 1992). Het feit dat we deze enorme toename in verstuiwing hebben kunnen constateren op zo een grote schaal en hoogstwaarschijnlijk gekoppeld aan een aantoonbare verdroging is uniek. Sowieso is een tijdreeksanalyse als deze niet eerder uitgevoerd.

Als gevolg van zeeerepouderhoud en suppleren hebben tot circa 2000 verstuiwingen in de zeeerep geen bijdrage geleverd aan de dynamiek. Dynamiek in het gebied is grotendeels veroorzaakt door verdroging. Het feit dat door decennia met kustafslag de grondwaterstand is gezakt tot ruim beneden de voormalige deflatieniveaus ten tijde van de grootschalige duinontwikkeling is een bron van natuurlijke verdroging, net als de aanplant van het dennenbos. Dit betekent immers een enorme voorraad aan droog en verstuiwbaar zand op oppervlakken die waarschijnlijk ooit met vochtige vegetaties begroeid zijn geweest. De verdroging is versterkt door verdere natuurlijke verdroging als gevolg van klimaatsfluctuaties (de droge zomer van 1976), en nog verder versterkt door artificiële grondwateronttrekking.

Mogelijk zit er in de verdroging een periodiciteit. In de combinatie van neerslag en verdamping, en in de grondwateraanvulling zoals deze door van der Wal (2010) is weergegeven lijkt sprake van een terugkerende piek met een cyclus van circa 8 jaar. Dit is echter niet met zekerheid te zeggen. Mocht deze cycliciteit echter aangetoond kunnen worden, dan is dit iets om rekening mee te houden bij de planning van ingrepen ten behoeve van dynamisering.

In de huidige toestand zien we een langzaam maar zekere achteruitgang van de verstuiwingen in het gebied. In alle deelgebieden is er sprake van een (exponentieel) dalende trend. Er zijn echter ook positieve ontwikkelingen, met name in de zeeerep aan de zuidkant, waar inmiddels een aantal zeer actieve windsleuven zijn ontstaan. Deze ontwikkeling zou voor een verdere dynamisering, ook achter de zeeerep kunnen zorgen. Autonoom zal dit proces traag gaan. Suppleren zit dit proces deels in de weg, hoewel onder het huidige suppletierégime gekoppeld aan dynamisch zeeerepbeheer, er sprake is van een milde afslag en kerfontwikkeling aan de zuidkant op gang is gekomen. Zonder suppleren (of minder) is de verwachting dat de afslag zal toenemen en kerfontwikkeling langs de gehele Kop op gang kan komen.

Bij dynamiseringsmaatregelen kan kerfontwikkeling op gang gebracht worden en kunnen aansluitend maatregelen worden genomen in de achterliggende duinen. Afplaggen van valleien zal veel zand beschikbaar maken voor verstuiwing. Afplaggen van hoger liggende duinmassieven biedt mogelijkheden voor remobilisatie hiervan, hoewel tot nu toe is gebleken dat nabehoor (verwijderen van uitlopende en/of uitgestoven wortels) tenminste een aantal jaren noodzakelijk is. Het vrijmaken van grote oppervlakken met struweel op topografisch hoger gelegen vlaktes biedt meer ruimte voor de wind. Het meest effectief zal het zijn om een keten van maatregelen te treffen in een sequentie die parallel aan de meest dominante wind (westzuidwest) ligt, waardoor de maatregelen elkaar onderling kunnen beïnvloeden en versterken.

De OSL dateringen geven voor het eerst meer detailinzicht in de tijdsperiode van vorming van de grote duinmassieven. Hoewel uit de dateringen zelf geen grote verrassingen voort komen, is het inzicht in paraboolmigratie, hoewel het onderzoek beperkt van opzet was, dat wel. Voor zover er een migratie berekend kan worden, is deze veel lager dan verwacht, en eigenlijk veel meer in lijn met de dynamiek die we vandaag de dag waarnemen (in diverse gebieden). Dit is in zoverre heugelijk nieuws, dat we hieruit concluderen dat de omstandigheden voor grootschalige dynamiek geenszins fossiel zijn, maar ook vandaag nog actueel kunnen zijn. Met de afnemende belasting van stikstofdepositie zou verstuiving langer in stand kunnen blijven. De dateringen geven een eerste aanzet voor een gedetailleerder en meer op processen gericht inzicht in de ontstaan van een duinlandschap. Hopelijk is met deze studie de waarde van dergelijke dateringen aangetoond voor het procesonderzoek en geeft dit een stimulans voor verdere studies in andere gebieden.

### **Sturende factoren (1): de processen**

- Kustafslag – windsleufontwikkeling – secundaire erosie zeereep – overstuiving landwaarts – mogelijkheden voor mobilisatie
- Verdroging (kustafslag en krimpen zoetwaterbel; grondwateronttrekking; toename verdamping; droge periodes) – verdwijnen vegetatie – ontstaan verstuivingen
- Stikstofdepositie – versnelde vegetatieontwikkeling, verruiging – stabilisatie
- Vernatting (toename neerslag) – versnelde stabilisatie
- Afname konijnenstand – versnelde stabilisatie
- Beheermaatregelen – tot ca. 1980: vastlegging. Begrazing vanaf ca. 2000.

### **Sturende factoren 2): incidenten**

- Intense menselijke activiteit 1943-44
- Intensieve bestrijding verstuivingen, aanplant, schermen, inpakken zeereep 1959, aflopend tot in 1980
- Verdroging door grondwateronttrekking 1970 (periode?)
- Toenemende verdroging door grondwateronttrekking
- Extreme droogte zomer 1976
- Begin bestrijding droogte schade 1978
- Begin infiltratie en afnemende grondwateronttrekking 1988
- Toenemende invloed stikstofdepositie
- Verstruweling en geleidelijke stabilisatie
- Begin suppleties
- Grote strand/duinsuppletie 1992 1998
- Geleidelijke stabilisatie 2000
- Geleidelijke stabilisatie 2003
- Geleidelijke stabilisatie 2006
- Beginnende kerfontwikkeling zuidkant zeereep  
Geleidelijke stabilisatie 2008
- Geleidelijke stabilisatie 2011



# 11 Conclusies

De Kop van Schouwen en meer speciaal, de Meeuwenduinen hebben heel lang behoord tot de meest dynamische duingebieden van Nederland. Dat is verleden tijd. Het speciaal voor dit rapport uitgevoerde onderzoek heeft de volgende resultaten opgeleverd.

Aangetoond is dat verstuiving in dit gebied heel lang niet tot de onmiddellijk aan de zeereep grenzende zone beperkt is gebleven, in tegendeel: het hele duingebied deed mee. De Zeepe duinen nemen hierin overigens een uitzonderingspositie in, al vrij vroeg (in het begin van de 20e eeuw).

Net als dijken bouwen zit het in de (Zeeuwse) mens om de duinnatuur te beteugelen, vooral omdat de ontwikkeling van secundaire duinvalleien, gekoppeld aan windsleuven in de zeereep als sterk bedreigend werden gezien. Nog in 1992 is een zeer grote duinversterking voor de toenmalige zeereep en het bos neergelegd die elke dynamiek in de zone achter de zeereep volledig smoorde. Het best bekende voorbeeld is een zeer laag uitgeblazen secundaire duinvallei ("De Westerse Laagte") waarin nu berkenbosjes groeien.

Verschillende oorzaken (veelal in combinatie) hebben ertoe bijgedragen dat de verstuivingen verder af van de kust zijn uitgedoofd. Genoemd worden: de voortdurende beplantingsactiviteiten die doorgingen tot 1980, ook in het zgn. stuifduinen-reservaat; het uitbannen van elke menselijke activiteit in het gebied, de infiltratie van water in het gebied tbv drinkwaterproductie, en tenslotte de enorme last aan stikstofdepositie.

Het dynamiseren van een zeereep langs een kust die "BKL" proof wordt gehouden door middel van suppleties is niet echt in staat de kust en het daarachterliggende gebied in een "goede" conditie te houden. Lokaal echter zijn er nu windsleuven aan het ontstaan, die, indien er niet ingegrepen wordt, groeipotentieel tot kleine parabolen in zich kunnen hebben.

Als de resultaten van de OSL dateringen door ons goed geïnterpreteerd worden, dan lopen paraboolduinen niet snel, en kunnen toch veel overlast geven door afwaaiend fijn zand. Beekman meldt overigens snelheden variërend tussen 10 en 25 m/jaar voor het verplaatsen van de parabolen (in de 17e en eerste helft van de 18e eeuw; tijdens de tweede grote duinvorming). De reden voor de langzame verplaatsingssnelheden van de parabolen in de 18e eeuw kan heel wel zijn het beplanten van stuifduinen (niet direct aan zee) wat in de tweede helft van 17e eeuw opkwam (cf. Beekman, 2007, p. 143 e.v.). Blijkbaar was de vaart er goed uit in de tweede helft van de 18e eeuw. Er zijn berichten dat "de kerktoren van Westenschouwen" op een gegeven moment niet meer zichtbaar was door de groei in de hoogte van het duinmassief midden op de Kop van Schouwen. Zonder twijfel is dit te wijten aan voortdurende beplanting met helm (ibid., p. 163).

Het dynamisch potentiaal voor de Meeuwenduinen is niet verdwenen. Het krijgt echter geen kans meer door de effect-cumulerende maatregelen in het verleden, die sterk aangejaagd en overprint zijn door de stikstofdepositie. De uitwerking van de eventuele herstelmaatregelen zijn in kaartvorm weergegeven in bijlage G. De analyse van de stuifactiviteit in het verleden verricht voor dit rapport suggereert de volgende aanbevelingen bij het opnieuw vestigen en stimuleren van verstuivingen in het gebied van de Meeuwenduinen:

- Maak vooraf een studie van de potentiële windbanen in het terrein gebaseerd op huidige topografie; selecteer daaruit gebieden die grootste expositie op de overheersende windrichting hebben.
- Selecteer daaruit de drogere (=hooggelegen) vlaktes voor het verwijderen van vegetatie: de verwachting is dat deze het meest gevoelig voor verstuiving zijn. Het vrijkomende zand loopt in de vegetatie in de windschaduw van de vlakte en verdringt deze in zand. Het doel is met zo min mogelijk zand zoveel mogelijk oppervlak vrij van vegetatie te krijgen. Dit is een typisch verschijnsel op Schouwen (we hebben het nl. nog niet in andere gebieden op deze manier zien gebeuren).
- Mbt timing: een paar droge jaren in opeenvolging moeten aangegrepen worden om juist dan vegetatie te verwijderen en de wind ruim baan te geven.
- Nazorg gedurende een paar jaar (bijvoorbeeld met vrijwilligers/toeristen) om uitlopende wortels te trekken voor de start van het groeiseizoen.
- Houdt bij ontwerpen rekening met mogelijke archeologische sporen in de ondergrond van de te verstuiven gebieden.
- Gepaste monitoring om de ontwikkelingen te volgen en mogelijke corrigerende beheermaatregelen op tijd te nemen.

# Literatuur

Arens, S.M, N.P.J. de Vries en J.P.M. Mulder, 2012. Herstelstrategieën Kop van Schouwen en Manteling Walcheren in ruimte en tijd. Arens BSDO rapportnummer 2012.03 (in opdracht van Provincie Zeeland).

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

Ballarini, M., J. Wallinga, A.S. Murray, S. van Heteren, A.P. Oost, A.J.J. Bos & C.W.E van Eijk, 2003. Optical dating of young dunes on a decadal time scale. *Quaternary Science Reviews*, 22, 1011-1017.

Bakker, M.A.J., S. van Heteren, L.M. Vonhögen, A.J.F. van der Spek & L. van der Valk, 2012. Recent coastal dune development: effects of sand nourishments. *Journal of Coastal Research*, 28, 587-601.

Beekman, F., 2007: De Kop van Schouwen onder het zand. Duizend jaar duinvorming en duingebruik op een Zeeuws eiland, Uitgeverij Matrijs, Utrecht, p. 1-304. Ook verschenen als proefschrift Universiteit van Amsterdam, 2006.

Boxel, J. van, P.D. Jungerius en M.A. Eleveld, 1993: Evaluatie verstuiwingen Meeuwenduinen (Kop van Schouwen). Rapport Fysisch Geografisch en Bodemkundig Laboratorium, Univ. Amsterdam, 32 pp., bijlagen.

Buisman, J., 2011. Extreem weer! Een canon van weergalozes winters & zinderende zomers, hagel & hozen, stormen & watersnoden. Uitgeverij van Wijnen, Franeker.

Damm, T., D. de Boer en B.W.J. Oosterbaan, 2011: Habitatkartering Kop van Schouwen. Van der Goes en Groot, Kwintsheul/Alkmaar, pp. 49 (in opdracht van Provincie Zeeland).

Ee, van, 1982. Hydrologie van het Duingebied van Schouwen. Hydrologisch onderzoek naar de oorzaken van de grondwaterstands dalingen in het duingebied van Schouwen. Provincie Zeeland, Provinciale Waterstaat, onderafdeling waterbeheer nota 83-03. 82 pp + bijlagen.

Eleveld, M.A., 1994: Een vergelijking van verschillende monitoring technieken toegepast op de Kop van Schouwen. Rapport Fysisch Geografisch en Bodemkundig Laboratorium, Univ. Amsterdam, 45 pp., bijlagen.

Haperen, A.M.M. van,, 2009. Een wereld van verschil. Landschap en plantengroei van de duinen op de Zeeuwse en Zuid-Hollandse Eilanden. KNNV Uitgeverij, Zeist.

Haperen, A. van, 2011: Het duinzand van de Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden nader bekeken. *Grondboor & Hamer*, v. 65, p. 83-87. (plus achterpagina).

Kawamura, R., 1951. Study of sand movement by wind. *Reports of Physical Sciences Research Institute of Tokyo University* 5 (3-4), 95-112 (in Japanese). Translated in 1964 as *University of California Hydraulics Engineering Laboratory Report, HEL-2-8*, 99-108, Berkeley, California, pp 1-38.

Klijn, J.A., 1981. *Nederlandse kustduinen; geomorfologie en bodems*. Centrum voor landbouwpublicaties en landbouwdocumentatie, Wageningen, 188 pp. KNMI, 2012a. [www.knmi.nl/klimatologie](http://www.knmi.nl/klimatologie)  
KNMI, 2012a. [www.knmi.nl/klimatologie](http://www.knmi.nl/klimatologie)

KNMI2012b.

[http://www.knmi.nl/klimatologie/onderzoeksgegevens/potentiele\\_wind/uitleg.html](http://www.knmi.nl/klimatologie/onderzoeksgegevens/potentiele_wind/uitleg.html)

Loedeman, J.H. en P.D. Jungerius. 1995: Monitoring Sand Deflation in Coastal Dunes using geometric characteristics. In: Healy and Doody (eds.): *Directions in European Coastal Management*, p. 503-510.

Louman, E.G.M., C.T.M. Vertegaal en N.M. van Gelderen, 1992: De 'kop' in de wind. Mogelijkheden voor natuurontwikkeling op de Kop van Schouwen. Bureau D&K, Leiden, pp. 130, bijlage.

Löffler, M., 1999: Bewogen duinen. Mogelijkheden voor dynamisch duinbeheer op Schouwen. Rijswaterstaat, Den Haag, pp. 60.

Sluiter, H.: 2011: Herstel van de dynamische natuur van de Kop van Schouwen. *De Levende Natuur* 111, p.264-265.

Pedersen, K. & L.B. Clemmensen, 2005. Unveiling past aeolian landscapes: A ground-penetrating radar survey of a Holocene coastal dunefield system, Thy, Denmark. *Sedimentary Geology*, 177, 57-86.

Valk, L. van der, F. Beekman en R.M. van Heeringen, 1997: Stuivend zand over boerenland. *Geologie, archeologie en historische geografie van het duingebied van Schouwen in de Provincie Zeeland*. In: D.P. Hallewas en P.J. Woltering (eds.): *Dynamisch landschap, archeologie en geologie van het Nederlandse kustgebied*. Amersfoort, 1997, p. 131-152.

Valk, L. Van der, en F. Beekman, 2011: *Geologie en archeologie van de Kop van Schouwen, gemeente Schouwen Duiveland. Verslag over de periode 2007-2011. Rapport AWN Den Haag en Omstreken, Werkgroep 's-GRAVENhage*, pp. i-ii, 1-128.

Verkaik, J.W., 2001. *Documentatie Windmetingen In Nederland*. KNMI, niet gepubliceerd rapport, 23 januari 2001.

Wal, B.J. van der, 2010: *Modelonderzoek AGOR en OGOR Kop van Schouwen*. Royal Haskoning, s-Hertogenbosch, pp. 39, bijlage. (in opdracht van Provincie Zeeland).

Wallinga, J. , F. Davids en J.W.A. Dijkmans,2007: Luminescence dating of Netherlands' sediments. Netherlands Journal of Geosciences-Geologie en Mijnbouw 86, p. 179-196.

Wallinga, J., T. Reimann and A.J. Versendaal: NCL-3112  
Luminiscentiedateringsrapport. NCL, Delft, pp. 7.

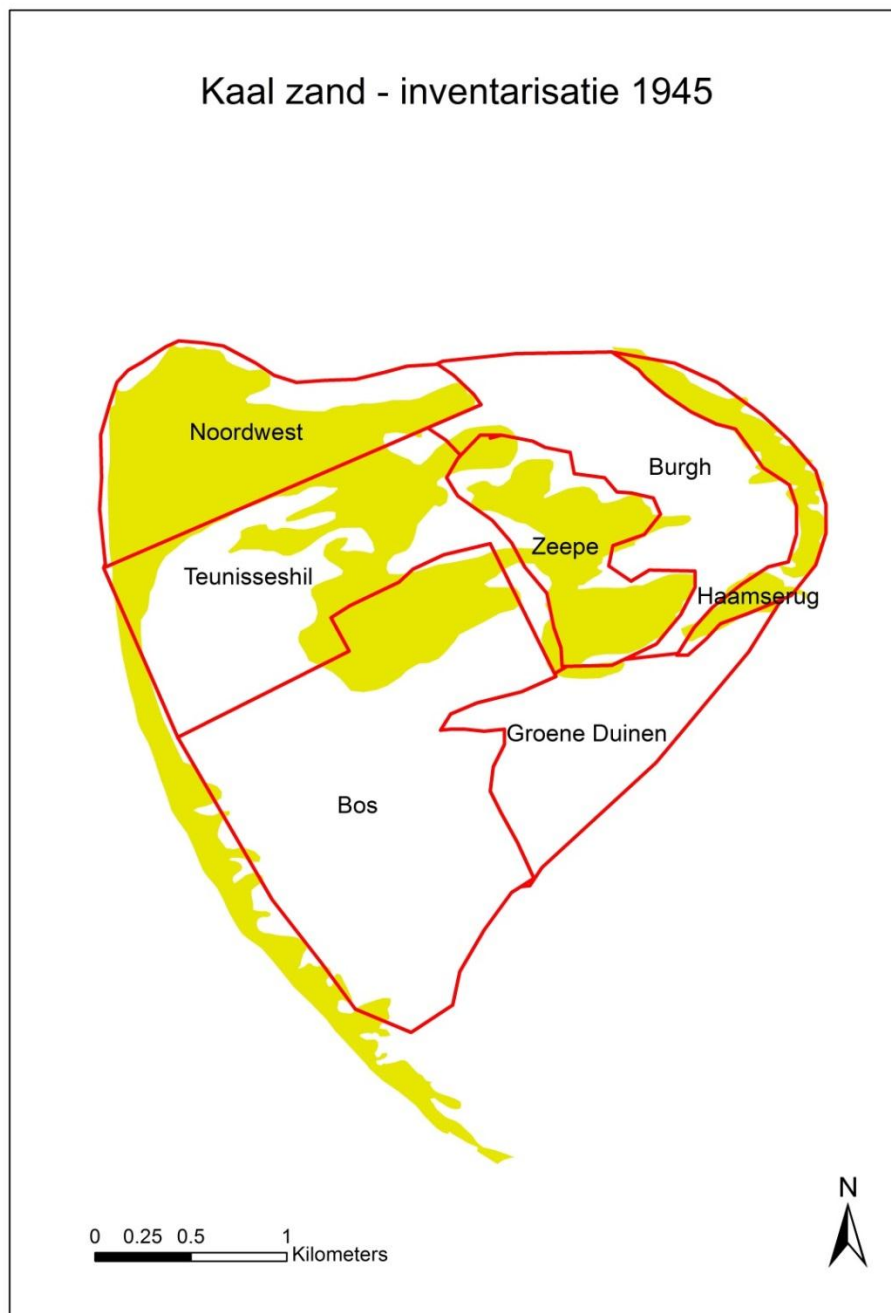
Werf, J. van der, A. Bruens & J. Reinders, (concept) 2011: Beheervisie Schouwen. Rapport Deltares, 1204421-004, pp. 35

Wieringa, J. and Rijkoort, P. J., 1983: Windklimaat van Nederland. Staatsuitgeverij. Den Haag.

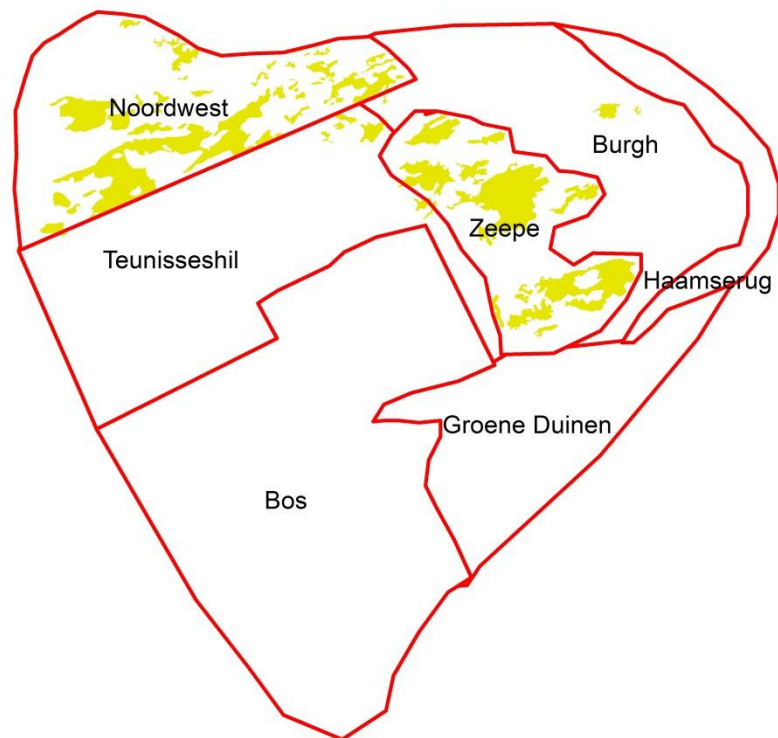
Zevenberg, J. (red.), 2010: LIFE duinen. Verslag van vijf jaar duinherstel in Nederland. Staasbosbeheer, Groningen, pp. 28.



# Bijlage 1 Kaarten van kaal zand karteringen



## Kaal zand - inventarisatie 1959

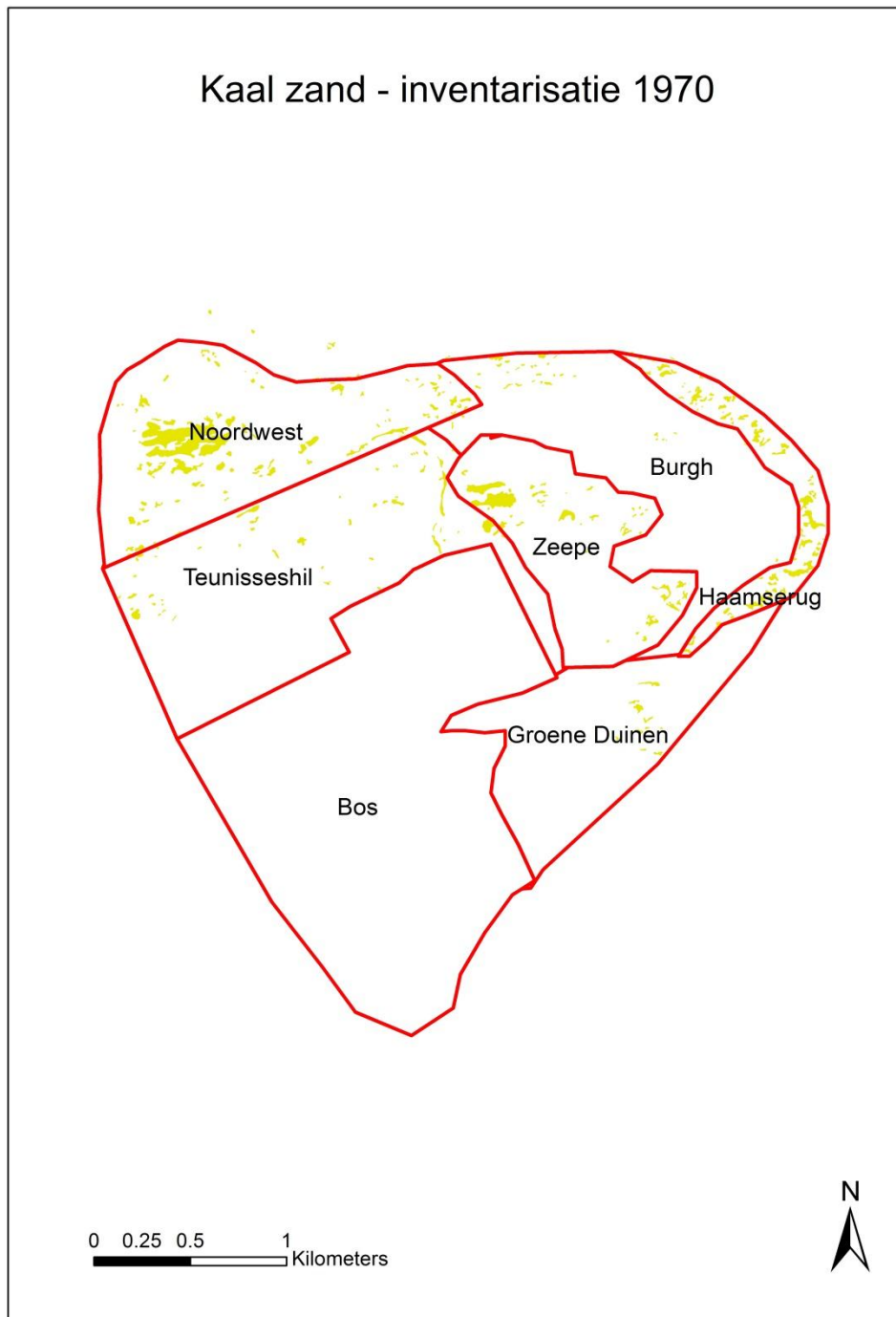


0 0.25 0.5 1  
Kilometers

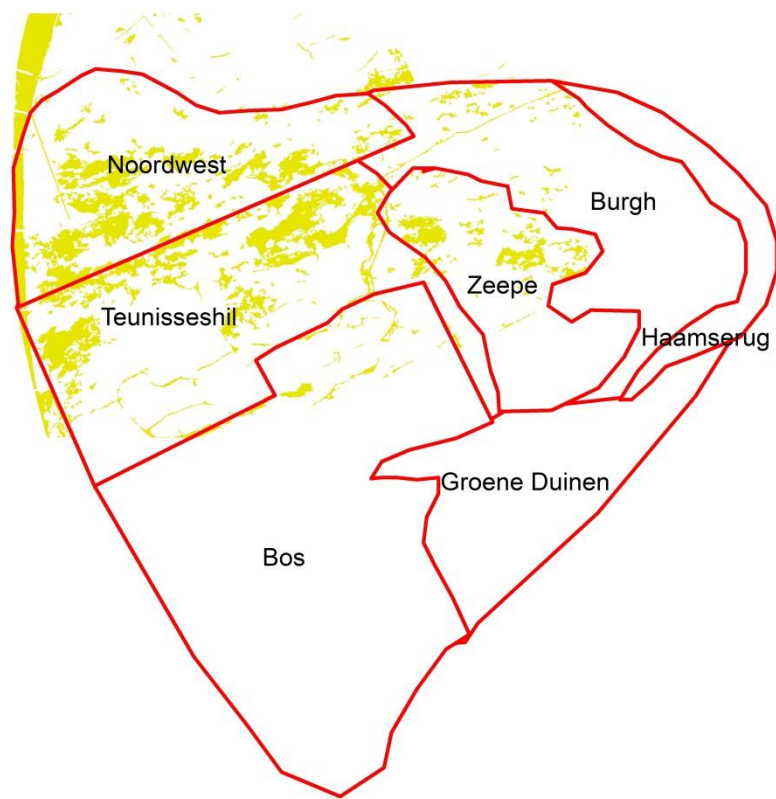




## Kaal zand - inventarisatie 1970



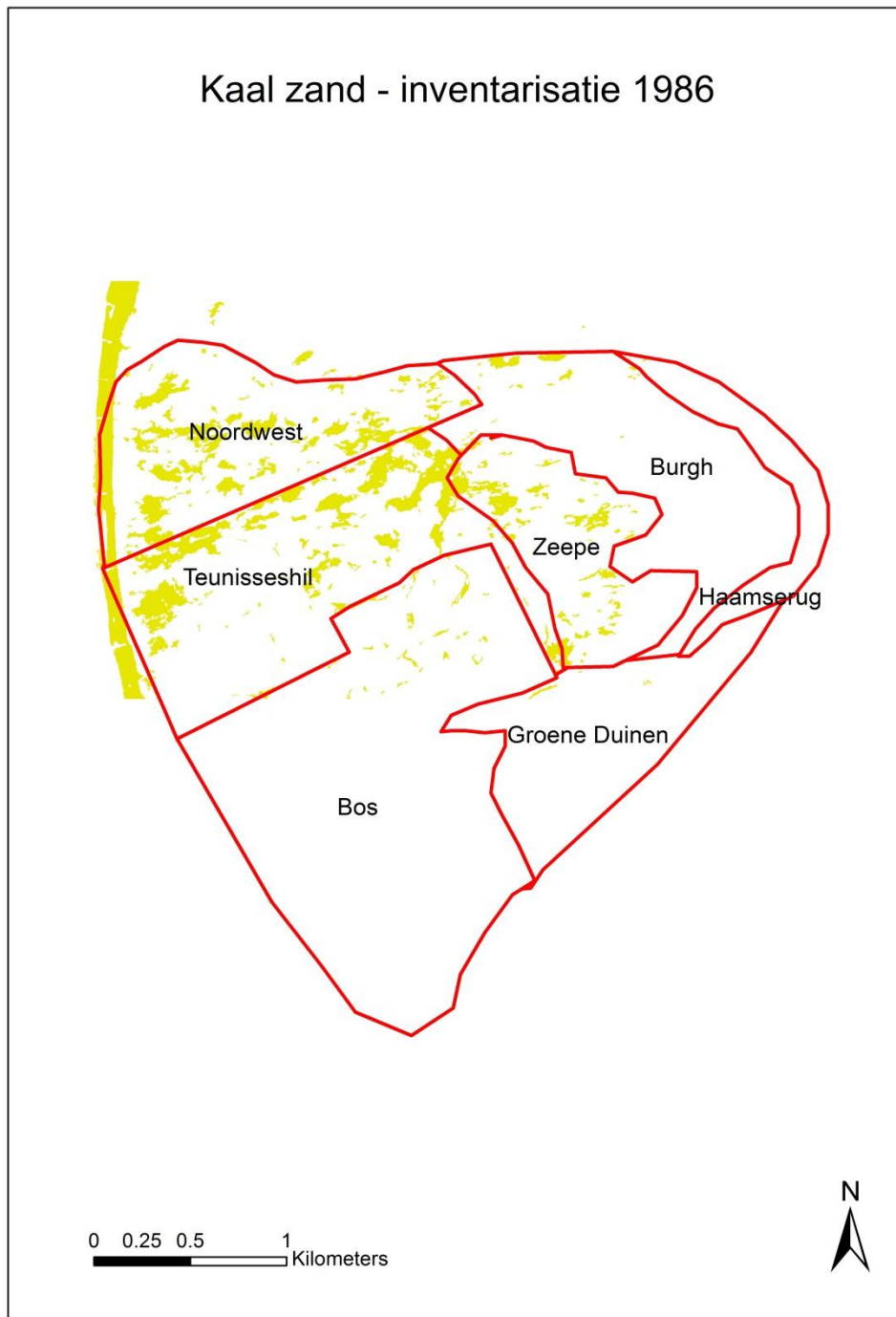
## Kaal zand - inventarisatie 1978



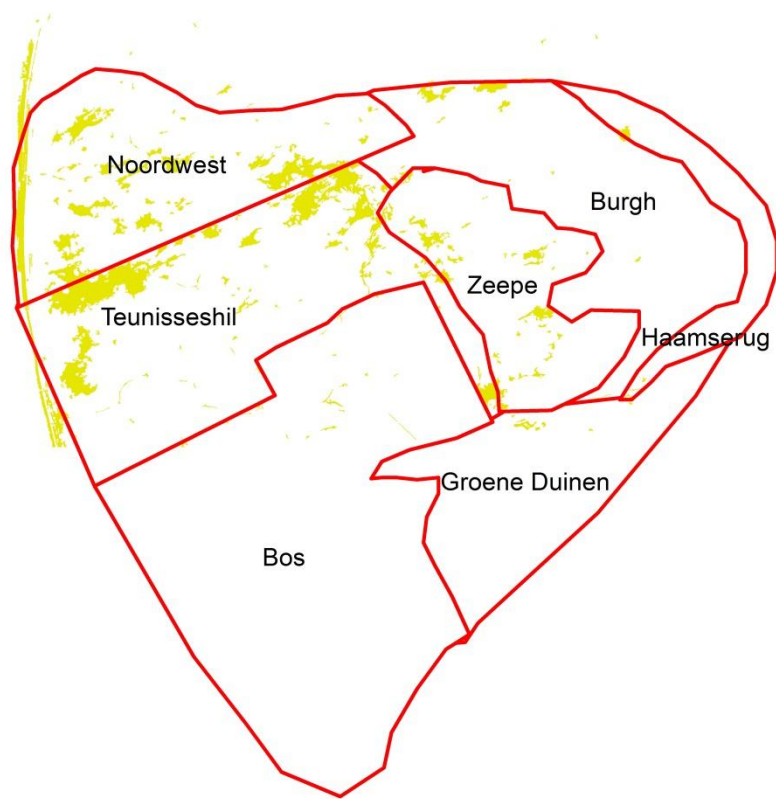
0 0.25 0.5 1  
Kilometers



## Kaal zand - inventarisatie 1986



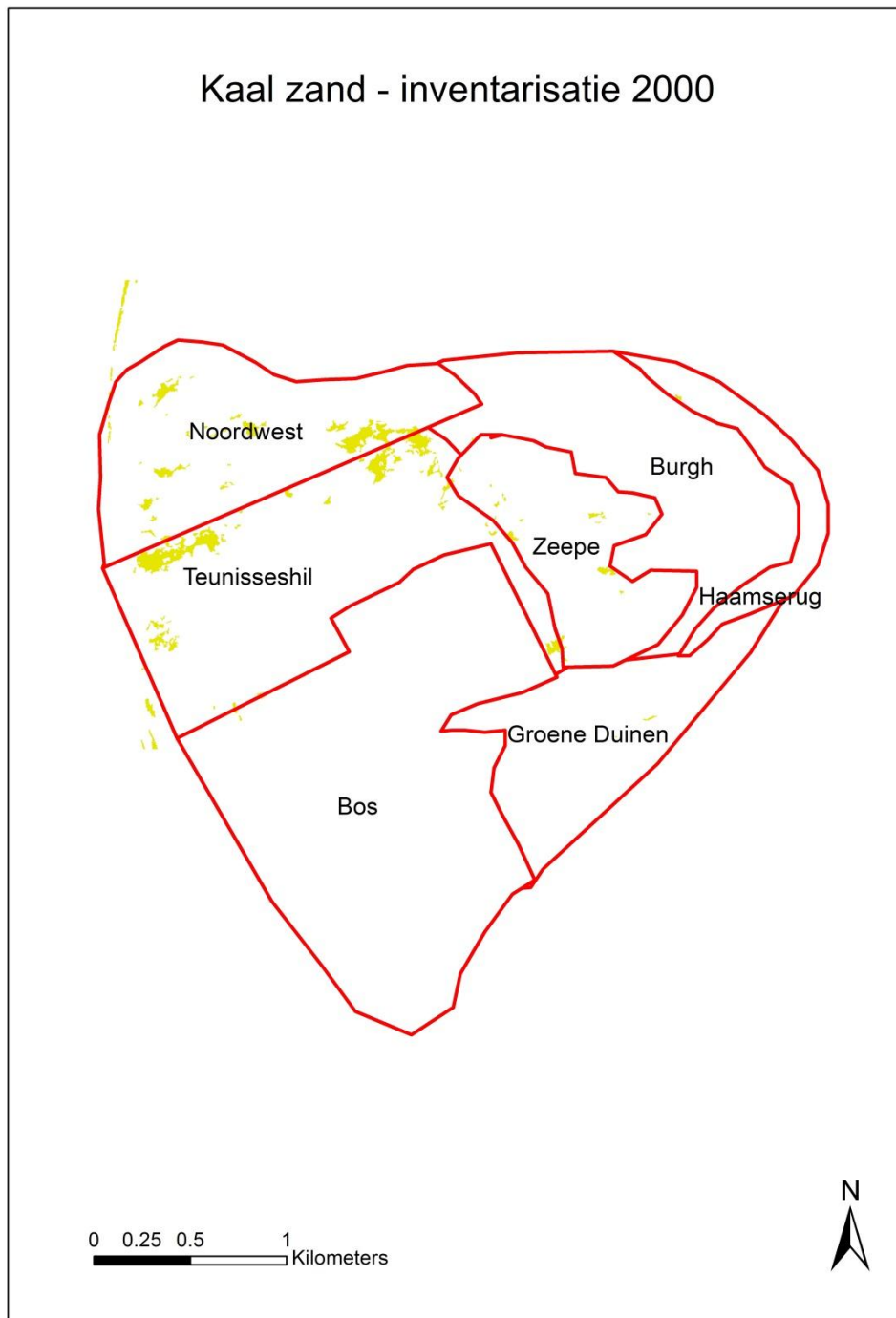
## Kaal zand - inventarisatie 1998



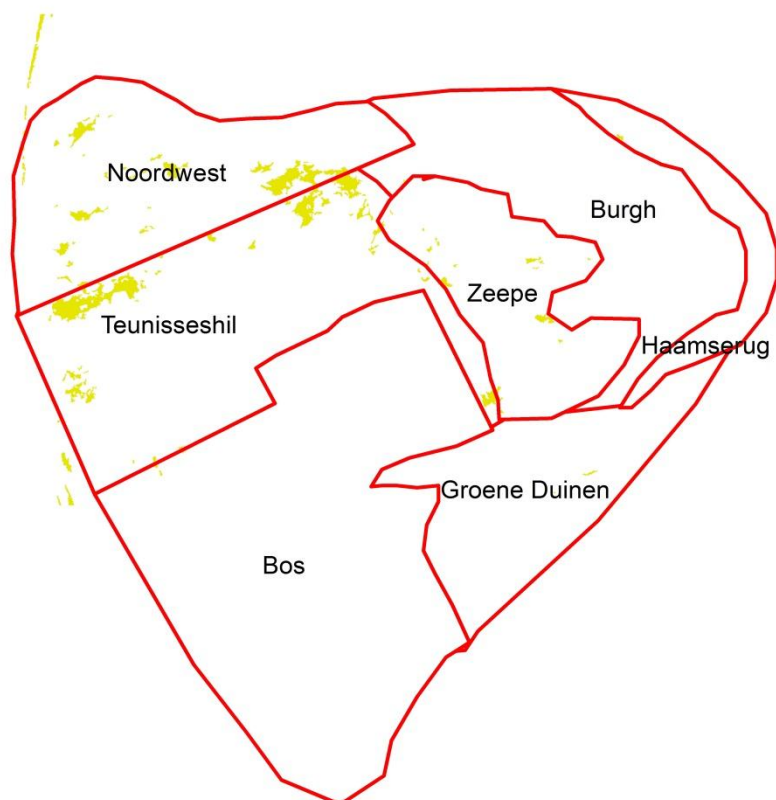
0 0.25 0.5 1  
Kilometers



## Kaal zand - inventarisatie 2000



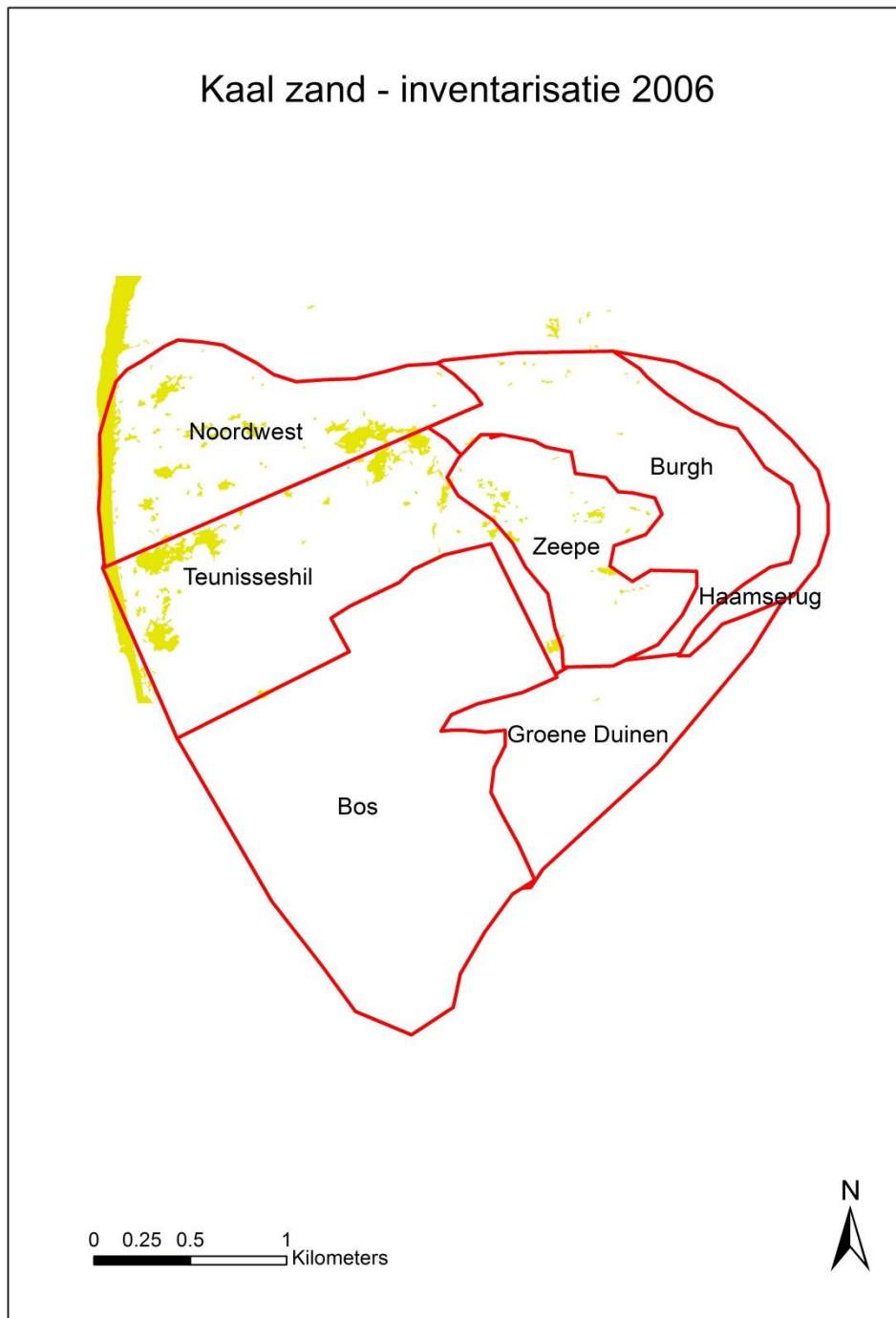
## Kaal zand - inventarisatie 2003



0 0.25 0.5 1  
Kilometers



## Kaal zand - inventarisatie 2006



# Kaal zand - inventarisatie 2008

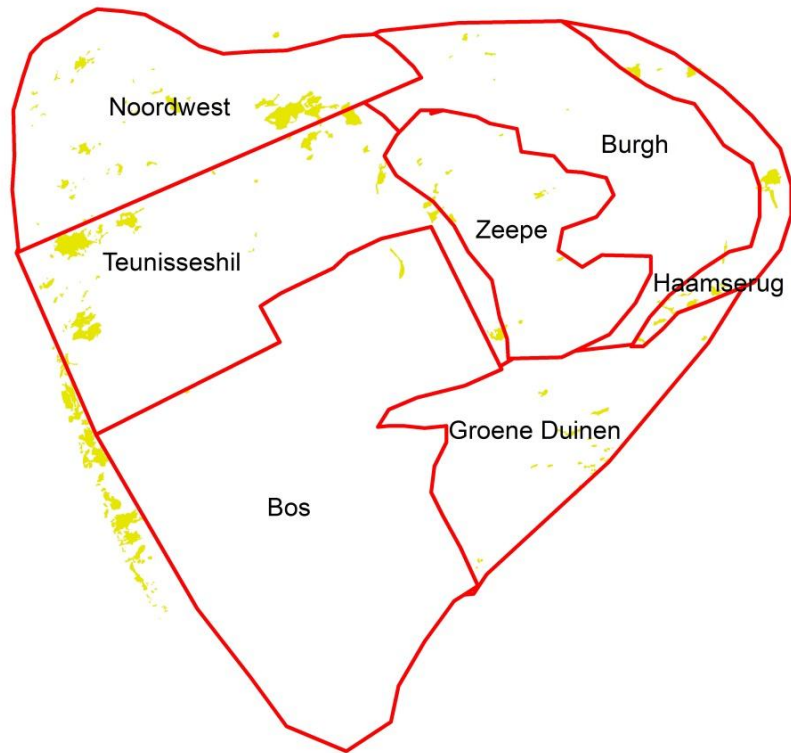


0 0.25 0.5 1 Kilometers





# Kaal zand - inventarisatie 2011



0 0.25 0.5 1 Kilometers



## Bijlage 2      Meteo

Stationsinformatie KNMI meetstations ([www.knmi.nl](http://www.knmi.nl))

### Station 312 Oosterschelde

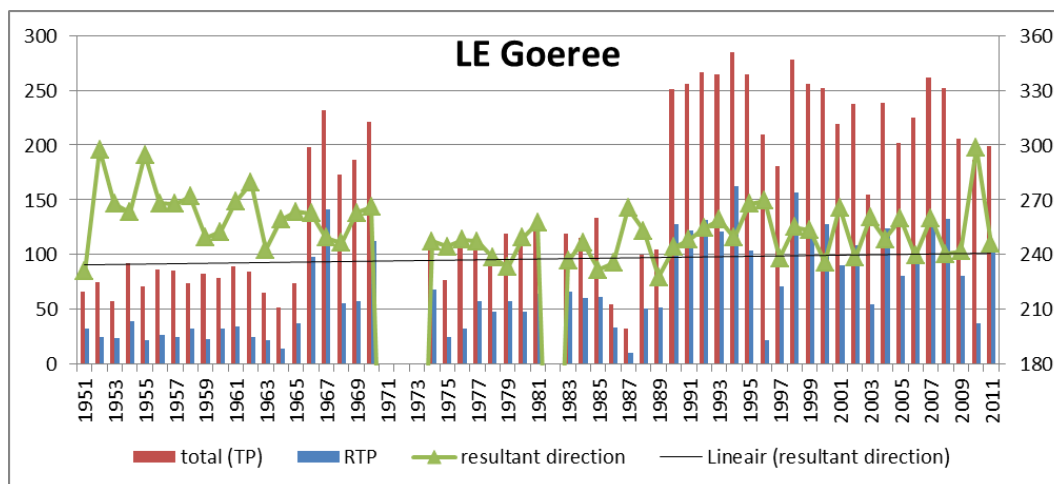
Position X: 32824      Y: 421369; Lat: 51.769 D.N.      Lon: 3.617 D.E.  
Measuring height      16.5      m;  
Station altitude      0.0      m above m.s.l.  
Measuring period 7-1-1982 - heden

### Station 310 Vlissingen

Position X: 30475      Y: 385125; Lat: 51.442 D.N.      Lon: 3.596 D.E.  
Measuring height      27.0      m;  
Station altitude      8.0      m above m.s.l.  
Measuring period 1-1-1959 - heden  
Deze uurwaarden zijn niet verwerkt.

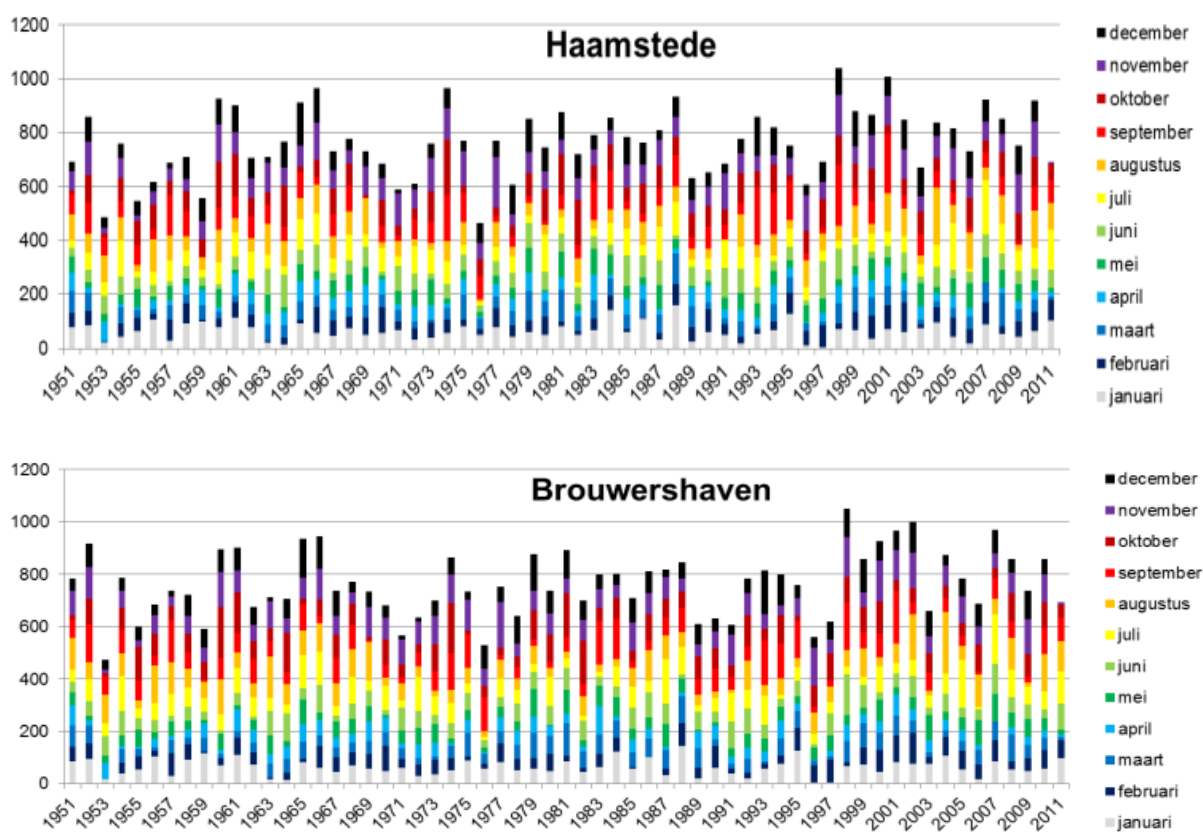
### Station 320 L.E. Goeree

Position X: 36662      Y: 437913; Lat: 51.918 D.N.      Lon: 3.667 D.E.  
Measuring height      38.3      m;  
Station altitude      0.0      m above m.s.l.  
Measuring period 1-1-1951 tot 31-12-1965 alleen gemiddelde per 3 uur, daarna uurgemiddelden.  
Tussen 1-1-1971 en 31-12-1973 zijn er geen metingen.



Figuur B2.1: Transportvectoren voor windstation Licht-eiland Goeree.

Figure B2.1: Transport vectors at wind station Licht-eiland Goeree, Zeeland.



Figuur B2.2: Maandtotalen neerslag voor Haamstede.

Figure B2.2: Monthly precipitation at Haamstede, Zeeland.

## Bijlage 3 Zandtransportberekeningen

Er moet een onderscheid gemaakt worden tussen de totale transportcapaciteit (TP) en de transport resultante (RTP). Voor verstuingen zijn beide van belang. Voor een stuifvallei als die in de Meeuwenduinen is de windrichting niet zo belangrijk. Wanneer de windsnelheid hoog genoeg is (boven de drempelwaarde of kritische windsnelheid uitkomt) dan kan zand van de valleibodem opgenomen worden en het oppervlak eroderen. Afhankelijk van de windrichting wordt het zand ergens langs de valleirand gedeponeerd. Voor dit proces is de totale transportcapaciteit het belangrijkste. In de zeereep spelen andere factoren een rol. Over het algemeen is in de zeereep het transport vanaf het strand het belangrijkste. In dat geval speelt de windrichting een belangrijke rol, want alleen bij wind uit zee kan zand richting zeereep worden geblazen. In feite speelt afluende wind hier geheel geen rol. In dit geval is de resultante voor transport, RTP van belang. Ook bij mobiele duinen is deze van groter belang, omdat mobiele duinen met de richting van de dominerende wind meebewegen, maar bij wind van de andere kant weer een stukje terug kunnen verplaatsen. Dit is de reden dat beide variabelen hier zijn beschouwd. TP zegt dus iets over hoeveel zand heen en weer geblazen zou kunnen worden, RTP zegt iets over in welke richting het netto (of dominerende) transport optreedt. Ter verduidelijking: als de wind de helft van het jaar uit het oosten waait met snelheid 10 en de helft van het jaar uit het westen met snelheid 10, dan geeft de jaarom Vector een waarde 10. Omdat in geval van zandtransport het netto resultaat uiteindelijk telt, houdt de RTP rekening met de windsnelheid. Uit de berekening volgt dan in dit geval een RTP met waarde 0, dat wil zeggen met betrekking tot het zandtransport heffen de westen- en oostenwind elkaar op.

Voor het berekenen van het potentieel transport TP is gebruik gemaakt van uurgemiddelde windsnelheid en windrichting, en de transportformule van Kawamura:

$$q = 3600 * C_K * \rho / g * (U^* - U_{*t}) * (U^* + U_{*t})^2 \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1})$$

met

$U_{*t}$	= 0.22	(m/s) kritische wrijvingsnelheid
$C_K$	= 2.78(-)	Kawamura's constante
$\rho$	= 1.22(kg/m <sup>3</sup> )	luchtdichtheid
$g$	= 9.81(m/s <sup>2</sup> )	gravitatie constant

De uurwaarden worden gesommeerd per maand. Gewichten worden omgerekend naar m<sup>3</sup> door te delen door 1600 (kg/m<sup>3</sup>, bulk density van zand).

Uit de vergelijking blijkt dat in plaats van de windsnelheid de wrijvingssnelheid moet worden ingevoerd. Deze kan worden berekend met behulp van de formule voor het logaritmisch windprofiel:

$$U^* = \kappa * U_z / \ln(z/z_0)$$

met  $z_0$  = 0.0002 (m) ruwheidslengte  
 $\kappa$  = 0.41 (-) von Karmans constante  
 $z$  = meethoogte (m)

Voor het berekenen van het resultante transport, de transportvector RTP is een iets andere benadering gebruikt. Hiervoor is per jaar een frekwentietabel gemaakt met aantal uren per klasse windrichting (van 20 graden) en per klasse windsnelheid (per 1 m/s). Vervolgens is de transportberekening aan de hand van de frekwentietabel uitgevoerd, waarbij de windrichting is verdisconteerd.

Globalere berekeningen van het windveld over de periode 1908-2011 zijn gebaseerd op de dagwaarden van Vlissingen. Hiermee zijn jaarsommen van windsnelheid en richting berekend. De dagwaarden bestaan uit een vectorgemiddelde windrichting (DDVEC) en een vectorgemiddelde windsnelheid (FHVEC). Van beide zijn jaargemiddelden berekend, jaarsom Vector (snelheid) en T\_Dir (richting). NB hier is alleen uitgegaan van de windsnelheid- en richting. Omdat alleen dagwaarden bekend zijn is geen transportformule toegepast. De jaarsom Resultante Vector RV is op een andere manier berekend. Voor alle dagwaarden van de vectorgemiddelde windrichting (DDVEC) en snelheid (FHVEC) zijn de sinus en de cosinus bepaald en vermenigvuldigd met de snelheid:

$$\text{Sin(DDVEC)*FHVEC en Cos(DDVEC)*FHVEC}$$

Van zowel sinus als cosinus zijn weer de jaarlijkse gemiddelden berekend, en met Pythagoras is dit vervolgens omgerekend naar RV

$$RV = \sqrt{\text{jaargemiddelde sinus}^2 + \text{jaargemiddelde cosinus}^2}$$

Deze laatste geeft meer inzicht in de netto resultante vector. Jaarsom Vector is vergelijkbaar met TP, RV is vergelijkbaar met RTP.

## Bijlage 4 Beschrijving profielkuilen t.b.v. OSL-monsters

Datum monsternamen: 27 dec 2011 en 16 jan 2012

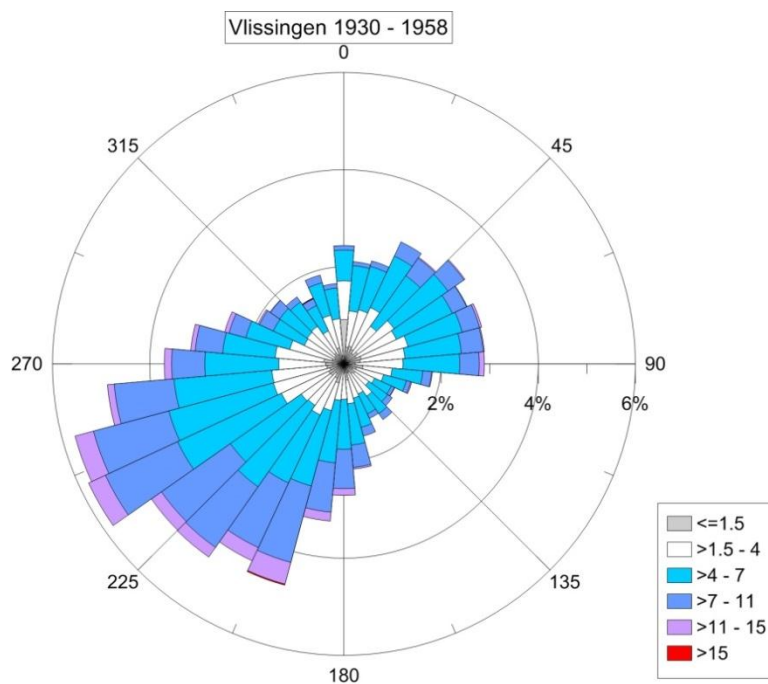
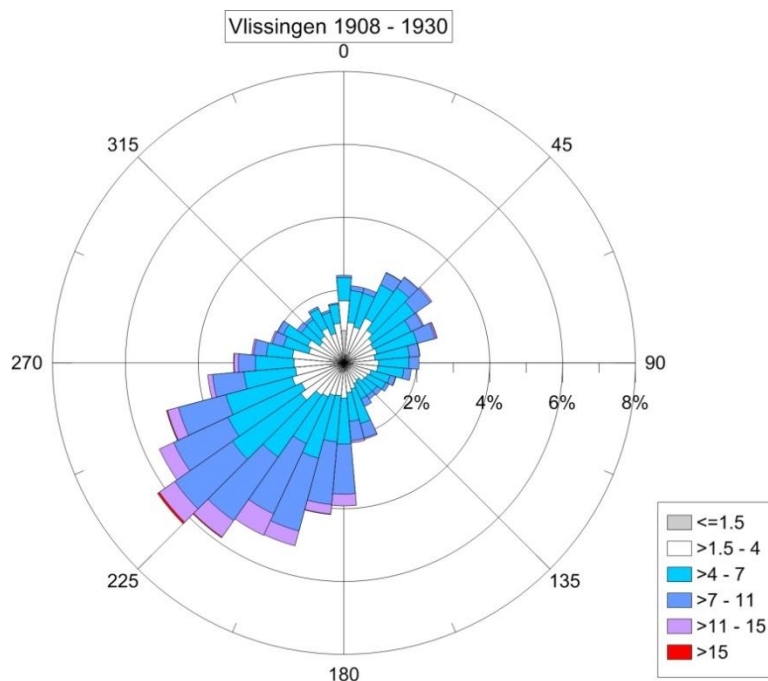
Beschrijvers: Bert van der Valk & Marcel Bakker

Monsternemer: Marcel Bakker

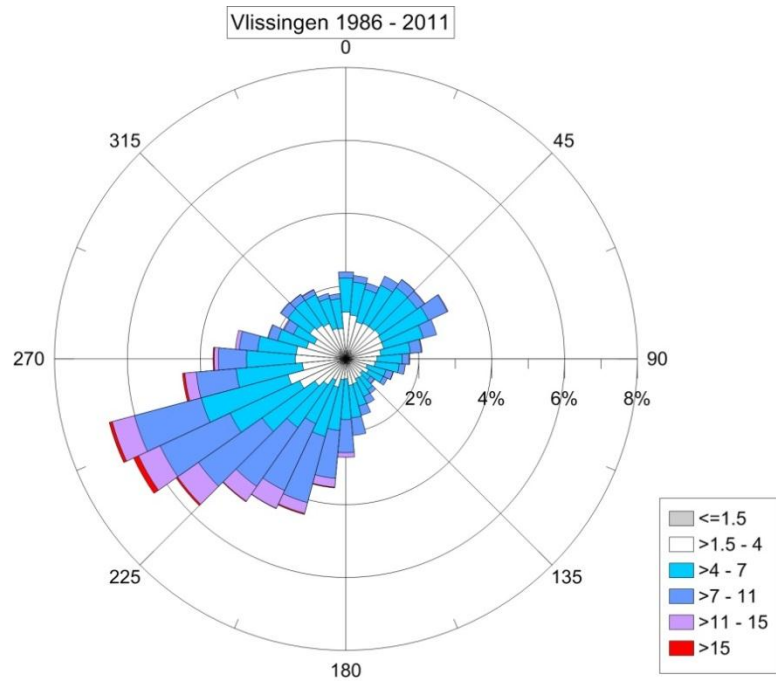
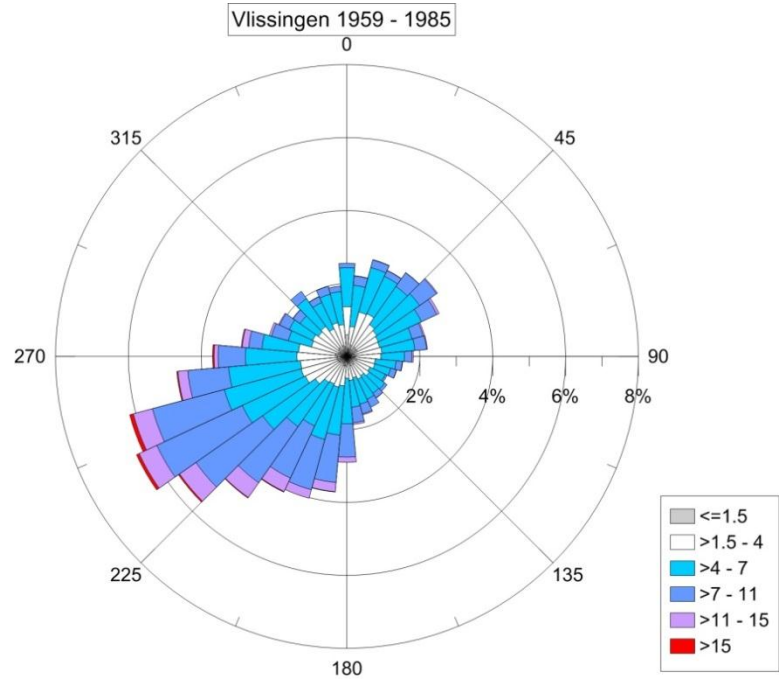
WD 1 (cm)		humus, gelaagdheid	kleur	bijzonderheden	monster diepte (top buis)
0-4	graszode				
4-18	zand	licht h	grbr		
18-40	zand	zeer licht h	libr	licht doorw	
40-80	zand		librgrijs	fijne doorw	
80-120	zand	LA X bedding	ligeelbr	150-220 mmu	110
NAP mv		37813,2	412471,5		11,9
WD 2					
0-13	zand	zode, licht h	grbr	doorw dicht	
13-20	zand	zeer licht h	libr	doorw	
20-48	zand	zeer licht h	grbr	doorw	
48-120	zand		ligebr	zeer licht doorw	
120-140	zand		ligebr		135
NAP mv		37826,8	412472,6		13,1
WD3					
0-5	zode, zand	h	grbr	doorw	
5-16	zand	licht h	grbr	doorw	
16-48	zand	ingravingen	ligrbr	doorw licht	
48-120	zand	LA X bedding	ligrgeel	zeer licht doorw	
120-135	zand	idem	ligrgeel		130
NAP mv		37841,8	412476,1		14,1
WD 4					
0-7	zode, zand	licht h	grbr	grasdoorw	
7-12	zand	licht h	grbr	licht doorw	
12-40	zand		ligrbr	doorw	
40-140	zand		ligrge	licht doorw	
140-150	zand		ligrge		140
NAP mv		37856,5	412475,7		15,0
WD 5					
0-14	zand	zeer licht h	ligrbr	licht doorw	
14-37	zand	licht h	ligr	doorw	
37-115	zand		librge	licht doorw	
115-145	zand		librge		140
NAP mv		37932,0	412515,8		18,5
WD 6					
0-5	bosbodem	h, mos	groenbr	doorw	
5-12	humus		dobr	doorw	
12-30	zand		roestbrge	doorw	
30-55	zand	zeer licht h	librge	doorw	
55-120	zand		librge	licht doorw	
120-150	zand	LA X bedding	librge		140
NAP mv		37951,1	412533,3		18,4

WD 7					
0-5	graszode, zand	h	groenbr	doorw	
5-22	zand	licht h	brgr	doorw	
22-65	zand		ligegr	licht doorw	
65-75	zand	geband, oud bodemcomplex	grijs-ligr	licht h	
75-130	zand	LA X bedding	ligegr	vast gepakt	120
NAP mv		38312,2	412524,0		18,0
WD 8					
0-5	zode	gras. mos	groenbr		
5-20/30	zand		ligr	doorw	
20/30-70	zand		ligrge	licht doorw, vast	
70-90	zand	zeer licht h	ligegr	iets meer doorw	
90-140	zand	LA X bedding	ligegr		130
NAP mv		38488,5	412601,1		17,6
WD 9					
0-20	zand		ligegr		
20-25	zand		ligegr	iets grover zand	
25-110	zand	LA X bedding	ligegr		100
NAP					8,2
WD 10					
0-15	zand		ligegr		
15-20	zand		ligegr	iets grover zand	
20-90	zand	LA X bedding	ligegr		80
NAP mv					10,0
WD 11					
0-70	zand		ligegr	compact	
70-100	zand		ligegr	iets losser gepakt	90
NAP mv					11,3
WD 12					
0-45	zand		ligegr	compact	
45-95	zand		ligegr	iets losser	90
NAP mv					13,6
WD 13					
0-10	zand		ligrbr	zegge doorw	
10-70	zand		ligegr	zegge doorw	
70-80	zand		ligegr	compact, zegge doorw	
80-125	zand		ligegr	compact	110
NAP mv					14,6
WD 14					
0-10	zode		ligrbr	zegge doorw	
10-65	zand		ligegr	zegge doorw	
65-100	zand	LA X bedding	ligegr	iets compacter	80
NAP mv					15,6
WD 15					
0-10	zode		ligrbr	zegge doorw	
10-55	zand		ligegr	zegge doorw	
55-130	zand		ligegr	compact	120
NAP mv					13,1

# Bijlage 5 Windrozen







# Bijlage 6

## Luminescentiedateringsrapport

NCL-3112 Luminescentiedateringsrapport (definitief)



Netherlands Centre for  
Luminescence dating

### Luminescentiedateringsrapport

---

Project titel: Verstuivingsdynamiek Schouwen  
Project locatie: Schouwen  
Project nummer: NCL-3112  
Onderzoeker(s): Marcel Bakker  
Auteur(s): Jakob Wallinga, Tony Reimann, Alice J. Versendaal  
Datum: 12 maart 2013

*Ownership of results & Disclaimer*

The generating party owns data and results presented in this report (following the 'Overeenkomst tot samenwerking inzake het Nederlands Centrum voor Luminescentiedatering'). When results lead to publication, members of the institutes involved in the collaboration will be included as authors. The investment grant (#834.03.003) supplied by the Netherlands organization for scientific research (NWO-ALW) should be acknowledged in all publications resulting from this collaborative project.

If methodological aspects of the optical dating of samples from this project are to be published, researchers from the NCL laboratory in Delft will ask permission from the initiating party. Co-authorship of the initiating party is a matter of course if the geological / archaeological context of the samples is of importance to the publication.

We took utmost care in the analyses detailed in this report, as well as in preparing the report itself. Nevertheless we cannot take responsibility for any harm or costs arising from the use of results presented in this report.

## 1 Achtergrond

In het kader van kustduin onderzoek door TNO en Deltares zijn door Marcel Bakker (TNO) tien monsters genomen van duinzanden te Schouwen. Doel van het onderzoek is om inzicht te krijgen in de migratie snelheid van (parabolische) kustduin complexen. In het veld zijn ook grondradar metingen verricht; alle dateringsmonsters zijn genomen van afzettingen met grootschalige cross bedding aan voormalige lij-zijdes van de duincomplexen. Tabel 1 toont een overzicht van de monsters en verwachte ouderdom; figuur 1 toont de locatie van de monsters. In dit rapport worden methoden en uitkomsten van de luminescentiedatering beschreven. De dateringen zijn verricht bij het Nederlands Centrum voor Luminescentiedatering bij de TU Delft.

Tabel 1 Overzicht van monsters ingediend voor datering.

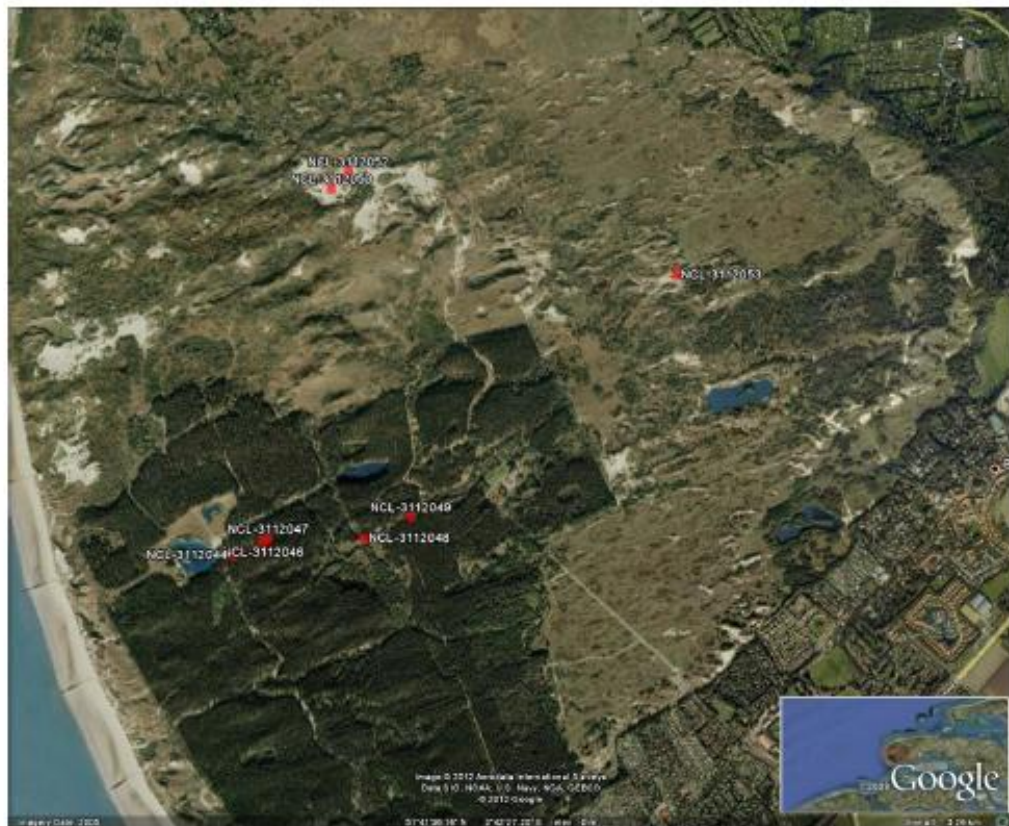
NCL Nummer	Client Nummer	Lat	Lon	Depositional Environment	Lithologie	Methode	Diepte (m)	Verwachte leeftijd (ka)
NCL-3112044	WD-1	37813	412472	aeolian	sand	trench	1.10	0,2-0,4
NCL-3112045	WD-4	37857	412476	aeolian	sand	trench	1.40	0,2-0,4
NCL-3112046	WD-5	37932	412516	aeolian	sand	trench	1.40	0,2-0,4
NCL-3112047	WD-6	37951	412533	aeolian	sand	trench	1.40	0,2-0,4
NCL-3112048	WD-7	38312	412524	aeolian	sand	trench	1.20	0,2-0,4
NCL-3112049	WD-8	38489	412601	aeolian	sand	trench	1.30	0,2-0,4
NCL-3112050	WD-9	38219	413837	aeolian	sand	trench	1.00	0,2-0,4
NCL-3112051	WD-11	38257	413874	aeolian	sand	trench	0.90	0,2-0,4
NCL-3112052	WD-12	38285	413899	aeolian	sand	trench	0.90	0,2-0,4
NCL-3112053	WD-13	39509	413486	aeolian	sand	trench	1.10	0,1

Optisch gestimuleerde luminescentie (OSL) datering bepaalt het moment van afzetting en begraving van zandkorrels. De methode maakt gebruik van een klein lichtsignaal dat kwarts- of veldspaatkorrels kunnen uitzenden. Dit luminescentiesignaal wordt op nul gesteld (gebleekt) door zonlicht, en bouwt na afzetting en begraving van de korrels op doordat de korrels natuurlijke achtergrondstraling absorberen uit hun directe omgeving. Deze achtergrondstraling komt van het radioactief verval van met name Kalium-40, en de uranium en thorium vervalreeksen, met een kleine bijdrage van kosmische straling. De methode is toepasbaar voor sedimenten van enkele jaren oud tot ongeveer 150.000 jaar (kwarts) of 500.000 jaar (veldspaat). Met luminescentiemethoden kan de ouderdom met een relatieve nauwkeurigheid van maximaal 5% worden bepaald (1 sigma).

Voor luminescentiedatering worden twee grootheden bepaald. Door metingen van het Optisch gestimuleerde Luminescentie (OSL-) signaal op de kwartsfractie wordt bepaald hoeveel achtergrondstraling het monsters heeft ontvangen sinds afzetting en begraving, ofwel sinds de laatste blootstelling aan zonlicht. Daarnaast wordt gemeten en berekend hoeveel achtergrondstraling de kwartskorrels per jaar hebben ontvangen in hun natuurlijke omgeving. Door de totale hoeveelheid ontvangen straling (paleodosis) te delen door de jaarlijkse dosis wordt de ouderdom verkregen:

$$\text{Ouderdom (jaar)} = \text{Paleodosis (Gy)} / \text{jaarlijkse dosis (mGy/jaar)}.$$

Meer informatie over de methode is te vinden in NOAA hoofdstuk 5 (Wallinga, 2005) en verder in Aitken (1998), Wallinga et al. (2007) en Wintle (2008).



Figuur 1 Monsterlocatie en positie (Google Earth via [www.lumid.nl](http://www.lumid.nl)).

## 2 Methoden & resultaten

### 2.1 Dosistempo

Voor bepaling van het dosistempo is met een gammaspectrometer de activiteit concentraties van Kalium-40 en verschillende nucliden uit de Uranium en Thorium reeksen gemeten. Gecombineerd met informatie over de begravingsdiepte (i.v.m. bijdrage kosmische straling) en het watergehalte is hieruit de jaarlijkse stralingsdosis berekend.

We zijn uitgegaan van onmiddellijke begraafing van de monsters tot de huidige diepte onder het maaiveld, en watergehaltes van  $7 \pm 3$  gewichtsprocent (gebaseerd op onverzadigde omstandigheden gedurende de periode van begraafing). Er waren geen aanwijzingen voor in- of uitspoeling van radionucliden uit de uranium en thorium vervalreeksen. Resulterende waarden voor het dosis tempo vertoonden weinig spreiding, en varieerden van 0.67 tot 0.73 Gy per 1000 jaar. Deze waarden zijn redelijk laag, en komen goed overeen met andere waarden voor schone duinzanden.

## 2.2 Paleodosis

Voor bepaling van de paleodosis is voor alle monsters de kwartsfractie van 180-212  $\mu\text{m}$  geselecteerd door zeven en bewerking met chemicaliën (HCl,  $\text{H}_2\text{O}_2$  en HF). Op grond van een aantal tests worden geschikte meetparameters gekozen voor gebruik in de SAR procedure (Murray & Wintle, 2003; zie Tabel A 1 op pagina 8). In de SAR procedure wordt eerst het natuurlijke luminescentiesignaal van kwartskorrels gemeten, en vervolgens wordt bepaald welke stralingsdosis nodig is om een even sterk signaal op te wekken. Dit is de paleodosis, uitgedrukt in Gray (Gy). Tests wezen uit dat de bereide fractie nauwelijks verontreinigd was met veldspaat, en geschikt voor luminescentiedatering.

Het meest lichtgevoelige OSL signaal van de kwartskorrels is geselecteerd met behulp van een 'Early Background' methode (Cunningham & Wallinga, 2010). Voor een goede bepaling van de paleodosis is deze gemeten op een groot aantal submonsters ( $\geq 16$ ), elk bestaande uit ongeveer 100 – 200 korrels (2-mm doorsnede monster op een diskje). Als test van de methode en gebruikte meetparameters is een 'dose recovery test' uitgevoerd; een in het laboratorium gegeven dosis is als onbekend gemeten. De gemeten dosis kwam goed overeen met de gegeven dosis (ratio  $1.04 \pm 0.02$   $n=37$ ), wat aangeeft dat de gebruikte methode geschikt is voor deze monsters. Aanvullende informatie over monsterkarakterisatie en paleodosis bepaling is te vinden in Appendix A.

Paleodoses gemeten op de submonsters vertoonden een spreiding zoals verwacht werd op grond van de meetnauwkeurigheid en ervaring met soortgelijke monsters. Met behulp van het 'Central Age Model' (Galbraith et al., 1999) is voor elk monster een gewogen gemiddelde bepaald. De resulterende paleodosis waarde is gebruikt voor de ouderdomsberekening en wordt weergegeven met de blauwe band in de radial plots (Galbraith, 1990) in Appendix B. De paleodoses van vier monsters (NCL-3112044, 45, 46 en 53) vertoonden wat meer spreiding (overdispersie 20-28%) dan van de rest van de monsters (overdispersie < 8%). Dit duidt op variatie in de paleodosis tussen korrels in deze monsters; mogelijke oorzaken zijn bioturbatie (doorworteling, doorgraving), incomplete op nul stelling, of lichtblootstelling tijdens monstername. Het is niet mogelijk om op grond van de patronen in de spreiding de oorzaak te achterhalen. We verwachten echter dat het effect op de dateringsuitkomst gering is, en hebben er voor gekozen ook voor deze monsters het Central Age Model te hanteren (zie ook discussie hieronder).

## 2.3 Datering

Voor elk van de monsters is de ouderdom berekend door de paleodosis te delen door de jaarlijkse dosis (Tabel 2). De gegeven onzekerheid is de 1-sigma betrouwbaarheidsinterval (68%), waarbij alle systematische en 'random' onzekerheden in dosistempo en paleodosesbepalingen doorberekend zijn. Voor elk van de monsters zijn resultaten ook weergegeven in een 'radial plot' (Appendix B), waarin de spreiding in leeftijd verkregen op submonsters wordt weergegeven. De betrouwbaarheidsindicatie in Tabel 2 is gebaseerd op de spreiding in resultaten tussen submonsters; voor de vier monsters met extra onverklaarde spreiding is een 'likely OK' kwalificatie gehanteerd, en voor de overige monsters een 'OK' kwalificatie. Het is opvallend dat het verschil in betrouwbaarheid niet zichtbaar is in de opgegeven onzekerheid; de gebruikte modellen geven aan dat het gewogen gemiddelde nauwkeurig bekend is, ondanks de spreiding in resultaten.

Aanvullende informatie is voor de opdrachtgever beschikbaar via onze database: [www.LumiD.nl](http://www.LumiD.nl).

## NCL-3112 Luminescentiedateringsrapport (definitief)

Tabel 2 Samenvatting van kwarts OSL luminescentiedatering

NCL Code	Client Code	Lat.	Lon.	Diepte (m)	Palaeodosi (Gy)	Dosistempo (Gy/ka)	Ouderdom (ka)	Syst.	Toevallig	Ouderdom (AD)	Betrouwbaarheid	Comments
NCL-3112044	WD-1	37813	412472	1.10	0.165 ± 0.012	0.73 ± 0.02	0.225 ± 0.018	0.008	0.015	1,787 ± 18	Likely OK	CAM, OD 20%
NCL-3112045	WD-4	37857	412476	1.40	0.143 ± 0.015	0.71 ± 0.02	0.201 ± 0.022	0.007	0.021	1,811 ± 22	Likely OK	CAM, OD 27%
NCL-3112046	WD-5	37932	412516	1.40	0.247 ± 0.016	0.71 ± 0.02	0.346 ± 0.025	0.013	0.021	1,666 ± 25	Likely OK	CAM, OD 26%
NCL-3112047	WD-6	37951	412533	1.40	0.216 ± 0.008	0.67 ± 0.02	0.322 ± 0.016	0.012	0.011	1,690 ± 16	OK	CAM, OD 4%
NCL-3112048	WD-7	38312	412524	1.20	0.274 ± 0.018	0.71 ± 0.02	0.387 ± 0.028	0.014	0.024	1,625 ± 28	OK	CAM, OD 6%
NCL-3112049	WD-8	38489	412601	1.30	0.224 ± 0.022	0.69 ± 0.02	0.323 ± 0.034	0.012	0.032	1,689 ± 34	OK	CAM, OD 8%
NCL-3112050	WD-9	38219	413837	1.00	0.276 ± 0.010	0.70 ± 0.02	0.395 ± 0.019	0.015	0.012	1,617 ± 19	OK	CAM, OD 6%
NCL-3112051	WD-11	38257	413874	0.90	0.203 ± 0.006	0.70 ± 0.02	0.290 ± 0.013	0.011	0.007	1,722 ± 13	OK	CAM, OD 0%
NCL-3112052	WD-12	38285	413899	0.90	0.213 ± 0.007	0.73 ± 0.03	0.292 ± 0.014	0.011	0.009	1,720 ± 14	OK	CAM, OD 0%
NCL-3112053	WD-13	39509	413486	1.10	0.084 ± 0.007	0.67 ± 0.02	0.125 ± 0.012	0.005	0.011	1,887 ± 12	Likely OK	CAM, OD 20%

### 3 Synthese

Met kwarts optisch gestimuleerde luminescentiedatering is het afzettingmoment van duinzanden op Schouwen bepaald, om inzicht te krijgen in de migratiesnelheid van (parabolische) kustduin complexen. De dateringsuitkomsten lijken betrouwbaar, zijn over het algemeen consistent wanneer onzekerheden in beschouwing worden genomen, en geven aan dat de duinzanden tussen ongeveer 400 en 200 jaar geleden gevormd zijn. Eén jonger monster is op 125 jaar gedateerd.

Het is verassend dat monsters 46 en 47 oudere dateringen opleveren dan monster 44 en 45; op grond van grondradar werd verwacht dat de afzettingen naar het oosten jonger zouden zijn. De OSL dateringen lijken betrouwbaar, en de consistentie van de gepaarde monsters 44-45 enerzijds en 46-47 anderzijds geven verder vertrouwen in de OSL uitkomsten.

### *References*

- Buylaert, J.-P., Jain, M., Murray, A.S., Thomsen, K.J., Thiel, C., Sohbaty, R., 2012. A robust feldspar luminescence dating method for Middle and Late Pleistocene sediments. *Boreas* – in press.
- Cunningham, A.C. & Wallinga, J., 2010. Selection of integration time-intervals for quartz OSL decay curves, *Quaternary Geochronology* 5, 657-666.
- Galbraith, R.F., 1990. The radial plot – graphical assessment of spread in ages. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements* 17, 207-214.
- Kars, R.H., Busschers, F.S. & Wallinga, J. 2012. Validating post-IR IRSL dating on K-feldspars through comparison with independent age constraints. *Quaternary Geochronology*. doi: 10.1016/j.quageo.2012.05.001.
- Murray, A.S., Wintle, A.G., 2003. The single aliquot regenerative dose protocol: potential for improvements in reliability. *Radiation Measurements* 37, 377-381.
- Roberts, R.G., Galbraith, R.F., Yoshida, H., Laslett, G.M., Olley J.M., 2000. Distinguishing dose populations in sediment mixtures: a test of single-grain optical dating procedures using mixtures of laboratory-dosed quartz. *Radiation Measurements* 32, 459-465.
- Thomsen, K.J., Murray, A.S., Jain, M., Bøtter-Jensen, L., 2008. Laboratory fading rates of various luminescence signals from feldspar-rich sediment extracts. *Radiation Measurements* 43, 1474-1486.
- Wallinga, J., Murray, A.S. & Wintle, A.G. 2000. The single-aliquot regenerative-dose (SAR) protocol applied to coarse-grain feldspar. *Radiation Measurements* 32, 529-533.
- Wallinga, J., Davids, F., Dijkmans, J.W.A., 2007. Luminescence dating of Netherlands' sediments. *Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw* 86, 179-196.
- Wintle, A.G. 2008. Fifty years of luminescence dating. *Archaeometry* 50, 276-312.
- Wintle, A.G. & Murray, A.S., 2006. A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols. *Radiation Measurements* 41, 369-391.

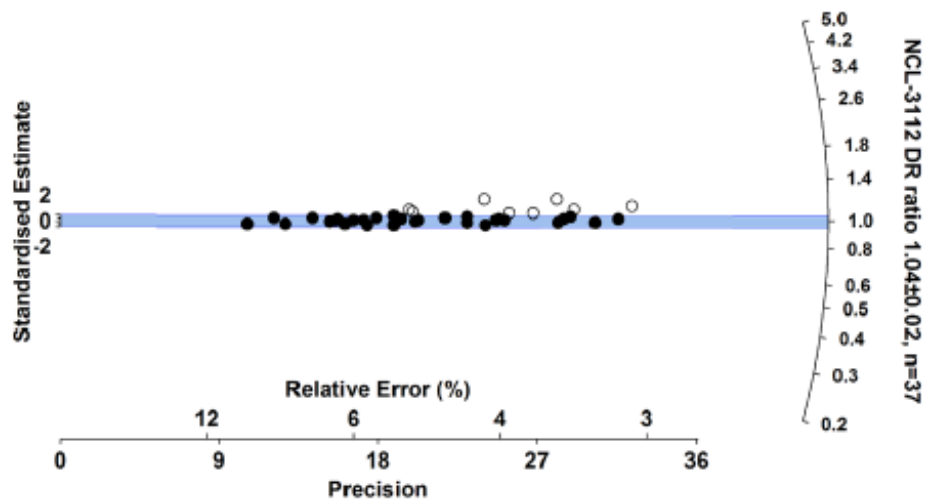


## Quartz OSL methods and tests

Tabel A 1 SAR methode gebruikt voor dit project. Extra stap 1 dient als controle of het submonster niet verontreinigd is met veldspaat. Extra stap 2 dient om te controleren of het OSL signaal gedomineerd is door de snelle component die het meest geschikt is voor datering.

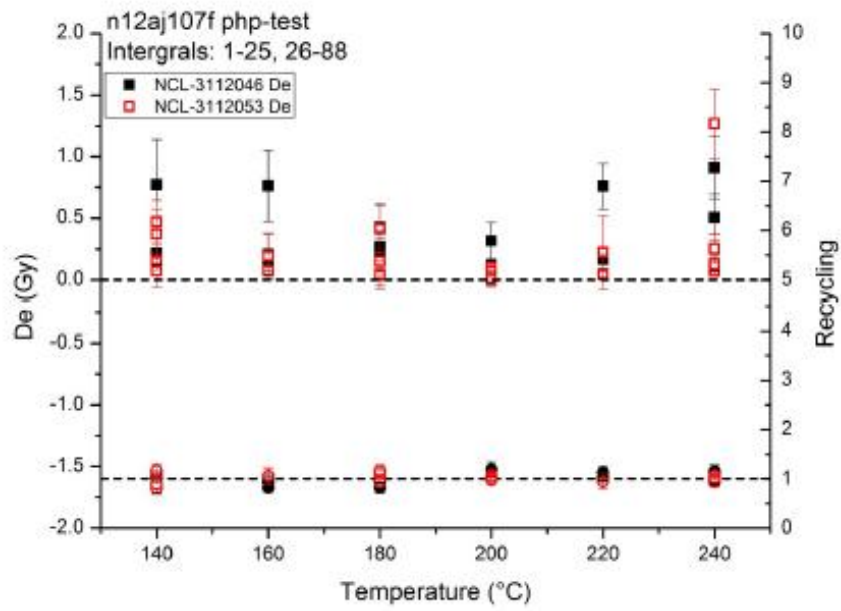
Step	Action	Measured
1	Beta dosis (of natuurlijke dosis)	
2	10s verhitting tot 200°C	
3	20s blauwe stimulatie bij 125°C	$L_n, L_1$
4	Test beta dosis	
5	Verhitting tot 180°C	
6	20s blauwe stimulatie bij 125°C	$T_n, T_1$
7	40s bleking met blauw licht bij 210°C	
8	Stap 1-7 herhalen voor verschillende doses	
Extra 1	Stap 1-7 herhalen met toegevoegd infrarood bleking bij 300C voorafgaand aan stap 3	
Extra 2	10 Gy beta dosis, gevolgd door LM-OSL	

## Dose recovery



Figuur A 1 Radial plot geeft het resultaat van de dose recovery weer.

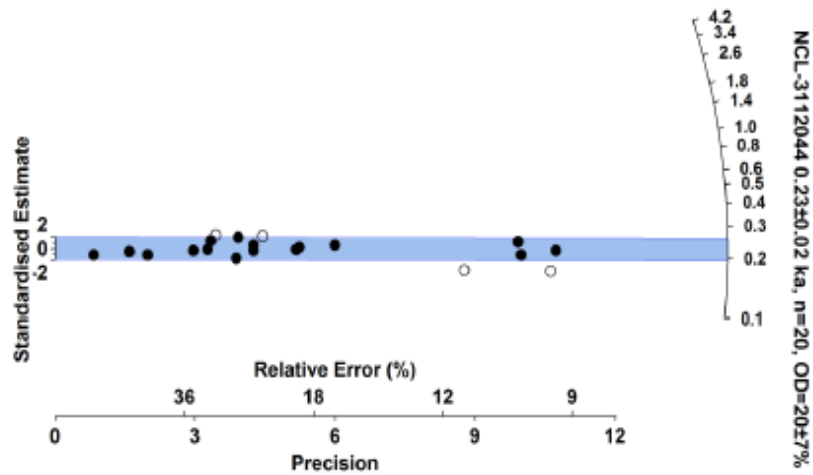
### Preheat plateau test



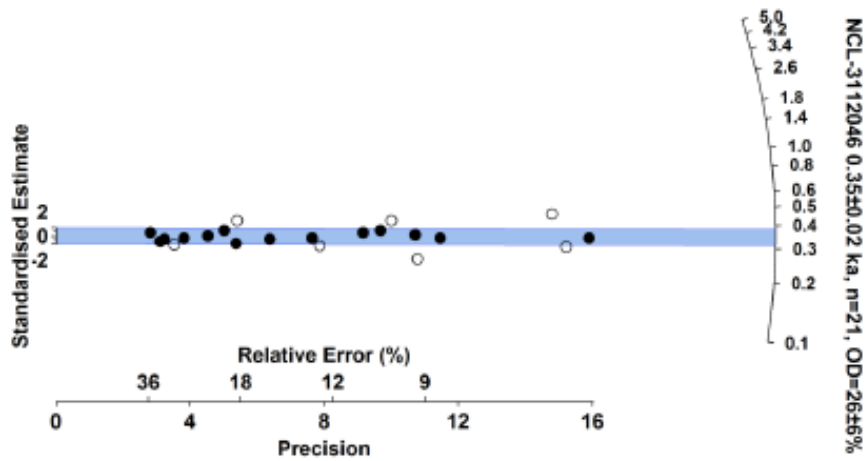
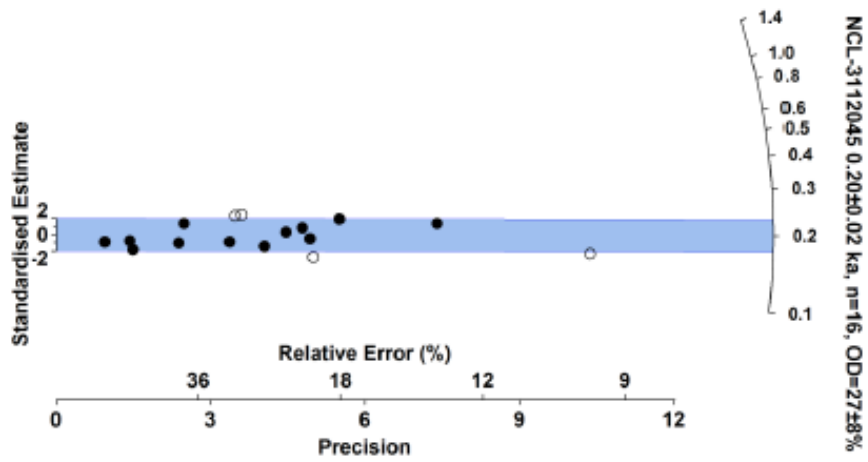
Figuur A 2 php-test resultaat NCL-3112046+053

## Ouderdomsverdelingen

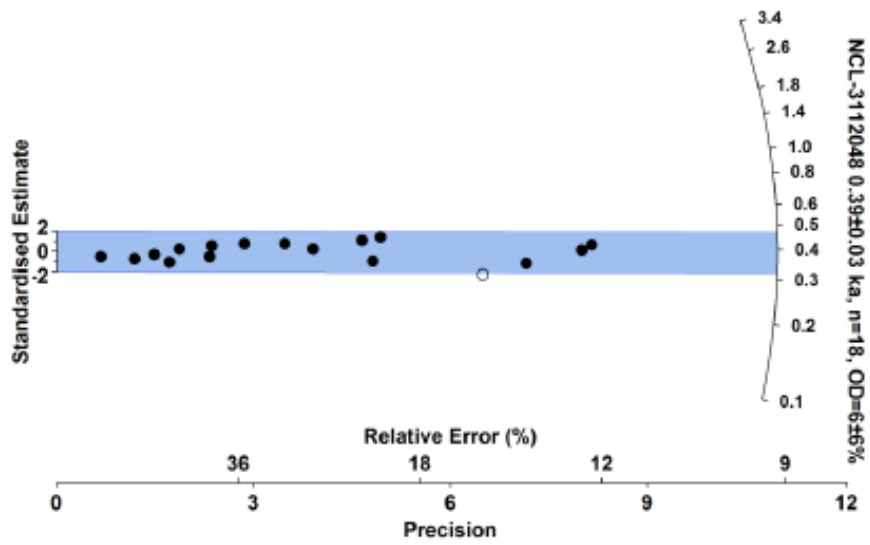
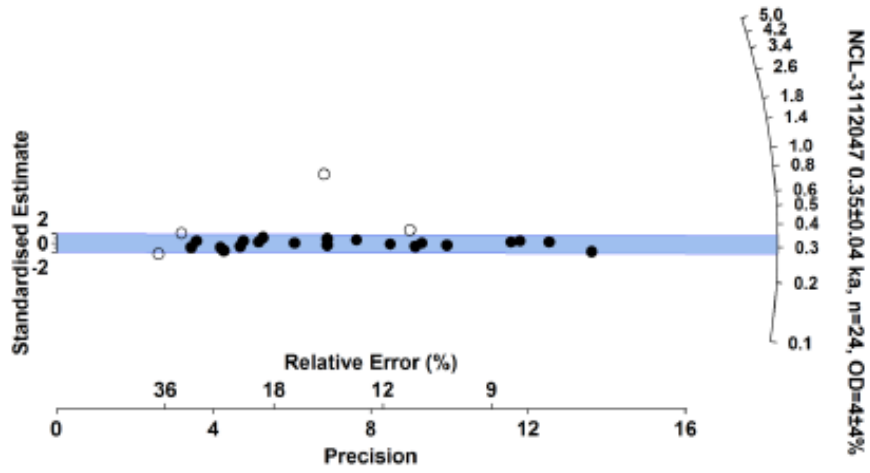
Onderstaande 'radial plots' tonen voor elk van de monsters de spreiding in resultaten tussen de submonsters. De x-as toont de precisie van de metingen, terwijl de gekromde y-as de leeftijd weergeeft. De leeftijd van een submonster is verkregen door de gemeten paleodosis te delen door het dosis tempo bepaald voor het monster. De blauwe band geeft de ouderdom aan die gegeven is in tabel 1; alle punten binnen deze blauwe band komen statistisch overeen met het eindresultaat. Hoe groter het percentage van de resultaten binnen deze blauwe band valt, en hoe kleiner de 'overdispersion' (OD; zie y-as bijschrift), hoe groter de betrouwbaarheid van de datering.



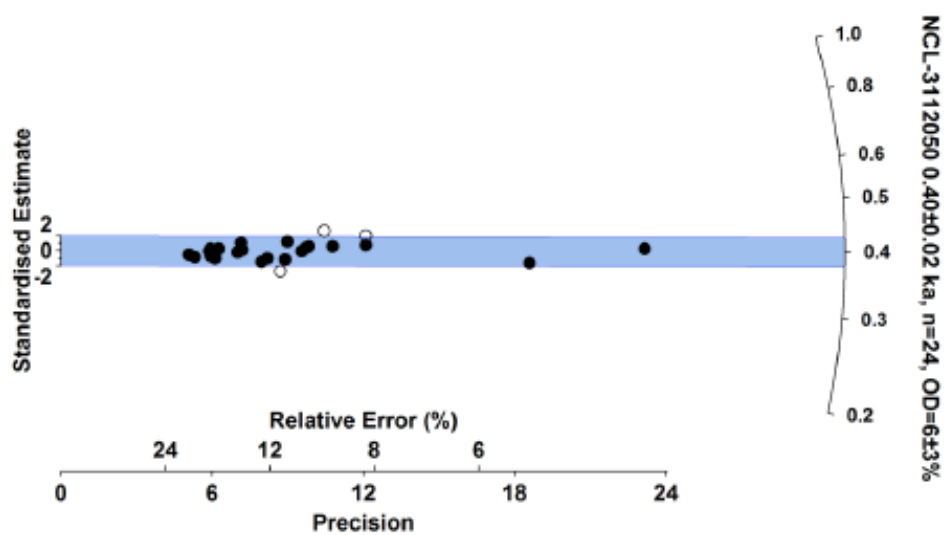
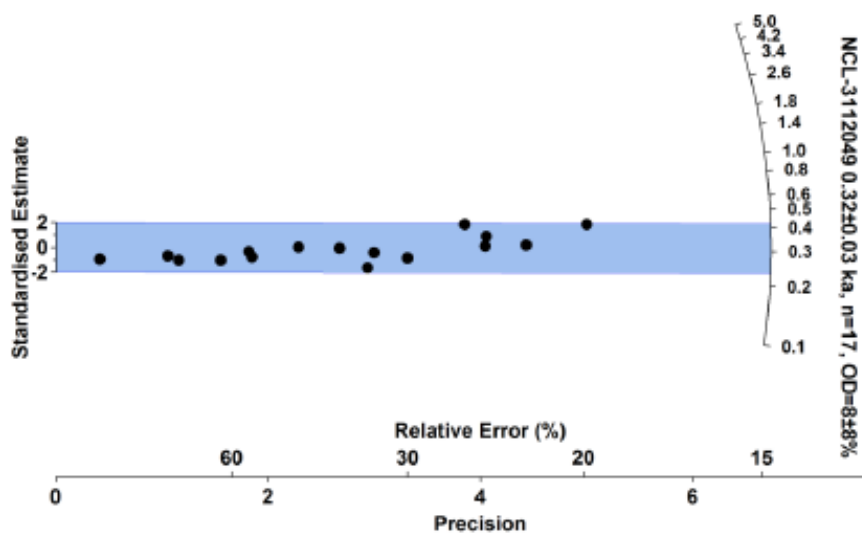
NCL-3112 Luminescentiedateringsrapport (definitief)  
Appendix B Ouderdom distributie



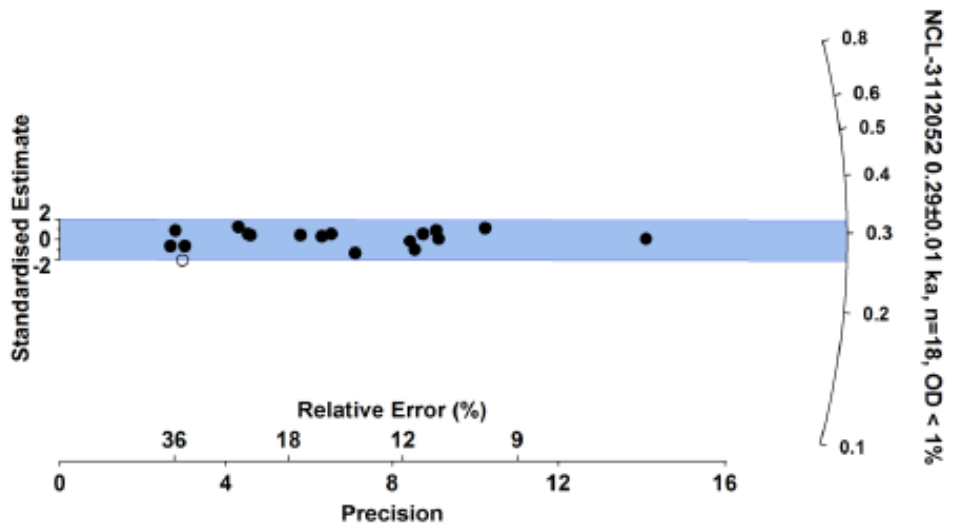
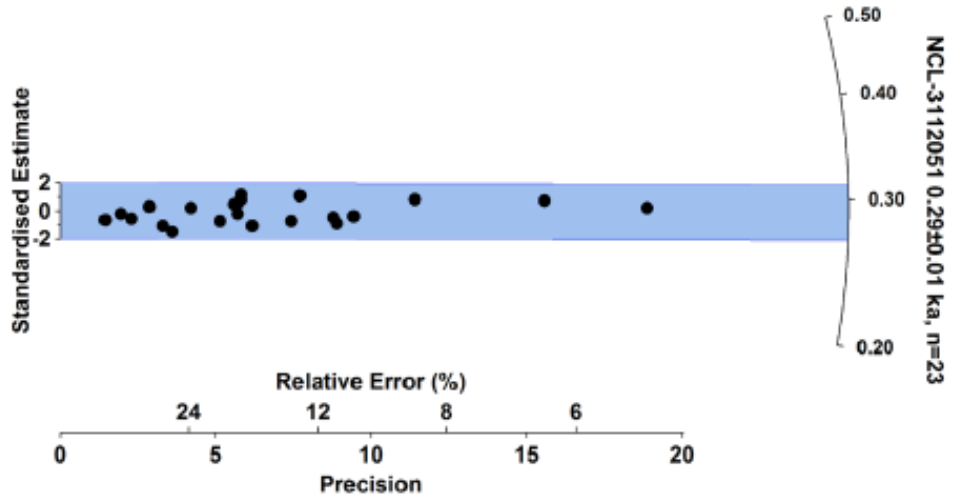
NCL-3112 Luminescentiedateringsrapport (definitief)  
Appendix B Ouderdom distributie



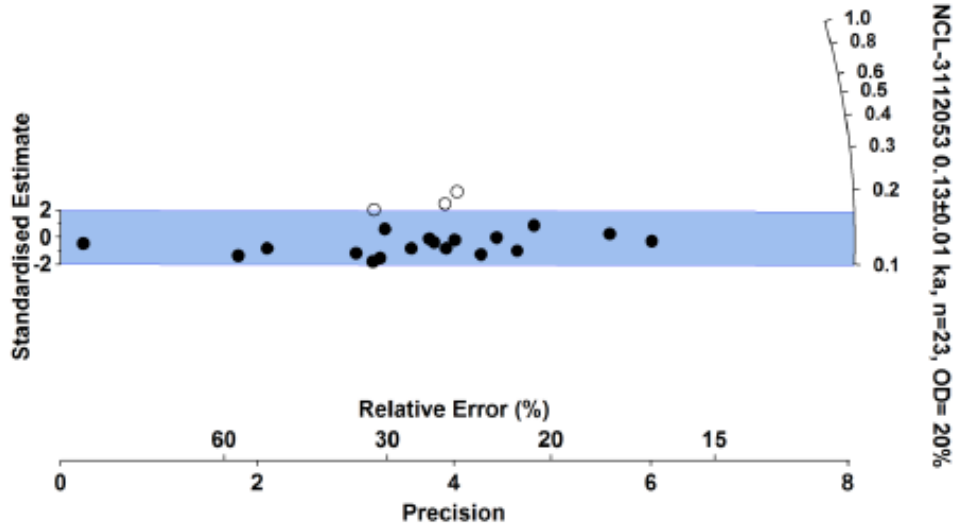
NCL-3112 Luminescentiedateringsrapport (definitief)  
 Appendix B Ouderdom distributie



NCL-3112 Luminescentiedateringsrapport (definitief)  
Appendix B Ouderdom distributie



NCL-3112 Luminescentiedateringsrapport (definitief)  
Appendix B Ouderdom distributie





# Bijlage 7 Schouwen

# Kaarten Herstelplan

