

ad. 983804

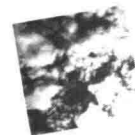
**MONITORING VAN EEN
GROOTSCHALIGE VERSTUIVING
VAN LIMBURG STIRUMGEBIED
AMSTERDAMSE WATERLEIDINGDUINEN**

ontwikkeling 1995-1997

S.M. Arens



FRW *Fysische Geografie*



ARENS

BUREAU VOOR STRAND- EN DUINONDERZOEK



**MONITORING VAN EEN
GROOTSCHALIGE VERSTUIVING
VAN LIMBURG STIRUMGEBIED
AMSTERDAMSE WATERLEIDINGDUINEN**

ontwikkeling 1995-1997

S.M. Arens

ARENS BSDO

RAPPORTNUMMER RAP98.02

Opdrachtgever Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde

Mei 1998

VOORWOORD

In 1995 is in de Amsterdamse Waterleidingduinen (AWD) een grootschalige verstuiwing ontstaan in het gebied van het van Limburg Stirumkanaal. Het zuidelijk deel van dit extractiekanaal is in maart 1995 opgevuld met het oorspronkelijke zand, voor zover dat nog aanwezig was in “depots” die tijdens het uitgraven van het kanaal, circa 100 jaar geleden waren aangelegd. De situatie die na opvulling is ontstaan is voor het Nederlandse duingebied uniek. Behalve vanwege de omvang is het project ook vanuit andere oogpunten van belang.

De Gemeentewaterleidingen Amsterdam (GWA) beoogde met dit project ondermeer de natuurlijke waterhuishouding en geomorfologische dynamiek te herstellen. Als beheerder is het voor de GWA van belang om te onderzoeken of de gestelde doelen met de inrichting zijn of worden bereikt.

De Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, werkgroep C - zandige kusten (TAW-C) heeft belangstelling voor het project vanwege de relevantie met betrekking tot dynamisch kustbeheer. Ten eerste kan het project nuttige ervaring opleveren met extensivering van beheer en introductie van geomorfologische dynamiek door middel van ingrepen. In de komende jaren zullen in verschillende gebieden langs de Nederlandse kust meer- of minder grootschalige introducties van natuurlijke dynamiek plaatsvinden, hetzij door middel van ingrepen, hetzij door middel van het achterwege laten van onderhoud. Ten tweede is het noodzakelijk kennis en ervaring te ontwikkelen om dergelijke introducties op de juiste wijze te kunnen volgen. Om die redenen heeft de TAW-C opdracht gegeven voor een aantal onderdelen van het monitoringsproject, met verslaglegging in een drietal rapporten.

In een eerste rapportage werd de uitgangssituatie en de initiële ontwikkeling in 1995 beschreven (Arens & Deiller, 1996). Het tweede rapport beschrijft de ontwikkeling van het gebied tussen 1995 en 1996. Het geeft met name een vergelijking tussen ontwikkelingen aan de oost-kant (onderwerp van het eerste rapport) en ontwikkelingen aan de west-kant, waar in de winter van 1995-1996 belangrijke veranderingen zijn opgetreden. Dit derde rapport geeft een beschrijving van de ontwikkeling na 1996 en daarnaast een meer algemene evaluatie van de ontwikkeling van het gebied tussen 1995 en 1997.

Tijdens eerdere fases van het project is medewerking verleend door Jan-Hein Loedeman, Landbouwniversiteit Wageningen, Ronald Haak van de Universiteit van Amsterdam en Michael Osborn, Danny Hoogteijling en Anne-Frédérique Deiller. Begeleiding heeft plaatsgevonden door Luc Geelen van Gemeentewaterleidingen Amsterdam en Moniek Löffler en Maaike Veer van Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde. Luc Geelen en Maaike Veer worden bedankt voor het kritisch doorlezen van dit rapport.

Bas Arens,
3 juli 1998.

SAMENVATTING

De verstuiving heeft zich tussen 1996 en 1997 verder uitgebreid. Over het algemeen is de uitbreiding beperkt tot een tiental meters, lokaal is de uitbreiding echter groter, tot circa 50 m. Dit betreft dan een uitbreiding van de overstuivingszone, waarbij de vegetatie nog steeds herkenbaar is. De grootste uitbreidingen bevinden zich, zoals te verwachten was, aan de oostzijde, vaak aan de noordoostzijde van vormen, blijkbaar tengevolge van een zuidwestelijke wind. Op sommige lokaties zijn loopduinachtige vormen ontstaan, met storthellingen van een aantal meters hoog, die echter een dermate geringe verplaatsing hebben dat deze op de luchtfoto's nauwelijks waarneembaar is. De verwachting is dat deze vormen voorlopig actief blijven. Overstoven delen zullen geleidelijk aan weer dicht gaan groeien, omdat de mate van overstuiving in het grootste deel van het gebied zodanig is, dat de groei van de vegetatie de bedekking bij kan houden. Aan de westzijde zijn weinig veranderingen waarneembaar. De verstuiving lijkt zich hier niet noemenswaardig uitgebreid te hebben.

Opvallend is dat in bijna het gehele gebied de oude grens van de begroeiing weer duidelijk zichtbaar is. De begraven begroeiing is blijkbaar voor een groot deel door de overstuiving heen gegroeid. Hierdoor is de grens onbegroeid/begroeid ten opzichte van 1996 in de richting van de verstuiving verplaatst. In vergelijking tot 1996 zijn aan de oostkant minder plekken waar de vegetatie volledig is begraven. Blijkbaar is ook hier de vegetatie door de overstuiving heen gegroeid. Tot nu toe is er slechts op een beperkt aantal plaatsen sprake van een vegetatie-waartse verschuiving ten gevolge van erosie van de grens begroeid/onbegroeid. Er is wel een forse uitbreiding van het overstoven areaal, maar voor een groot deel is hierin de vegetatie nog herkenbaar, dus niet volledig begraven.

In het noorden is het meest opvallende verschijnsel dat de afgeplagde duindoorn in het centrale deel door het uitlopen van de wortelstokken grotendeels het oppervlak heeft bedekt en gestabiliseerd. In het midden en zuidelijk deel is een deel van de oevervegetatie "teruggekeerd". Hier ontstaan lijnvormige duinen in riet, op de plaats waar voor invulling van het kanaal de oevers lagen. Merkwaardig genoeg blijkt het riet hier goed bestand tegen instuiving.

Watererosie speelt een bescheiden rol. Wellicht het belangrijkste gevolg is het stromen van water naar laag gelegen delen waardoor hier organisch materiaal wordt afgezet. Dit zal een later uitsterven van laagtes belemmeren. Vooralsnog is uitsterven van laagtes echter niet aan de orde. Omdat lager gelegen delen omringd zijn door kaal oppervlak vindt tot nu toe vooral transport van zand naar de laagtes toe. Door een verhoging van de grondwaterstand kunnen deze laagtes vochtiger worden. Het dan ontstane vochtige oppervlak fungeert dan als transportoppervlak; stuivend zand zal door de laagtes heenstuiven.

Windmetingen bij IJmuiden zijn gebruikt voor een berekening van het potentiële transport, om een vergelijking te maken tussen de dynamiek van de oost- en westzijde van het gebied. Daarnaast kunnen deze berekeningen inzicht verschaffen in verschillen in transport tussen verschillende periodes. Het totale berekende transport wordt flink overschat. Maandelijkse waarden variëren van 0 tot 40 m³/m bruto transport en 0 tot 23 m³/m netto transport (rekening gehouden met windrichting). Ter vergelijking: een sterk aangroeiende zeereep kent maxima van ongeveer 25 m³/m per jaar. Het potentiële transport voor de westzijde is veel lager dan voor de

oostzijde. Wel blijkt dat in de periode juli 1995 tot april 1996 het transport aan oost- en westzijde vergelijkbaar is. Dit hangt samen met de langdurige oostenwind in januari 1996. Tussen maart en juni 1995 vindt vooral zandtransport plaats in oostelijke richting; tussen juli 1995 en maart 1996 vindt er transport plaats van west naar oost en van oost naar west; tussen april 1996 en juli 1997 vindt er voornamelijk transport plaats van zuidwest naar noordoost. Aan de westkant is een beperkt aantal maanden verantwoordelijk voor de verstuiwing: dec 95 en jan 96, dec 96 en jan 97, waarbij jan 96 (24%) en dec 96 (15%) bijna de helft voor hun rekening nemen. Aan de oostkant is maart 95 een uitschieter (14%).

Het gemeten transport (gebaseerd op depositiemetingen) bedraagt tussen de 5 en 12 % van het berekende transport. Opvallend is dat het percentage voor de westkant geringer is dan voor de oostkant. Verwacht werd dat het percentage aan de westkant juist hoger zou zijn, omdat de omstandigheden tijdens oostenwind gunstiger zijn voor verstuiwing (over het algemeen geen neerslag, droge lucht, lage vochtigheid). Een mogelijke verklaring is dat het oppervlak in het centrale deel van de verstuiwing door uitstuiwing tussen maart 1995 en januari 1996 deels bedekt is met “desert pavement” in de vorm van wortelresten, schelpen e.d. De beschikbaarheid van verstufbaar zand is dan sterk afgenomen.

Aan de hand van de verschillen tussen oost en west is het te verwachten dat de grootste ontwikkelingen zich aan de oostkant zullen blijven voordoen. Een grootschalige ontwikkeling zal zich zeker beperken tot de oostzijde. Mogelijk is de ontwikkeling nu minder grootschalig geweest dan tijdens een gemiddeld jaar, omdat de wind in de periode minder krachtig was dan tijdens een gemiddeld jaar. Indien er een jaar volgt met meer wind dan gemiddeld, dan zou de verstuiwing zich sneller kunnen uitbreiden dan nu het geval is.

Voor wat betreft de monitoring van het gebied wordt aanbevolen deze in ieder geval nog een aantal jaren voort te zetten. Indien zich binnen korte termijn (zeg de komende 5 jaar) een jaar voordoet met veel stormen, dan zal het effect hiervan op de ontwikkeling van de verstuiwing zo spoedig mogelijk moeten worden onderzocht.

Er zou een proef gestart kunnen worden met het meten van een DTM uit luchtfoto's. Hieruit zou moeten blijken of het haalbaar en zinvol is digitale hoogteinformatie voor het gehele gebied uit luchtfoto's te halen. Indien dit mogelijk blijkt, en de gewenste mate van detail geeft, dan zouden gedetailleerde metingen in het veld verder overbodig worden.

INHOUD

Voorwoord	iii
Samenvatting	v
1. Inleiding	1
2. Methodiek	1
2.1. Sequentiële luchtfoto-analyse	1
2.2. Depositietingen	2
2.3. Windmetingen	2
2.4. Berekeningen van zandtransport	2
3. Gebiedsbeschrijving	6
4. Resultaten	7
4.1. Windgegevens	7
4.2. Ontwikkeling verstuiving	8
4.3. Zandtransportberekeningen	12
4.4. Vergelijking transportberekeningen en waarnemingen	14
4.5. Extrapolaties, verwachtingen en voorspellingen	16
5. Conclusies	17
5.1. Conclusies met betrekking tot methodiek/monitoring	17
5.2. Conclusies met betrekking tot beheer	18
5.3. Conclusies met betrekking tot ontwikkeling	19
6. Planning werkzaamheden 1998/1999	20
7. Aanbevelingen	20
7.1. Aanbevelingen met betrekking tot methodiek/monitoring	20
7.2. Aanbevelingen met betrekking tot beheer	21
8. Literatuur	22
Lijst met figuren	23
Lijst met tabellen	23
Bijlage 1. Fotografische impressies	
Bijlage 2. Maandelijkse zandrozen	

1. INLEIDING

In eerdere rapportages werd een beschrijving gegeven van de initiële ontwikkeling van het van Limburg Stirum gebied. Het betrof met name de veranderingen die op zijn getreden na introductie van een grootschalige verstuiving, waarbij aan de randen van de verstuiving de aanwezige vegetatie voor een groot deel overstoven werd. Het eerste rapport (Arens & Deiller, 1996) gaf een beschrijving van de ontwikkeling aan de oost-zijde. Het tweede rapport (Hoogteijling & Arens, 1997) beschreef de ontwikkeling aan de west-zijde en gaf tevens een kwantitatieve analyse van de verschillen in ontwikkeling tussen west- en oostzijde.

Dit rapport geeft een analyse van de ontwikkeling na 1996. Daarnaast zal aandacht besteed worden aan de totale ontwikkeling tussen 1995 en 1997 en de waargenomen trends in de ontwikkeling. Windgegevens zullen geanalyseerd worden om te onderzoeken of de wind tijdens de bestudeerde periode vergelijkbaar is met een gemiddeld jaar. Windgegevens zijn ook gebruikt voor transportberekeningen, om meer inzicht te verkrijgen in de intensiteit van het verstuivingsproces. Tot slot zal de gebruikte monitoringsmethodiek worden geëvalueerd en zullen aanbevelingen worden gedaan voor vervolgonderzoek.

2. METHODIEK

Door Arens & Deiller (1996) werd een uitgebreide beschrijving van de vraagstelling en aanpak van monitoring gegeven. In dit rapport zal voor wat betreft de methodiek globaal worden aangegeven welke methoden zijn gebruikt.

Voor deze rapportage is gebruik gemaakt van de volgende methoden:

- luchtfoto-interpretatie, luchtfoto's uit 1995, 1996 en 1997
- depositiemetingen 1995 en 1996
- windmetingen bij IJmuiden door Rijkswaterstaat over de periode maart 1995 tot november 1997.

De luchtfoto-interpretatie heeft betrekking op het gehele gebied. De windmetingen worden gebruikt voor schattingen van het zandtransport in het gehele gebied en in de proefgebieden.

2.1. sequentiële luchtfoto-analyse

In augustus 1997 zijn false-colour opnamen gemaakt. De luchtfoto's zijn beschikbaar bij Gemeentewaterleidingen Amsterdam. Met de luchtfoto's is een kaart van de depositiezone aan de rand van de verstuiving gemaakt volgens de legenda van Arens & Deiller (1996).

Tabel 2.1. Opnamedata en type van luchtfoto's

opnamedata	seizoen	type	schaal
29-06-1995	zomer	false colour	1:5000
14-04-1996	voorjaar	full colour	1:5000
07-08-1997	zomer	false colour	1:5000

Daarnaast is er een vergelijking gemaakt van vastgelegde grenzen uit eerdere luchtfoto-interpretaties. Hierbij is aandacht besteed aan de verschuiving van de grens begroeid-onbegroeid en aan de verschuiving van overstuivingszones. De tijdstippen waarop luchtfoto's zijn opgenomen zijn weergegeven in Tabel 2.1.

2.2. depositiemetingen

Vanwege de stabiliteit van het gebied voor de ingreep is vrijwel overal een duidelijk herkenbare bodem aanwezig, met tenminste een A-horizont die rijk is aan organisch materiaal. De grens tussen verse depositie en de overstoven A-horizont is zeer goed herkenbaar in een met behulp van een gutsboor gestoken profiel. Alleen aan de rand van de begroeide zone, waar vegetatie is verwijderd of waar materiaal is opgebracht, is het moeilijk onderscheid te maken tussen de depositielaag en de overstoven zone. Over het algemeen is in de niet begroeide zone echter sprake van deflatie. Het opmeten van de dikte van depositie geeft directe informatie over de totale overstuiving sinds de ingreep. In 1995 en 1996 zijn aan respectievelijk de oost- en de westzijde depositiemetingen uitgevoerd. In dit rapport worden deze metingen vergeleken met berekeningen van zandtransport.

2.3. windmetingen

Windmetingen van Rijkswaterstaat bij IJmuiden zijn vergeleken met langjarige windgegevens, om een indruk te krijgen van de representativiteit van de wind gedurende de studieperiode. Daarnaast zijn de windmetingen geanalyseerd om een indruk te krijgen van verschillen in potentiële transport tijdens verschillende perioden en de relatie tussen deze verschillen en geobserveerde ontwikkelingen. De windmetingen zijn afkomstig van de pier bij IJmuiden en betreffen 10-minuutgemiddelden. De waarnemingshoogte is 10 m. De langjarige windgegevens zijn afkomstig van het National Climatic Data Center & USA FETAC OL-A (1995).

Ten behoeve van een vergelijking zijn windrozen opgesteld. Daartoe zijn windsnelheden en windrichtingen geklassificeerd. Windrichtingen zijn opgedeeld in 16 klassen van ieder 22.5°. Klassen NNE en SSW zijn de windrichtingen die parallel aan de verstuiving lopen. De windsnelheden zijn opgedeeld in klassen van 5 m/s. De langjarige metingen zijn al in klassen weergegeven. De klassen van windrichtingen zijn dezelfde als hiervoor beschreven, de klassen van windsnelheden zijn iets anders, gebaseerd op windkracht volgens Beaufort. De bijbehorende windsnelheden zijn <5.7 m/s; 5.7 - 10.8 m/s; 11.3-17.0 m/s; 17.5-24.2 m/s en >24.7 m/s. De langjarige windmetingen betreffen overigens uur-gemiddelde waarnemingen.

2.4. berekeningen van zandtransport

Het potentiële zandtransport kan berekend worden met behulp van standaard transportformules. Deze geven over het algemeen een overschatting van het werkelijk transport. Om transportformules toe te kunnen passen moet de wrijvingsnelheid U_* bekend zijn. Deze is gecorreleerd aan de windsnelheid. Voor een homogeen, vlak en oneindig uitgestrekt oppervlak geldt het logaritmisch windprofiel. Dit beschrijft het verband tussen windsnelheid en wrijvingsnelheid. De wrijvingsnelheid is een maat voor de verandering van de windsnelheid met de hoogte. Het logaritmisch windprofiel wordt uitgedrukt in de volgende formule:

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

met U_z = windsnelheid op hoogte z (m/s)
 U_* = wrijvingsnelheid (m/s)
 z_0 = ruwheidslengte (m)
 κ = von Karman constante (-)

De wrijvingsnelheid kan bepaald worden door op een aantal hoogten de windsnelheid te meten. Voor een duinterrein geldt het logaritmisch windprofiel slechts zelden. Ten gevolge van ruwheidsovergangen en aanwezigheid van topografie wordt het verband tussen windsnelheid en hoogte verstoord. Voor goede transportberekeningen zou het windprofiel op verschillende plaatsen in het terrein bepaald moeten worden. Aangezien dit niet mogelijk is moet een simplificatie toegepast worden. De wrijvingsnelheid wordt bepaald uit de door Rijkswaterstaat gemeten windsnelheid bij IJmuiden en een vaste ruwheidslengte. De volgende formule wordt gebruikt:

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

met $z_0 = 0.0001$ m
 $\kappa = 0.41$
 $z = 10$ m

De wrijvingsnelheid die hier berekend wordt is in feite die ter plaatse van de windmetingen. Daarom wordt ook een ruwheidslengte gebruikt die geldt voor open water. (Op een hoogte van 10 m op de pier wordt eigenlijk de wind gemeten die nog in evenwicht is met het zeeoppervlak.) Nadrukkelijk wordt hier gesteld dat de op deze wijze berekende wrijvingsnelheid een benadering is. Lokaal kan de werkelijke wrijvingsnelheid sterk afwijken.

Met de berekende wrijvingsnelheid kan het potentiële zandtransport volgens Kawamura (1951) worden berekend met:

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

met

$U_{*t} = 0.25$ (m/s) kritische wrijvingsnelheid
 $C_K = 2.61$ (-) Kawamura's constante (2.78)
 $\rho = 1.22$ (kg/m³) luchtdichtheid
 $g = 9.81$ (m/s²) gravitatie constant

en omgerekend naar volumes

$$Q = q * 3600 / \sigma_{\text{kwarts}} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-1})$$

De gebruikte waarde voor de kritische wrijvingsnelheid is gebaseerd op een schatting tijdens observaties in het van Limburg Stirum kanaal. De waarde komt overeen met een windsnelheid

van circa 7.5 m/s op 5 m hoogte en is hoger dan de kritische wrijvingsnelheid voor een gemiddeld strand. Er is geen rekening gehouden met de ruimtelijke en temporele variatie in de kritische wrijvingsnelheid. Deze zal aanzienlijk zijn.

Voor de berekening van het zandtransport zijn niet de 10-minuutwaarden gebruikt maar de maandelijkse frekwentietabellen. Dat betekent een grovere benadering, omdat per windsnelheidsklasse (en windrichtingsklasse) een gemiddelde windsnelheid (en windrichting) is gebruikt. Voor één maand (maart 1995) is een vergelijking gemaakt van de verschillen in berekend transport die beide methoden opleveren. Het resultaat was dat het totale bruto transport berekend met de 10-minuut waarden 39.4 m³ bedroeg, terwijl het transport berekend met de frekwentietabel 40.8 m³ bedroeg. Voor een gedetailleerde vergelijking wordt verwezen naar Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Een vergelijking van het maandelijkse zandtransport berekend met 10-minuutwaarden en berekend met een maandelijkse frekwentietabel.

windrichting	met frekwentietabel		met 10 minuutwaarden	
	bruto transport	netto transport (m ³ m ⁻¹)	bruto transport (m ³ m ⁻¹)	netto transport (m ³ m ⁻¹)
N	1.92	0.74	1.92	0.80
NNE	0.10	0	0.12	0.02
NE	0	0	0	0
ENE	0	0	0	0
E	0	0	0.02	-0.01
ESE	0	0	0.02	-0.02
SE	0.03	-0.03	0.11	-0.09
SSE	0.84	-0.59	0.75	-0.48
S	1.18	-0.45	1.30	-0.32
SSW	6.09	0	5.87	0.97
SW	5.74	2.20	5.29	1.76
WSW	11.28	7.98	10.64	6.18
W	6.29	5.81	6.13	5.23
WNW	2.53	2.53	2.63	2.59
NW	2.26	2.09	2.16	1.96
NNW	2.54	1.80	2.41	1.91
TOTAAL	40.83		39.44	
WEST		23.14		21.42
OOST		-1.08		-0.89

Als gezegd geeft het berekende transport een overschatting. Ten gevolge van neerslag, vochtinvloeden, de aanwezigheid van vegetatie, sedimenteigenschappen, oneffenheden aan het oppervlak etc. wordt het zandtransport beperkt. De ervaring leert dat over langere perioden bekeken het werkelijke transport circa 5-10% van het potentiële transport bedraagt (referenties, o.a. Baas (1994) voor Ameland, Arens (1997) voor Schier, Arens, Baas & van Boxel (1997) voor 's-Gravenzande). Daarnaast is er een overschatting vanwege het feit dat de

metingen bij IJmuiden op de pier plaatsvinden. De wind is hier ongestoord en vertegenwoordigd in feite de windsnelheid boven zee, de windsnelheid in de duinen, circa 500-1000 meter van het strand zal aanmerkelijk lager zijn.

De oriëntatie van de verstuiving is NNO-ZZW. Dit betekent dat voor de oostelijke zijde alleen windrichtingen van ZW tot N een bijdrage leveren, voor de westelijke zijde alleen NO tot Z. ZZW en NNO zijn parallel en veroorzaken dus alleen langtransport. Voor de berekening van het transport wordt aangenomen dat er geen verschillen tussen de gebieden zijn. Dit is niet helemaal juist. Lokaal zullen deelgebieden een afwijkende expositie hebben. Verder is aangenomen dat de strijklengte onbeperkt is, en wordt de topografie verwaarloosd. Tenslotte wordt ook de aanname gedaan dat de windrichting bij IJmuiden ongeveer hetzelfde is als in het van Limburg Stirumgebied. Het uiteindelijke netto transport vanuit alle verschillende richtingen wordt nu bepaald door:

transport per windsector * cosinus[windrichting]

Door voor de oost- en de westzijde alle relevante richtingen op te tellen wordt het totale transport per zijde berekend. Per zijde wordt een totaal berekend, per deelgebied worden geen afzonderlijke berekeningen uitgevoerd.

Nogmaals wordt hier benadrukt dat het berekende transport een overschatting is. De waarde van de berekeningen moet in dit licht gezien worden. Het is zinvol het berekende transport als een relatieve maat te zien, d.w.z. de berekeningen kunnen gebruikt worden voor een vergelijking van de transportintensiteit tijdens verschillende tijdsperioden, voor een vergelijking van transport aan de west- en oostzijde en voor het bepalen van een globale transportrichting tijdens verschillende perioden.

Voor een vergelijking met het waargenomen zandtransport (bepaald uit de ontwikkeling van de verstuiving) zijn verschillende perioden onderscheiden.

Voor de luchtfoto's zijn deze perioden:

- maart tot juli 1995
- juli 1995 tot april 1996
- april 1996 tot juli 1997

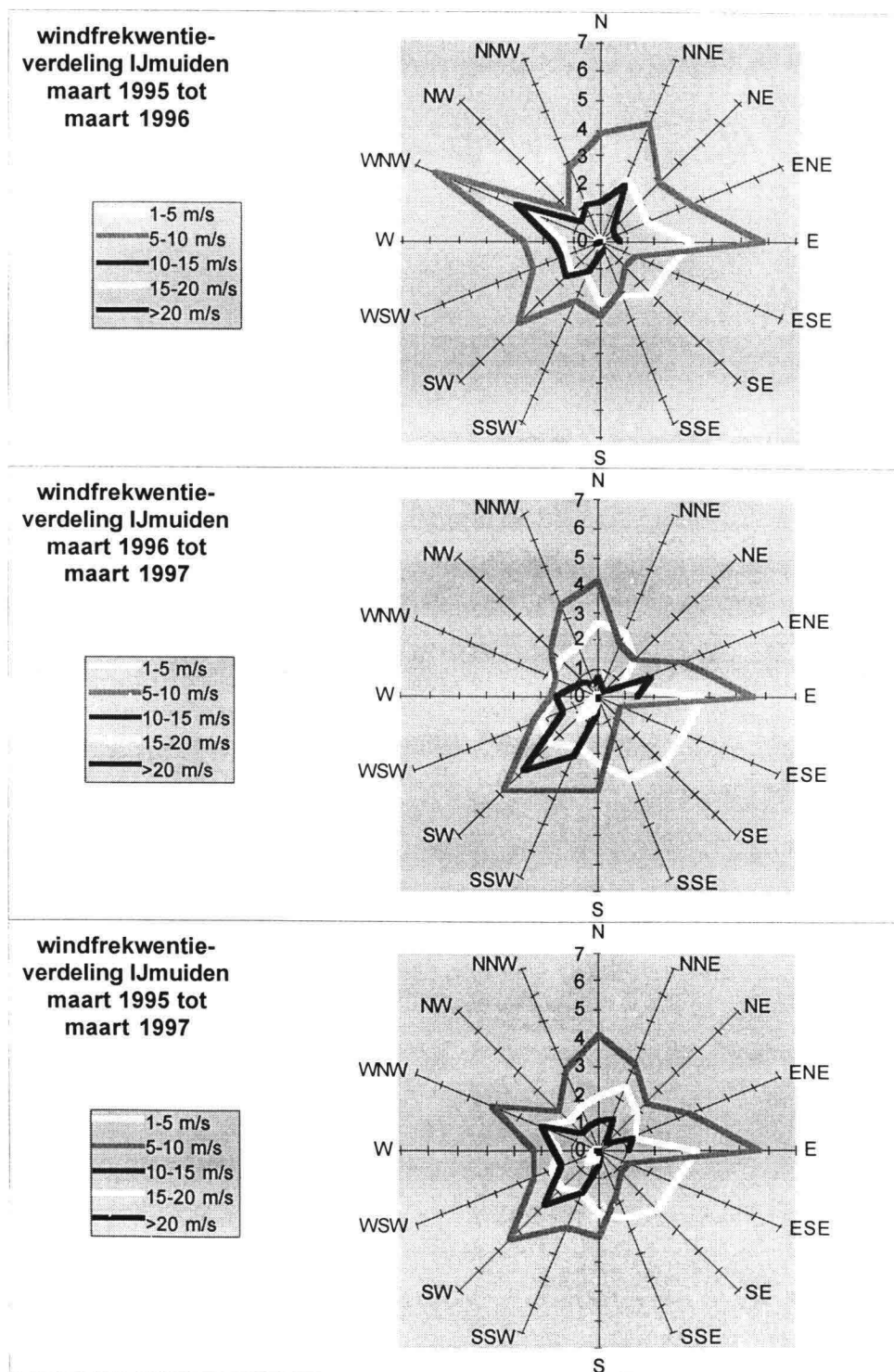
Voor de depositiemetingen zijn deze perioden:

- maart tot december 1995 voor deelgebieden oost 1, 2, 4
- maart 1995 tot september 1996 voor deelgebieden west 1 en 2
- maart 1995 tot november 1996 voor deelgebieden west 3
- maart 1995 tot december 1996 voor deelgebieden west 4

3. GEBIEDSBESCHRIJVING

Voor een algemene beschrijving van het gebied en een gedetailleerde beschrijving van de deelgebieden wordt verwezen naar Arens & Deiller (1996) en Hoogteijling & Arens (1997).

Voor een overzicht van de ligging van de deelgebieden wordt verwezen naar Figuur 3.1 in Hoogteijling & Arens (1997).



Figuur 4.1.a. Windrozen voor IJmuiden, 1995-1997.

4. RESULTATEN

4.1. windgegevens

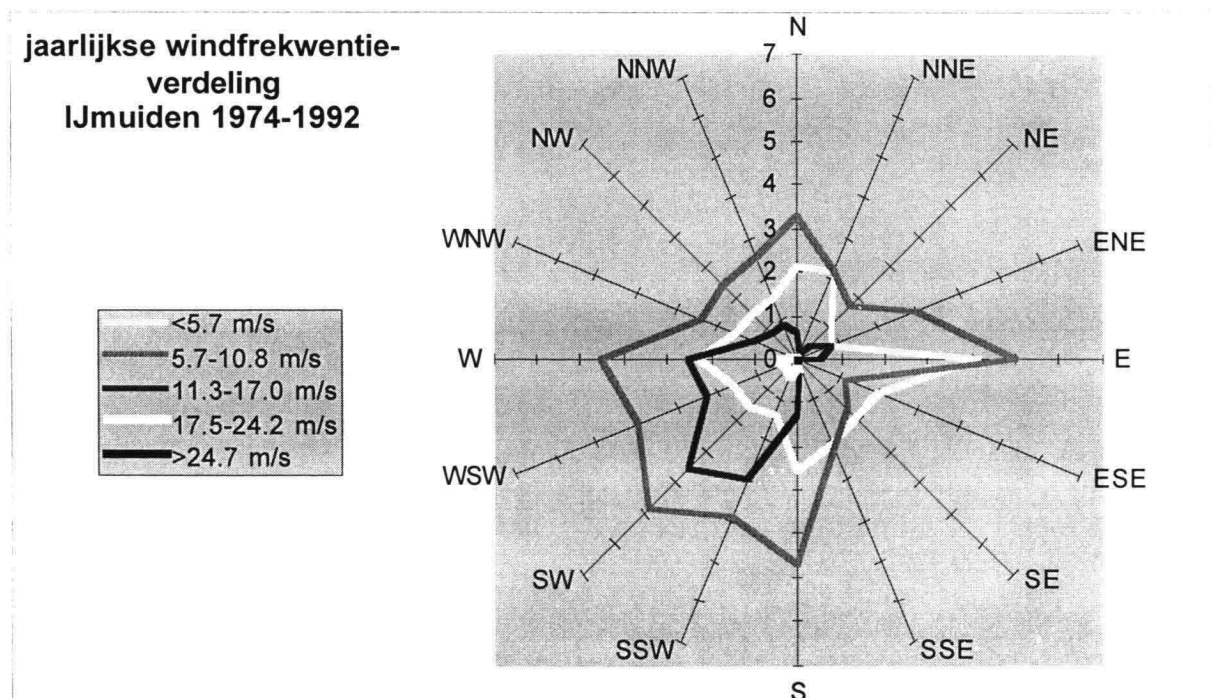
Hoe verhoudt zich de wind in de bestudeerde periode tot een gemiddeld jaar? Voor de bestudeerde periode zijn windgegevens van maart 1995 tot maart 1997 bestudeerd (van maart tot maart om met hele jaren te werken). Deze zijn vergeleken met langjarige windgegevens over de periode 1973-1992.

De windsnelheid is in de periode 1995-1997 iets lager, het aandeel winden beneden de drempelwaarde voor zandtransport is circa 3-4 % hoger, alle overige zijn in de orde 1-2% lager. Figuur 4.1 geeft de windrozen voor de verschillende perioden.

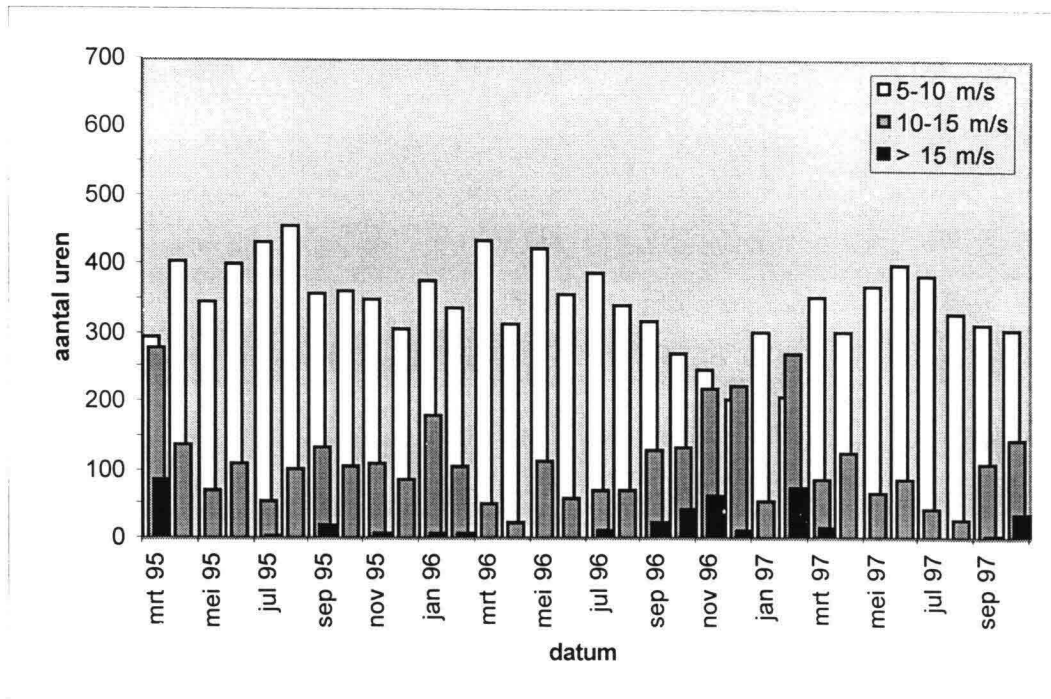
In de periode 1995-1997 is de N en O component in de wind iets belangrijker en Z en W component iets minder. Het totaal aan N-winden in 95-97 is 5% meer, het totaal aan O-winden is 9% meer, het totaal aan W-winden is 8% minder, het totaal aan S-winden is 3% minder. Met name winden tussen zuid en west zijn dus minder belangrijk dan gemiddeld (ongeveer 9%). Een en ander blijkt ook uit Figuur 4.1.

Als 1995-1996 vergeleken wordt met 1996-1997 dan valt op dat in de periode 1995-1996 het aandeel van zuidelijke winden geringer is dan in de periode 1996-1997 (Figuur 4.1a). In 1995-1996 zijn er pieken bij WNW, NNO en O-wind, in 1996-1997 zijn er pieken bij ZZW-ZW en O-NO-wind. Voor wat betreft de windrichting is er dus een belangrijk verschil tussen de twee jaren.

Binnen de periode 1995-1997 is er een grote variatie in maanden met veel en maanden met weinig wind. Maanden met veel wind zijn: maart 1995, september 95, januari 96, september t/m december 96, februari 97 en oktober 97. In totaal zijn dit 9 maanden van de 32. In Figuur



Figuur 4.1.b. Windroos voor IJmuiden, 1974-1992.



Figuur 4.2. Aantal uren per windklasse voor de periode maart 1995 t/m oktober 1997.

4.2 zijn het aantal uren met een bepaalde windklasse uitgezet voor de gehele periode.

4.2. ontwikkeling verstuiving

samenvatting van de periode maart tot juli 1995 (Arens & Deiller)

De depositie in het gebied was vrijwel beperkt tot de oostrand, ten gevolge van wind uit westelijke (noord- tot zuidwestelijke) richting. De ontwikkeling aan de westzijde was nog verwaarloosbaar. De depositie was beperkt tot een vrij smalle zone van een tiental meters breed. Het centrale deel is erosief. Wel is het mogelijk dat hier laagtes dichtstuiven. In het centrale deel is verder geen sprake van duinvorming, alle duinvorming is gebonden aan het voorkomen van vegetatie en beperkt zich dus tot de randen.

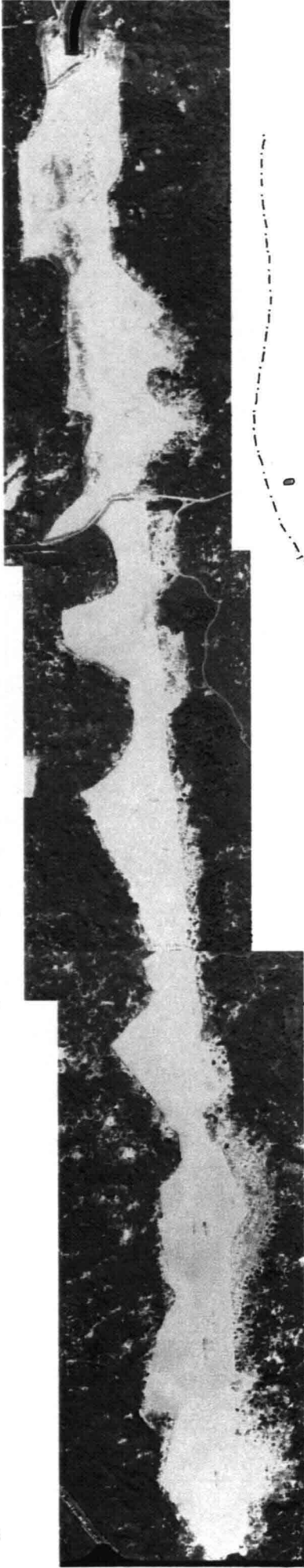
samenvatting van de periode 1995-1996 (Hoogteijling & Arens)

Na een winter met krachtige oostenwind is ook de westzijde aan aanzienlijke depositie onderhevig geweest. De hoeveelheden zijn echter geringer dan aan de oostzijde. De depositiezones zelf zijn van geringere omvang, de uitgestrektheid ervan is erg variabel. Aan de westzijde zijn geen strooizones waargenomen, wat mogelijk samenhangt met minder extreme windsnelheden bij oostenwind. De herstelde duinruggen in het centrale deel zijn sterk erosief. Aan de flanken is een uitgestrekte depositiezone aan de oostzijde ontstaan.

analyse van de periode 1996-1997

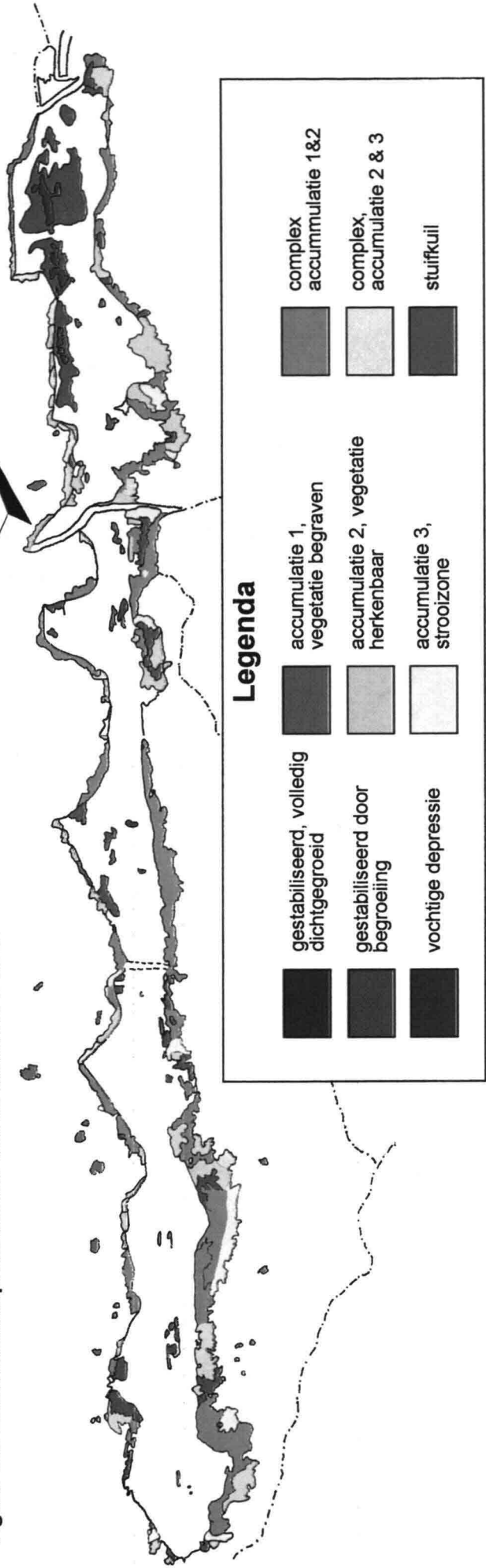
De luchtfotointerpretatie van de foto's van 1997 is weergegeven in Figuur 4.3. Aan de oostzijde heeft de verstuiving zich uitgebreid. Over het algemeen is de uitbreiding beperkt tot

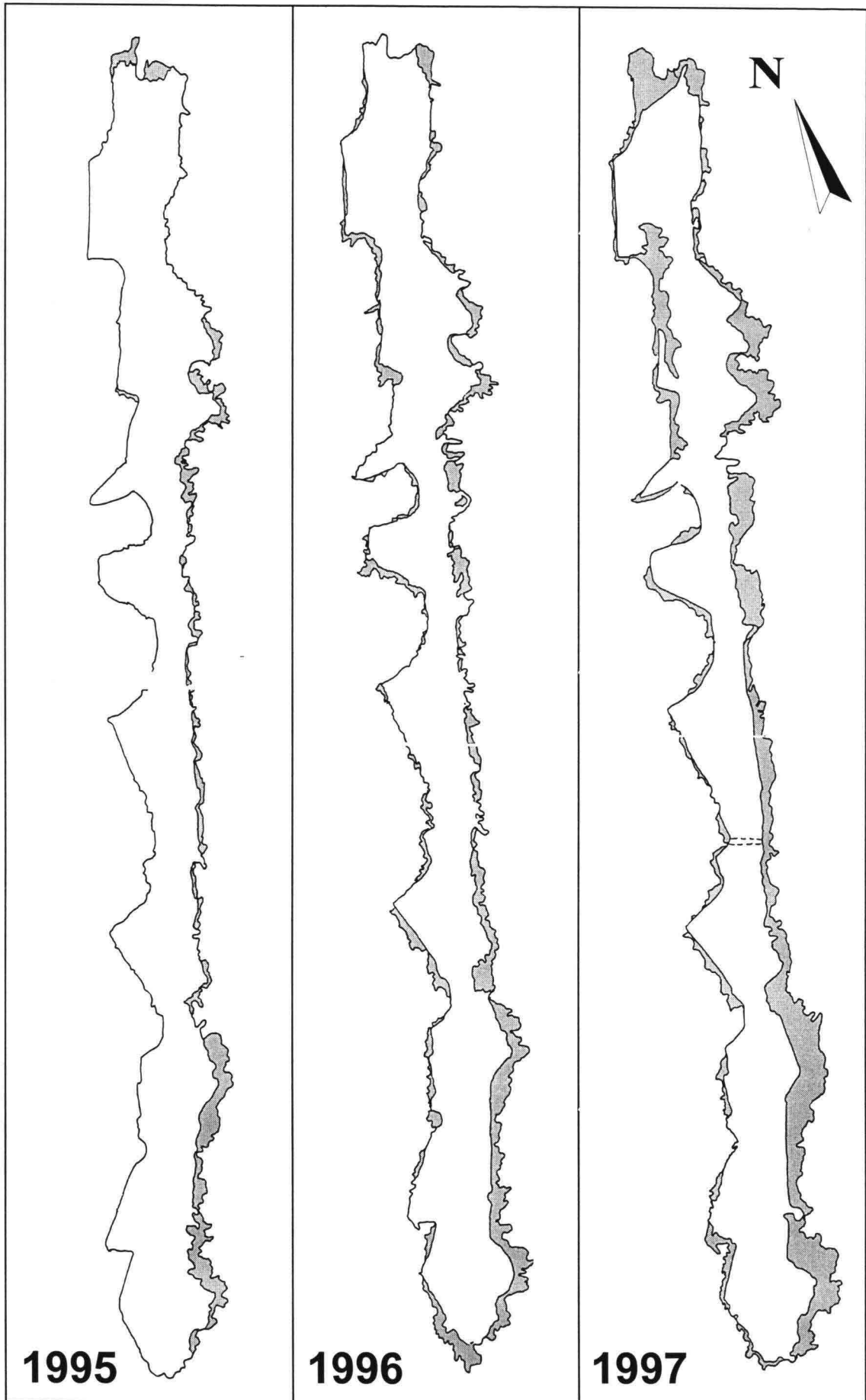
Figuur 3.a. False colour luchtfoto's van het van Limburg Stirum gebied. Opname datum 07-08-1997.



N

Figuur 3.b. Luchtfotointerpretatiekaart van de luchtfoto's 1997.





Figuur 4.4. Grenzen van begroeid-onbegroeid en overstoven - niet overstoven

een tiental meters, lokaal is de uitbreiding echter groter, tot circa 50 m. Dit betreft dan een uitbreiding van de overstuivingszone, waarbij de vegetatie nog steeds herkenbaar is. De grootste uitbreidingen bevinden zich, zoals te verwachten was, aan de oostzijde, vaak aan de noordoostzijde van vormen. Het lijkt dat deze ontwikkeling het gevolg is van zuidwestelijke wind. Uitbreidingen van grotere duinvormen, waarbij een storthelling de vegetatie begraaft, zijn slechts gering en beperken zich tot een aantal meters (zie bijvoorbeeld Foto 8 in Bijlage 1). De verplaatsing hiervan is op de schaal van de bestudeerde foto's (1:5000) nauwelijks te meten. Aan de westzijde zijn weinig veranderingen waarneembaar. De verstuiwing lijkt zich hier niet noemenswaardig uitgebreid te hebben.

Opvallend is dat in bijna het gehele gebied de oude grens van de begroeiing weer duidelijk zichtbaar is. De begraven begroeiing is blijkbaar voor een groot deel door de overstuiving heen gegroeid (vergelijk Foto's 5 en 6). Hierdoor is de grens onbegroeid/begroeid ten opzichte van 1996 in de richting van de verstuiwing verplaatst. In vergelijking tot 1996 zijn aan de oostkant minder plekken waar de vegetatie volledig is begraven. Blijkbaar is ook hier de vegetatie door de overstuiving heen gegroeid. Tot nu toe is er slechts op een beperkt aantal plaatsen sprake van een vegetatie-waartse verschuiving ten gevolge van erosie van de grens begroeid/onbegroeid. Er is wel een forse uitbreiding van het overstoven areaal, maar voor een groot deel is hierin de vegetatie nog herkenbaar, dus niet volledig begraven.

In het noorden is het meest opvallende verschijnsel dat de afgeplagde duindoorn in het centrale deel door het uitlopen van de wortelstokken grotendeels het oppervlak heeft bedekt en gestabiliseerd.

In het midden en zuidelijk deel is een deel van de oevervegetatie "teruggekeerd". Hier ontstaan lijnvormige duinen in riet, op de plaats waar voor invulling van het kanaal de oevers lagen. Merkwaardig genoeg blijkt het riet hier goed bestand tegen instuiving.

In Figuur 4.4 zijn de grens begroeid / onbegroeid (lijn grenzend aan de centrale verstuiwing) en de grens overstoven / niet overstoven aangegeven. Deze figuur toont opnieuw hoezeer het overstoven areaal is toegenomen. Helaas is het niet goed mogelijk de verschillende kaarten over elkaar te leggen, omdat gewerkt is met niet gecorrigeerde luchtfoto's.

veldwaarnemingen

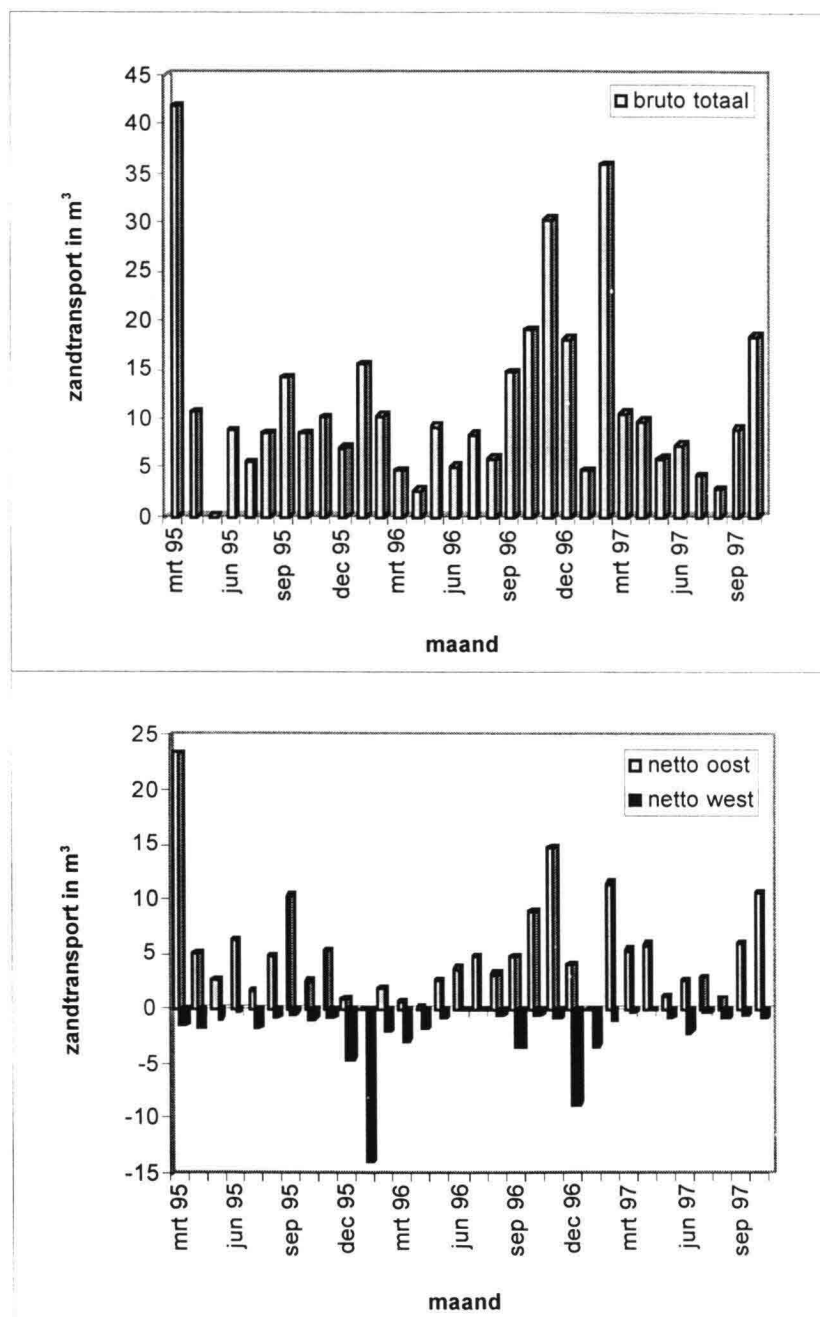
In het veld lijkt de ontwikkeling spectaculairder te verlopen dan op de luchtfoto's. Reden is de schaal van de ontwikkeling. Op sommige lokaties zijn loopduinachtige vormen ontstaan (Foto 8), met storthellingen van een aantal meters hoog, die echter een dermate geringe verplaatsing hebben dat deze op de luchtfoto's nauwelijks waarneembaar is. De vormen zelf zijn bovendien ook nauwelijks als afzonderlijke vormen te onderscheiden.

Aan sporen in het terrein is af te leiden dat watererosie nog steeds een bescheiden rol speelt (Foto's 9 t/m 16). Wellicht het belangrijkste gevolg is het stromen van water naar laaggelegen delen waardoor hier organisch materiaal wordt afgezet (Foto's 10 t/m 13). Dit zal een later uitstuiven van laagtes belemmeren. Vooral nog is uitstuiven van laagtes echter niet aan de orde. Omdat lager gelegen delen omringd zijn door kaal oppervlak vindt tot nu toe vooral transport van zand naar de laagtes toe. Door een verhoging van de grondwaterstand kunnen deze laagtes

vochtiger worden. Het dan ontstane vochtige oppervlak fungeert dan als transportoppervlak; stuivend zand zal door de laagtes heenstuiven. Inmiddels (voorjaar 1998) blijkt bij een aantal van deze laagtes het vochtgehalte aan het oppervlak inderdaad te zijn toegenomen. Een en ander wordt geïllustreerd door Foto's 3 en 4.

4.3. zandtransportberekeningen

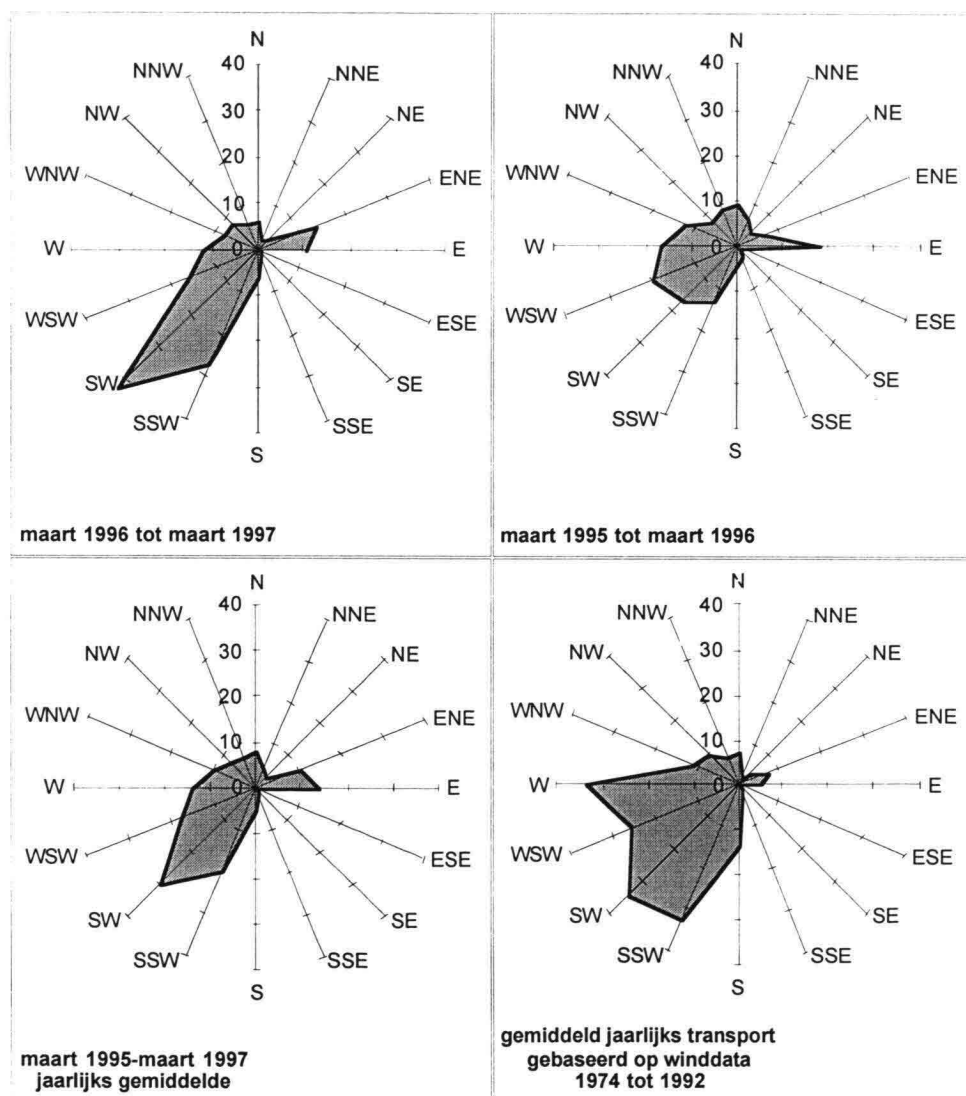
Het totale berekende transport wordt flink overschat. Maandelijks waarden variëren van 0 tot 40 m³/m bruto transport en 0 tot 23 m³/m netto transport (rekening gehouden met windrichting). Ter vergelijking: een sterk aangroeiende zeereep kent maxima van ongeveer 25 m³/m per jaar.



Figuur 4.5. Maandelijks potentiële zandtransport, berekend met de windfrequentieverdeling voor IJmuiden

In Figuur 4.5 zijn de berekeningen van het transport per maand uitgezet. Gezien de overschatting van het transport moet niet zozeer naar de absolute waarden worden gekeken. Zinnig is om een vergelijking te maken tussen de verschillende maanden en wat het aandeel per maand in de totale verstuiving is. Figuur 4.5 laat duidelijk zien hoezeer het zandtransport gebonden is aan events. Aan de westkant is een beperkt aantal maanden verantwoordelijk voor de verstuiving: dec 95 en jan 96, dec 96 en jan 97, waarbij jan 96 (24%) en dec 96 (15%) bijna de helft voor hun rekening nemen. Aan de oostkant is maart 95 een uitschieter (14%). Overige maanden met een belangrijk aandeel zijn nov 96 (9%), feb 97 (7%) en okt 97 (7%)

Voor de bestudeerde periode en voor de langjarige windmetingen zijn zandrozen opgesteld, die weergegeven zijn in Figuur 4.6. Voor een gemiddeld jaar, gebaseerd op langjarige windmetingen voor IJmuiden (bron NCDC & USA FETAC OL-A, 1995) is het totale potentiële transport meer dan 200 m³/m. Dit is meer dan het transport in de jaren 1995-1997, hetgeen gezien de lagere windsnelheden in de bestudeerde periodes te verwachten was. Opvallend is dat de



Figuur 4.6. Zandrozen voor de periode van monitoring en voor een gemiddelde wind, gebaseerd op berekend potentiële transport.

transport richting in het eerste jaar (1995-1996) nogal verschilt van dat in het tweede jaar (1996-1997). Het gemiddelde van de twee jaren komt redelijk overeen met het patroon voor het langjarig gemiddelde. Opvallend is echter dat de west-component in de bestudeerde periode veel minder belangrijk is dan bij het langjarig gemiddelde. Dit zou betekenen dat bij een gemiddeld jaar de uitbreiding van de verstuiwing aan de oostzijde, dus met westenwind, groter zou kunnen zijn dan nu is waargenomen.

4.4. vergelijking transportberekeningen en waarnemingen

Uit de luchtfoto's bleek duidelijk het verschil in overstuiving tussen de west- en oostzijde van de verstuiwing. Dit is in overeenstemming met berekeningen van het zandtransport. De berekeningen kunnen meer inzicht verschaffen in kwantitatieve verschillen tussen de oost- en de westzijde. Het potentiële transport voor de westzijde is veel lager dan voor de oostzijde (Tabel 4.1). Wel blijkt dat in de periode juli 1995 tot april 1996 het transport aan oost- en westzijde vergelijkbaar is. Dit hangt samen met de langdurige oostenwind in januari 1996.

Tabel 4.1. Totale berekende volumetoename voor de west- en oostzijde, voor de periodes tussen opeenvolgende luchtfotoseries.

periode	oost	cumulatief	west	cumulatief
maart tot juli 1995	37.5 m ³	-	3.6 m ³	-
juli 1995 tot april 1996	28.6 m ³	66.1 m ³	27.4 m ³	31.0 m ³
april 1996 tot juli 1997	74.6 m ³	140.7 m ³	23.5 m ³	54.5 m ³

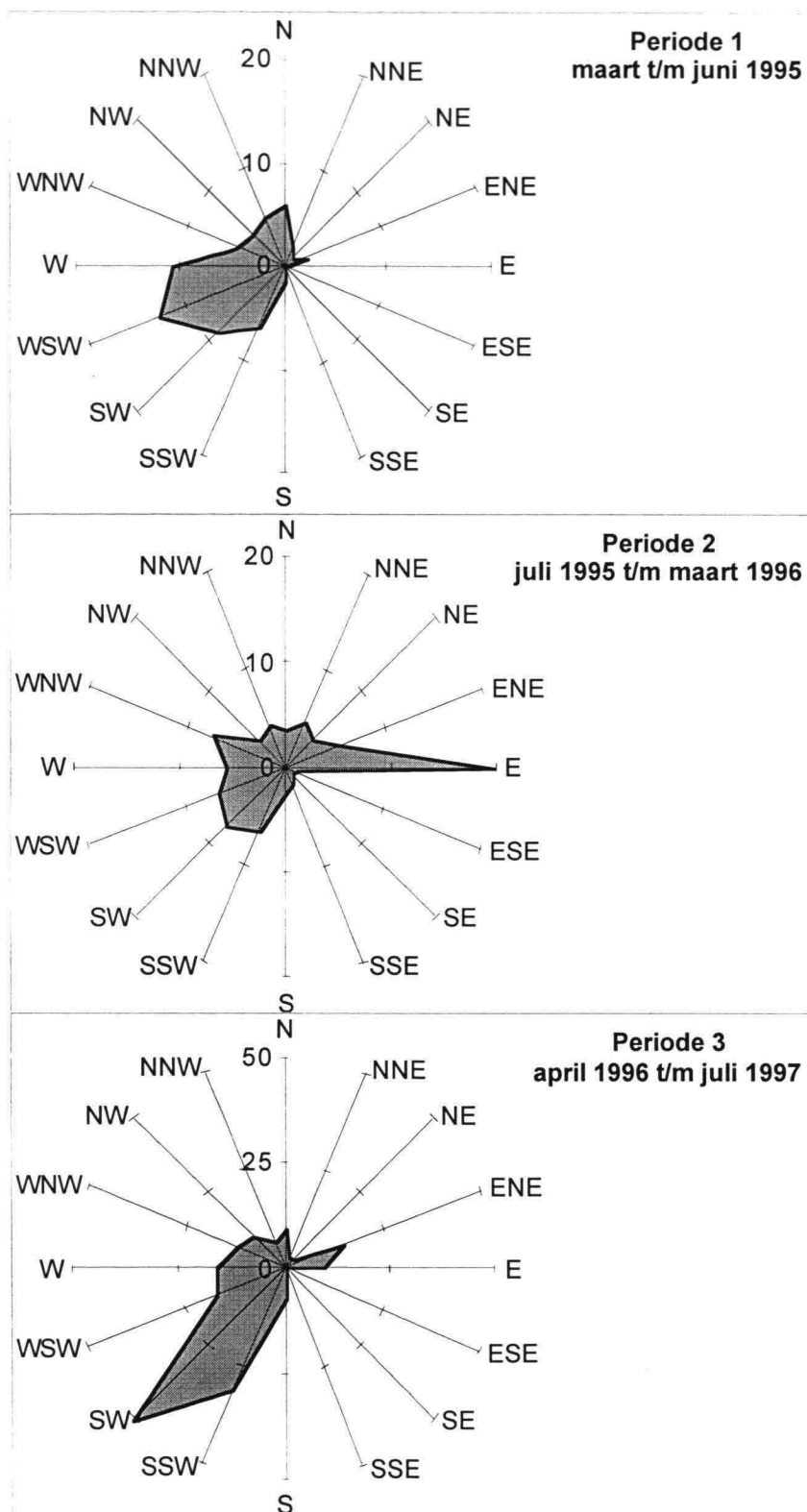
periodes van luchtfotointerpretatie

Figuur 4.7 toont de zandrozen voor de periodes waarover de luchtfotointerpretatie is uitgevoerd. De resultaten zijn in overeenstemming met de conclusies uit de luchtfoto-interpretatie. Tussen maart en juni 1995 vindt vooral zandtransport plaats in oostelijke richting; tussen juli 1995 en maart 1996 vindt er transport plaats van west naar oost en van oost naar west; tussen april 1996 en juli 1997 vindt er voornamelijk transport plaats van zuidwest naar noordoost. Dit correspondeert met de conclusie uit de luchtfotointerpretatie dat in 1997 de uitbreiding van de verstuiwing met name in noordoostelijke richting was, en veroorzaakt zou zijn door zuidwesten wind.

periodes van depositiemetingen

In Tabel 4.2 wordt een vergelijking gemaakt tussen het gemeten en het berekende transport. Het berekende transport is voor alle deelgebieden gelijk, omdat geen rekening wordt gehouden met verschillen in strijklengte, oriëntatie en beschikbaarheid van zand. Het gemeten transport bedraagt tussen de 5 en 12 % van het berekende transport (Tabel 4.2). Opvallend is dat het percentage voor de westkant geringer is dan voor de oostkant. Verwacht werd dat het percentage aan de westkant juist hoger zou zijn, omdat de omstandigheden tijdens oostenwind gunstiger zijn voor verstuiwing (over het algemeen geen neerslag, droge lucht, lage vochtigheid). Een mogelijke verklaring is dat het oppervlak in het centrale deel van de verstuiwing door uitstuiving tussen maart 1995 en januari 1996 deels bedekt is met "desert pavement" in de vorm van wortelresten, schelpen e.d. De beschikbaarheid van verstuiwbaar zand is dan sterk

afgenomen. Deze conclusie zou zijn te onderbouwen door te vergelijken met volumeveranderingen tussen november 1995 en november 1996. Helaas zijn deze gegevens nog steeds niet beschikbaar.



Figuur 4.7. Zandrozen over de periodes tussen opeenvolgende luchtfotoseries, gebaseerd op berekend potentiëel transport.

Tabel 4.2. Berekende volumetoenames vergeleken met aan de hand van depositiemetingen bepaalde volumetoenames.

gebied	periode	gemeten transport * m ³		berekend transport m ³	% gemeten t.o.v. berekend
		maximum	gemiddelde		
1 oost	maart-nov 95	9.7	4.9	57.0	8.6
2 oost	maart-nov 95	14.1	7.0	57.0	12.3
3 oost		-	-		
4 oost	mei-nov 95	6.2	3.4	28.6	11.9
1 west	maart 95-aug 96	7.6	3.2	33.9	9.4
2 west	maart 95-sept 96	3.9	2.3	37.5	6.1
3 west	maart 95-nov 96	4.0	2.0	38.0	5.3
4 west	mei 95-dec 96	4.8	2.9	40.0	7.3

* gegevens uit Hoogteijling en Arens (1997). Het gemeten transport is gebaseerd op de gemeten depositiediktes.

4.5. extrapolaties, verwachtingen en voorspellingen

Aan de hand van de verschillen tussen oost en west is het te verwachten dat de grootste ontwikkelingen zich aan de oostkant zullen blijven voordoen. Een grootschalige ontwikkeling zal zich zeker beperken tot de oostzijde. Mogelijk is de ontwikkeling nu minder grootschalig geweest dan tijdens een gemiddeld jaar, omdat de wind in de periode minder krachtig was dan tijdens een gemiddeld jaar. Indien er een jaar volgt met meer wind dan gemiddeld, dan zou de verstuiving zich sneller kunnen uitbreiden dan nu het geval is.

De beschikbaarheid van zand is het grootste probleem vanuit het gezichtspunt van de verstuiving. Vanuit de centra zal geleidelijk aan minder zand aangevoerd worden. Deflatie tot op het grondwater is voorlopig niet op grote schaal te verwachten. Laagtes stuiven nu vol en worden ook tijdens oppervlakkige afstroming gevuld met organische stof, waardoor uitstuiving in een latere fase wordt bemoeilijkt.

De grootschalige vormen die nu in beweging zijn verplaatsen zich enkele meters per jaar. Op lufo's is dit een zeer kleine verschuiving, soms in de orde van een lijndikte (op schaal 1:5000 is 1 mm 5 m). De verwachting is dat deze vormen voorlopig actief blijven. Overstoven delen zullen echter geleidelijk aan weer dicht gaan groeien, omdat de mate van overstuiving in het grootste deel van het gebied zodanig is, dat de groei van de vegetatie de bedekking bij kan houden.

5. CONCLUSIES

De conclusies hebben betrekking op de methodiek van monitoring zelf en op de resultaten van de monitoring. Voor wat betreft de resultaten van monitoring kan een onderscheid worden gemaakt tussen conclusies met betrekking tot beheersvragen en conclusies met betrekking tot wetenschappelijke vragen. Hierbij worden de vragen gehanteerd zoals deze door Arens & Deiller (1996) werden gedefinieerd.

5.1. conclusies met betrekking tot methodiek / monitoring

De monitoring heeft drie jaar plaatsgevonden. Gezien de ontwikkeling in deze drie jaren is de intensiteit van monitoring te rechtvaardigen. De verwachting is dat de gesignaleerde ontwikkeling de komende jaren continueert. Idealiter zou de jaarlijkse monitoring nog een aantal jaren voortgezet moeten worden, waarna overgeschakeld zou kunnen worden naar een monitoring over 3-5 jaarlijkse perioden. Vooralsnog zijn hier echter geen concrete plannen voor. De volgende luchtfoto's zullen waarschijnlijk pas in 2000 worden gevlogen en daarna 5-jaarlijks.

luchtfoto's

De luchtfoto's zijn een onmisbaar hulpmiddel bij het vastleggen van grootschalige veranderingen. Bij een schaal 1:5000 zijn de meeste ontwikkelingen goed vast te leggen. Kleinere ontwikkelingen, zoals de verplaatsing van storthellingen zijn echter niet op deze schaal te bepalen. Voor een meer kwantitatieve analyse van de interpretatiekaarten, zouden luchtfoto's en kaarten gecorrigeerd moeten worden.

Luchtfoto's kunnen ook op een later tijdstip hun nut bewijzen. Zo zal het in de toekomst steeds makkelijker worden om uit luchtfoto's Digitale Terrein Modellen te meten. Mogelijk zou dit voor een deelgebied uitgetoet kunnen worden. De informatie die hieruit komt kan gebruikt worden om een zandbalans op te stellen voor het gehele gebied en om uitspraken te doen over verschillen in transport tussen deelgebieden.

GPS-metingen

GPS-metingen kunnen een waardevolle aanvulling op de luchtfoto's betekenen doordat kwantitatieve informatie wordt toegevoegd. Helaas is de methode van GPS zoals voor dit onderzoek werd toegepast niet haalbaar gebleken, omdat deze te arbeidsintensief was. In een eerdere rapportage (Hoogteijling & Arens, 1997) is hier uitgebreid op in gegaan.

depositiemetingen

In een gebied waar een stabiel oppervlak geleidelijk aan wordt overstoven zijn depositiemetingen een simpel en doeltreffend middel om de mate van verstuiving vast te stellen. Met name voor het bepalen van een initiële ontwikkeling is de methode goed bruikbaar. Later in de ontwikkeling wordt de methode moeilijker toepasbaar. Bijvoorbeeld de overstuiving in het tweede jaar kan alleen indirect bepaald worden, door de overstuiving in het eerste jaar van de totale overstuiving af te trekken. De totale overstuiving zal steeds moeilijker te bepalen zijn, vanwege de toenemende dikte.

5.2. conclusies met betrekking tot beheer

vragen vanuit het (natuur)beheer

A1 blijft de situatie beheersbaar / controleerbaar

- Tot nu toe is de situatie volledig beheersbaar, kleine gebieden worden actiever, delen stabiliseren, de variatie in het gebied neemt verder toe. Slechts op een beperkt aantal plaatsen is de overstuiving zo sterk dat de begroeiing afsterft. Lokaal is een pad overstoven geraakt.

A2 wat is het effect op de vegetatie

- Zeer sterke overstuiving doet struwelen deels verdwijnen. Waarschijnlijk groeien deze toch voor een deel weer door de overstuiving heen (Foto's 5 en 6). In het gehele gebied zijn plekken waar helm zich zeer vitaal gevestigd heeft. Er zijn delen waar wortelstokken van duindoorns (achtergebleven na afplaggen) zijn uitgelopen, waardoor die delen gestabiliseerd zijn.
- Op veel plaatsen zijn afwijkende ontwikkelingen in de vegetatie waarneembaar ten gevolge van de nutriëntrijkheid van het vergraven "moedermateriaal". Op die plaatsen zijn soorten opgekomen die indicatief zijn voor verstoring (zie bijvoorbeeld Foto's 1 en 2). Ook zijn er delen van de voormalige oever waarop weer riet is opgekomen. Deze fungeren nu als zandvangster waardoor rechtlijnige duinstructuren op de voormalige oever ontstaan. Het laatste jaar zijn met name in het centrale deel van de overstuiving nieuwe soorten opgekomen. De ontwikkeling op de overstoven delen lijkt zich natuurlijker te voltrekken.
- Op plaatsen waar mos is overstoven is het mos vervangen door gras. Op een aantal plaatsen met overstuiving zijn kalkminners gesignaleerd.

A3 zijn de uitgevoerde ingrepen voldoende om de nu rechtlijnige structuur over te laten gaan in een grillige structuur, zodat het voormalige kanaal op termijn volledig in het duinlandschap zal worden opgenomen

- Er is meer variatie in de topografie ontstaan. Er zijn delen waar de dynamiek zich oostwaarts verschuift. Ook omdat er delen zijn die stabiliseren ontstaat er geleidelijk aan een meer versnipperd patroon. De ontwikkeling aan de westkant lijkt te stagneren. Hier zal vooral door het weer begroeid raken van een deel van het oppervlak de rechtlijnige structuur verdwijnen. Toppen met helm lijken in hoogte toe te nemen. Ook dergelijke toppen dragen bij aan de toenemende versnippering. Foto 7 toont een voorbeeld van zo een top .

A4 biedt een dergelijke grootschalige ingreep perspectief voor natuurbeheer, ontstaat er natuurwinst

- Voor wat betreft de introductie van pioniermilieus en geomorfologische dynamiek is er zeker sprake van natuurwinst. In een duinlandschap dat overwegend stabiel was zijn grote oppervlakken met een verschillende mate van dynamiek ontstaan.
- Voor wat betreft een toename van droog-nat gradiënten lijkt er nog geen echte toename van natuurwinst. In een aantal kleine depressies bevindt het grondwater zich in de buurt van het oppervlak. Deze depressies stuiven echter gedeeltelijk vol. Mogelijk zou rondom dergelijke vormen een beperkte zone ingeplant moeten worden. Deze zone zal het zand

dan invangen. Dit zou ook een toename van het reliëf tot gevolg hebben. Het is van belang de ontwikkeling van de depressies te blijven volgen (Foto's 3 en 4).

5.3. conclusies met betrekking tot de ontwikkeling

natuurwetenschappelijke vragen

B1 hoe ontwikkelen reliëf en geomorfologische vormen

- De kale toppen van de "herstelde" duinruggen vlakken steeds verder af. Het oppervlak is inmiddels bedekt met een grote hoeveelheid wortelresten, waardoor verdere erosie belemmerd wordt.
- Aan de randen zijn toppen ontstaan waar helm is aangeslagen. Deze toppen groeien sterk in de hoogte. Deze ontwikkeling zet door. Deze vormen dragen bij aan een grotere variatie in geomorfologie (Foto 7).
- De paraboolvorm in deelgebied 2-Oost lijkt inderdaad als een parabool te gaan fungeren. In het centrale deel is de overstuiving een stuk verder oostwaarts verplaatst. Inmiddels vindt ook depositie over de top plaats. De paraboolvorm ten noorden van deelgebied 2 ontwikkelt zich veel minder sterk.
- Op een aantal plaatsen aan de oostzijde zijn depositielobben ontstaan met een zodanige omvang dat geproken kan worden van kleine loopduinen met aan de oostkant een storthelling van soms enkele meters hoog. Deze lopen als het ware in een paraboolachtige structuur de vegetatie in.
- In het erosieve deel is weinig sprake van vormontwikkeling. Hier is eerder sprake van een nivellering van de topografie. Erosie gaat gelijkmatig. De echte vormontwikkeling beperkt zich tot de randen.
- Uitblazingsvalleien zijn nog steeds niet ontstaan. Bestaande laagten in het terrein worden verder opgevuld. Deze laagten fungeren ook als verzamelpunt na watererosie, zodat er opeenhopingen van organisch materiaal zijn te vinden. Dit zal eventuele verdere uitstuiving beperken of zelfs uitsluiten.

B2 hoe werkt de interactie tussen vegetatie en geomorfologische ontwikkeling

- Er is een duidelijke relatie tussen de vegetatiestructuur en de overstuivingsvorm. Struweel leidt tot een geprononceerde rug terwijl in gras en mos plakken worden gevormd die soms alleen opvallen door de aanwezigheid van kaal zand. Deze zijn inmiddels weer voor een deel begroeid met grassen.
- Struweel heeft de sterke overstuiving deels niet bij kunnen benen. Op een aantal plaatsen blijkt echter na een jaar het struweel toch weer door te groeien (Foto's 5 en 6). Er zijn wel enkele plekken waar struweel is afgestorven.

B3 hoe snel reageert de vegetatie op de grens begroeid-onbegroeid op de enorme toename in overstuiving, hoe groot is het oppervlak dat beïnvloed wordt

- Verstoringsindicatoren zijn zeer snel opgekomen.
- In de overstoven mosgebieden zijn grassen opgekomen. Het overstoven mos is afgestorven.
- Op sommige plaatsen komt de oude grens weer terug, doordat overstoven vegetatie door de overstuiving heen groeit, of doordat achtergebleven wortelstokken weer uitlopen.

B4 hoe (snel) verloopt de vestiging van pioniervegetaties

- De meest actieve toppen zijn begroeid met vitale helmpollen.
- Op een aantal plaatsen met beperkte overstuiving zijn kalkminners zoals duinsterretje aangetroffen.

B5 wat zijn overeenkomsten / verschillen met andere grootschalige verstuivingen

- Qua omvang van de verstuiving is het gebied enigszins te vergelijken met de Meeuwenduinen op Schouwen. De ontwikkeling van verstuivingen is nog niet zo grootschalig als op Schouwen te zien is. Hier ontstaan loopduinen met een grotere omvang.
- In vergelijking tot de ontwikkeling van stuifkuilen is er sprake van een grootschaligere ontwikkeling. Er vindt meer transport plaats en er is sprake van een meer gevarieerde reliëfontwikkeling
- Op sommige plaatsen aan de randen van de deflatiezone ontstaan duinen met helm die vergelijkbaar zijn met een aangroeiende zeereep, zowel in vormontwikkeling als in mate van aanwas.

6. PLANNING WERKZAAMHEDEN 1998

Er bestaan geen concrete plannen voor verdere monitoring. Met name van de kant van de Gemeentewaterleidingen Amsterdam zal aangegeven moeten worden of verdere monitoring gewenst is. Vanuit natuurwetenschappelijk oogpunt lijkt het te vroeg om nu al over te gaan tot een 5-jaarlijkse monitoring. Een probleem is dat er waarschijnlijk geen JARKUS-luchtfoto's meer worden gevlogen. Een eventuele fotovlucht zal dus apart bekostigd moeten worden. Het gebied wordt wel eens in de 5 jaar gevlogen als onderdeel van de standaard fotovlucht van de Amsterdamse Waterleidingduinen. De eerstvolgende vlucht hiervan zal in 2000 plaatsvinden. Indien geen tussenliggende opnamen worden gemaakt, betekent dit dat voor de ontwikkeling tussen 1997 en 2000 geen tussentijdse luchtfoto's beschikbaar zullen zijn.

7. AANBEVELINGEN

In zijn algemeenheid wordt aanbevolen de monitoring in ieder geval nog een aantal jaren voort te zetten. Indien zich binnen korte termijn (zeg de komende 5 jaar) een jaar voordoet met veel stormen, dan zal het effect hiervan op de ontwikkeling van de verstuiving zo spoedig mogelijk moeten worden onderzocht.

Indien geen tussenliggende fotovluchten meer worden gemaakt (en dus de volgende vlucht pas in 2000 zal plaatsvinden), zullen tussentijdse opnamen moeten worden gemaakt middels terreinbezoeken (fotografie vanaf de grond, simpele karteringen, eventueel beperkte hoogtemetingen).

7.1. aanbevelingen met betrekking tot methodiek / monitoring

Om tot een meer kwantitatieve analyse van de luchtfotokarteringen te komen is het aan te bevelen de kaarten om te zetten in GIS-kaarten. De kaarten zouden gedigitaliseerd moeten

worden, waarbij geografisch gecorrigeerd moet worden. Daarna kunnen in detail oppervlaktes van relevante kaarteenheden worden bepaald, alsmede de verandering hiervan in de tijd.

Er zou een proef gestart kunnen worden met het meten van een DTM uit luchtfoto's. Hieruit zou moeten blijken of het haalbaar en zinvol is digitale hoogteinformatie voor het gehele gebied uit luchtfoto's te halen. Indien dit mogelijk blijkt, en de gewenste mate van detail geeft, dan zouden gedetailleerde metingen in het veld verder overbodig worden.

Daarnaast zullen geregeld terreinbezoeken moeten plaatsvinden. Ook zou het wenselijk zijn een nadere studie van de vegetatieontwikkeling op de overstoven delen uit te voeren.

Gezien het belang van vochtige duinvalleien zou overwogen kunnen worden een aantal depressies die uit zouden kunnen groeien tot vochtige valleien in meer detail te volgen.

7.2. aanbevelingen met betrekking tot beheer

Om de verstuiwing actief te houden is het wellicht aan te bevelen het oppervlak te harken en te ontdoen van puin, wortelresten e.d.. Er zijn machines voor, die ook op het strand gebruikt worden voor schoonmaak.

Om een grote variatie in reliëf binnen de verstuiwing te krijgen zouden enkele bestaande toppen met helm beplant kunnen worden (in een onregelmatig patroon, liefst in de vorm van enkele pollen). Daarnaast zou rondom laagtes een beperkte zone kunnen worden beplant om verdere instuiving van de laagtes te voorkomen, en op termijn mogelijke uitstuiwing tot stand te brengen.

Er worden geen verdere maatregelen aanbevolen.

8. LITERATUUR

- Arens, S.M., 1997. Transport rates and volume changes in a coastal foredune on a Dutch Wadden island. *Journal of Coastal Conservation* 3, pp. 49-56.
- Arens, S.M. & Deiller, A.-F., 1996. Monitoring van een grootschalige verstuiving; van Limburg Stirum gebied, Amsterdamse Waterleidingduinen. Vastlegging uitgangssituatie. Rapport FGBL-UvA, 18 pp. + bijlagen.
- Arens, S.M., Baas, A.C.W. & Boxel, J.H. van, 1997. Modelling zandtransport zeereep; veldmetingen ten behoeve van validatie. Rapport Fysisch Geografisch en Bodemkundig Laboratorium van de Universiteit van Amsterdam, rap. no 67, in opdracht van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen TAW-C, 71 pp. + bijlagen.
- Baas, A.C.W., 1994. Verslag van het verstuivingsonderzoek op Ameland. FGBL-UvA, 38 pp.
- Hoogteijling, D.P. & Arens, S.M., 1997. Monitoring van een grootschalige verstuiving; van Limburg Stirum gebied, Amsterdamse Waterleidingduinen. Ontwikkeling 1995-1996. Rapport FGBL-UvA, 30 pp. + bijlage.
- Kawamura, R., 1951. Study of sand movement by wind. *Reports of Physical Sciences Research Institute of Tokyo University* 5 (3-4), 95-112 (in Japans). Vertaald in 1964 als *University of California Hydraulics Engineering Laboratory Report HEL2-8*, Berkely, CA, pp. 1-38.
- National Climatic Data Center & USA FETAC OL-A, 1995. *International Station Meteorological Climate Summary*, V3.0, March 1995.

LIJST MET FIGUREN

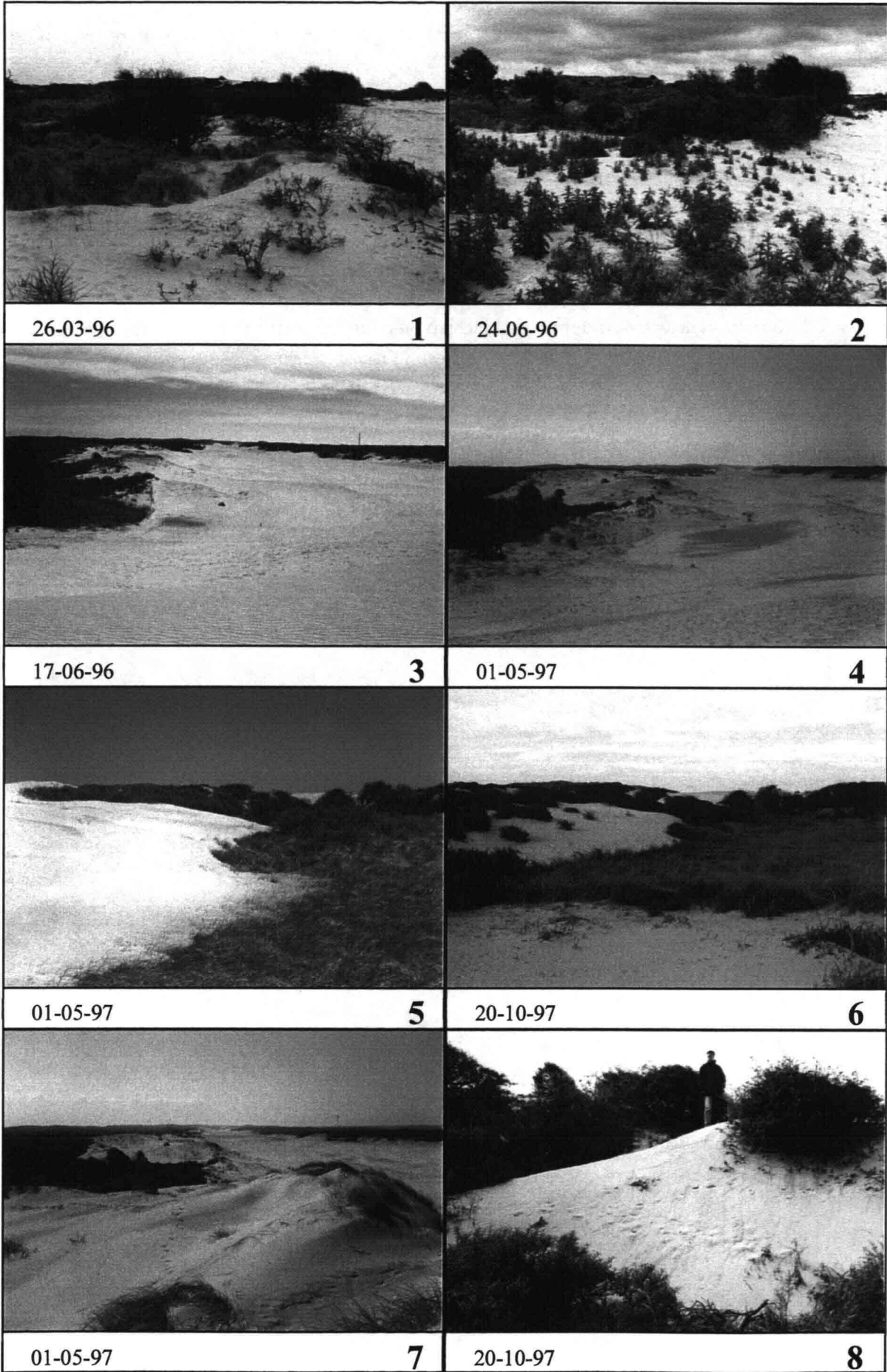
- Figuur 4.1 Windrozen voor IJmuiden.
a. periode 1995-1997
b. periode 1974-1992
- Figuur 4.2 Aantal uren per windklasse voor de periode maart 1995 t/m oktober 1997
- Figuur 4.3 Luchtfotointerpretatiekaart van de verstuiwing
- Figuur 4.4 Grenzen van begroeid-onbegroeid en overstoven-niet overstoven
- Figuur 4.5 Maandelijks potentiëel zandtransport, berekend met de windfrequentieverdeling voor IJmuiden
- Figuur 4.6 Zandrozen voor de periode van monitoring en voor een gemiddelde wind, gebaseerd op berekend potentiëel transport
- Figuur 4.7 Zandrozen voor de periodes tussen opeenvolgende luchtfotoseries, gebaseerd op berekend potentiëel transport

LIJST MET TABELLEN

- Tabel 2.1 Opnamedata en type van luchtfoto's
- Tabel 2.2 Een vergelijking van het maandelijkse zandtransport berekend met de 10-minuut waarden en berekend met een maandelijkse frequentietabel
- Tabel 4.1 Totale berekende volumetoename voor de west- en oostzijde, voor de periodes tussen opeenvolgende luchtfotoseries
- Tabel 4.2 Berekende volumetoenames vergeleken met aan de hand van depositiemetingen bepaalde volumetoenames

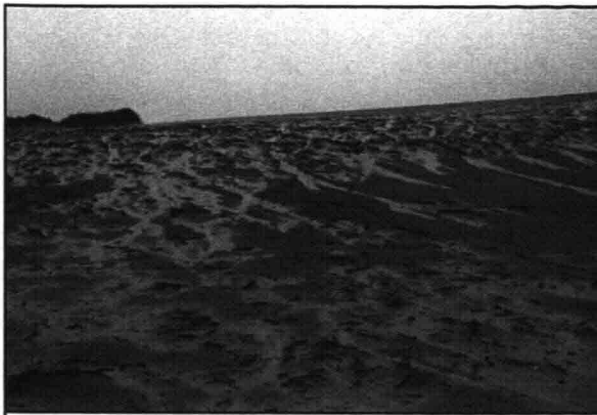
BIJLAGE 1. FOTOGRAFISCHE IMPRESSIES

- Foto 1. Overstoven struweel aan de oostkant, 26 maart 1996.
- Foto 2. Het zelfde gebied als op Foto 1, 24 juni 1996. Inmiddels zijn op het overstoven oppervlak een groot aantal distels opgekomen.
- Foto 3. Overzicht over het zuidelijk deel van het gebied, 17 juni 1996. In het midden is een depressie zichtbaar die bij aanvang van het project nog water bevatte.
- Foto 4. Het zelfde gebied als op Foto 3, 1 mei 1997. Het overstoven gebied heeft zich duidelijk uitgebreid. Ook de depressie is in omvang toegenomen, maar onduidelijk is of dit het gevolg is van uitstuiven, of van een stijging van het grondwater.
- Foto 5. Overstoven gras en struweel, 1 mei 1997. Het oude oppervlak is bedekt met een laag stuifzand van ruim 50cm dik.
- Foto 6. Het zelfde gebied als op Foto 5, 20 oktober 1997. Inmiddels zijn door het overstoven oppervlak weer een aantal struwelen gegroeid.
- Foto 7. Overzicht over het zuidelijkste deel van het gebied, 1 mei 1997. Het duin rechts op de voorgrond is bedekt met helm en neemt geleidelijk in hoogte toe.
- Foto 8. Klein loopduin aan de oostkant van de verstuiwing, 20 oktober 1997. Het loopduin is een vijftal meters hoog en verplaatst langzaam naar het oosten.



De volgende foto's dateren van 12 augustus 1996 en geven een beeld van watererosie ten gevolge van zware regenbuien.

- Foto 9. Tijdens regen met een geringe intensiteit infiltreert de neerslag in het oppervlak. Bij een toename van de neerslagintensiteit blijkt het water oppervlakkig af te stromen.
- Foto 10. Geleidelijk aan stroomt water van de hellingen naar de lager gelegen delen.
- Foto 11. Na afloop van de bui zakt het water snel weg in het zand. Wat achterblijft is een dunne, zwarte laag met slib en organische stof.
- Foto 12. Behalve de zwarte laag op de bodem van de depressie zijn ook duidelijk sporen van afstromend water op de helling zichtbaar.
- Foto 13. Een overzicht van een depressie. De langgerekte vegetatie is riet van de voormalig oevers van het kanaal, wat weer opgekomen is.
- Foto 14. Op de grens van de verstuiving zijn verschillende rills gevormd, in vers stuifzand. Hieronder bleek zich vaak hydrofoob zand te bevinden.
- Foto 15. Idem. Deze vormen bleken enkele weken later vrijwel uitgewist te zijn.
- Foto 16. Idem.



9

10



11

12



13

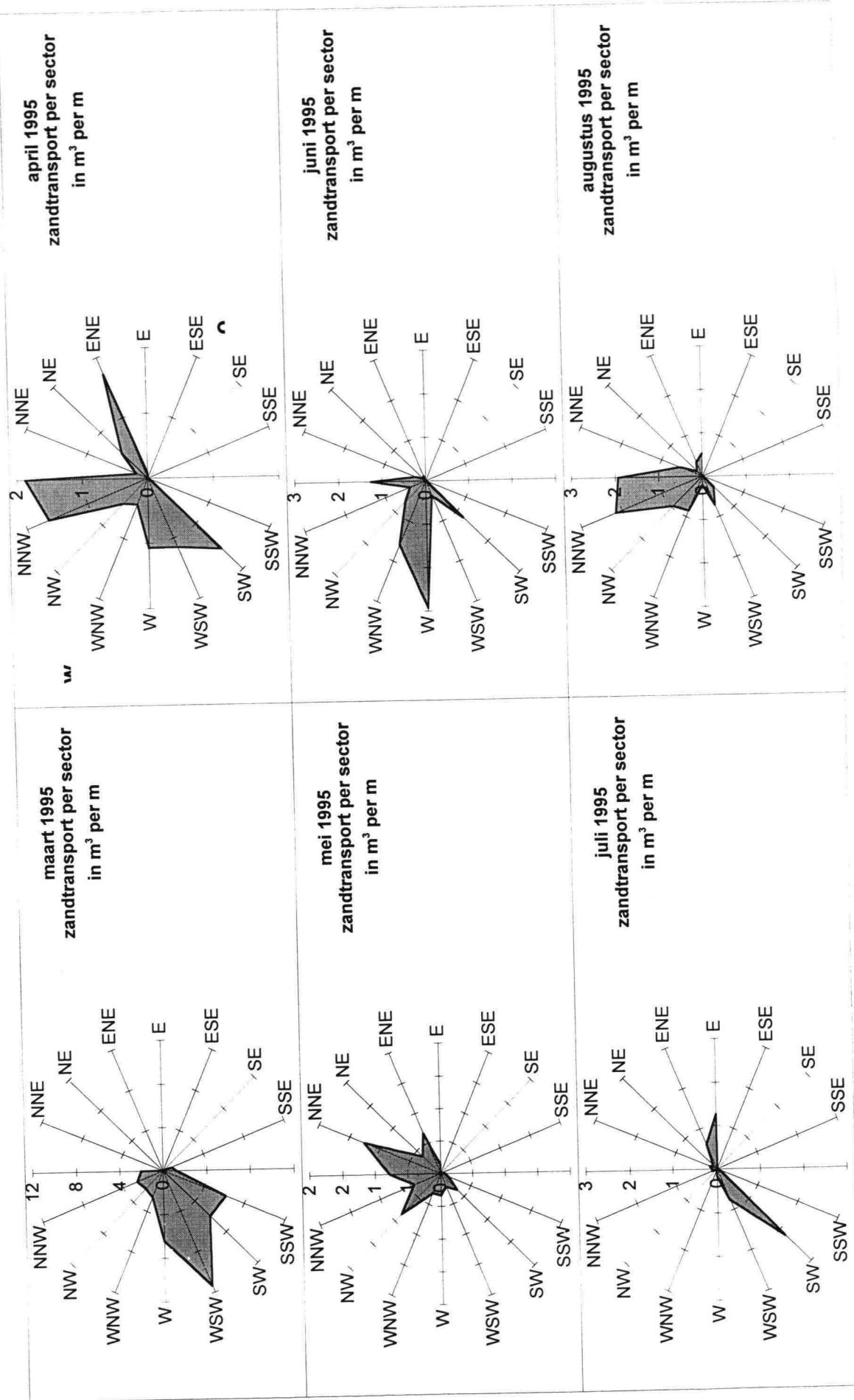
14



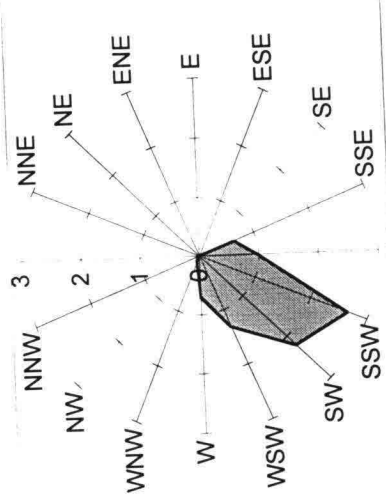
15

16

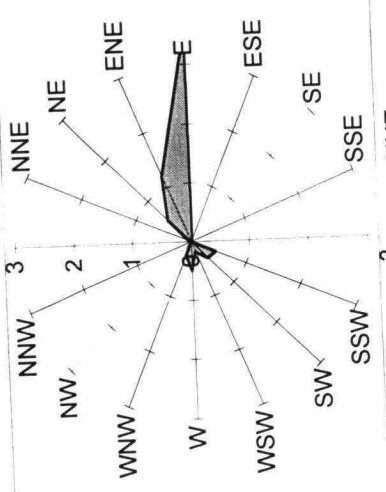
BIJLAGE 2. MAANDELIJKSE ZANDROZEN



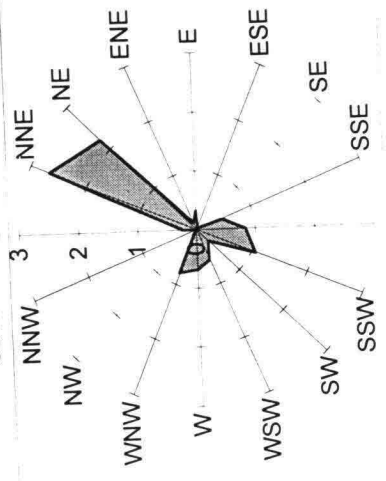
oktober 1995
zandtransport per sector
in m³ per m



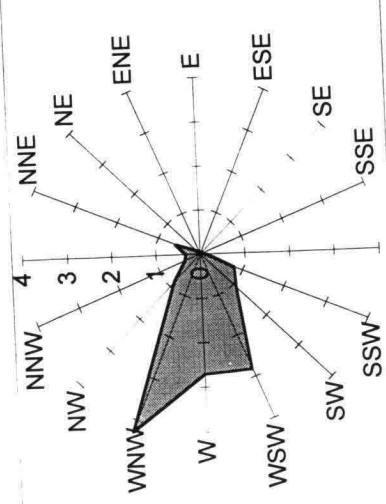
december 1995
zandtransport per sector
in m³ per m



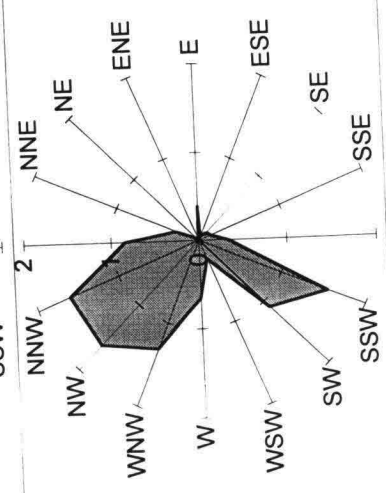
februari 1996
zandtransport per sector
in m³ per m



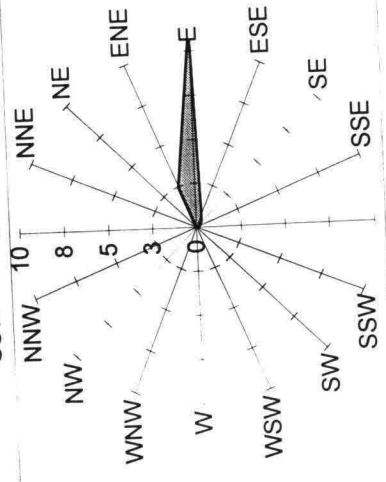
september 1995
zandtransport per sector
in m³ per m

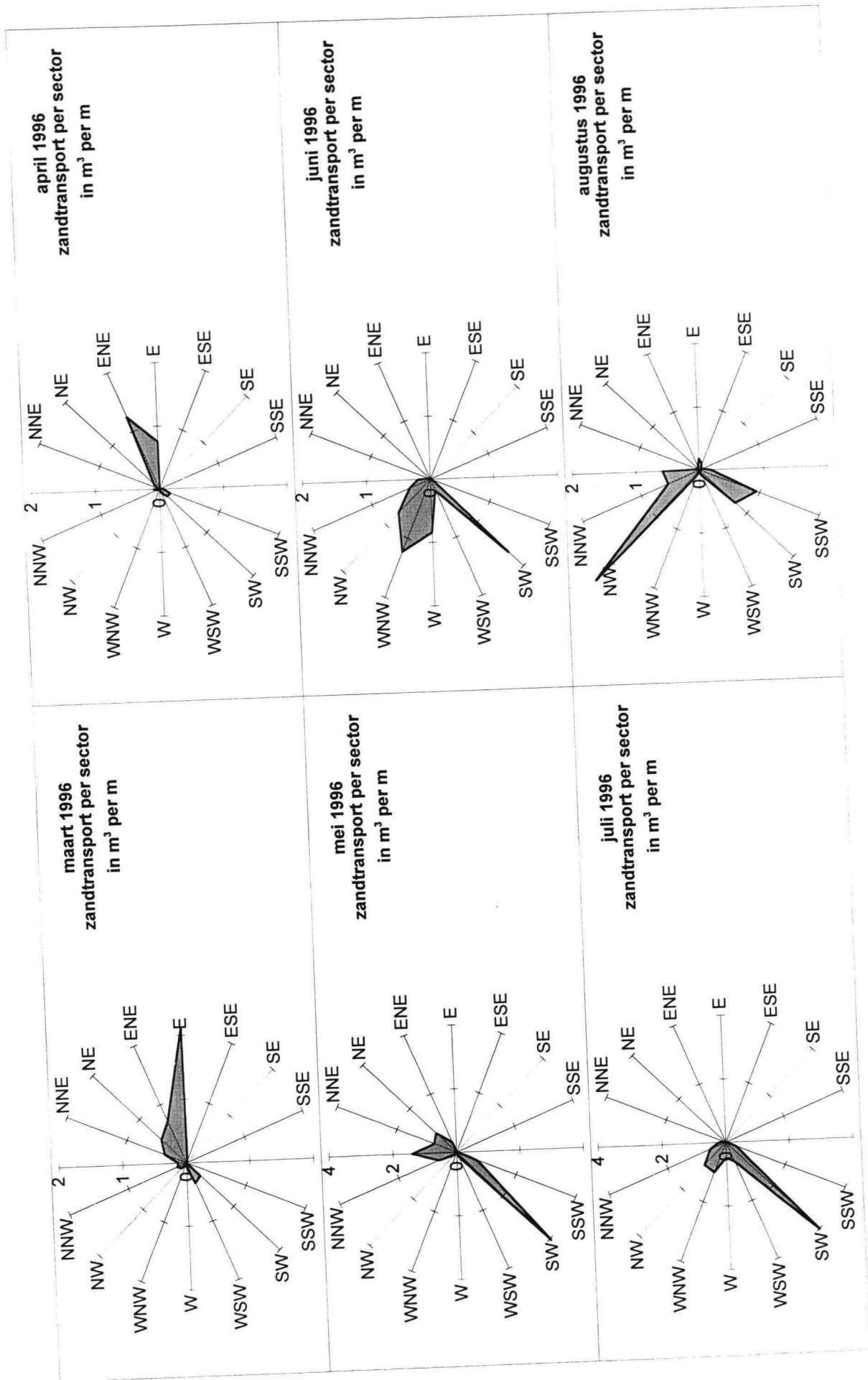


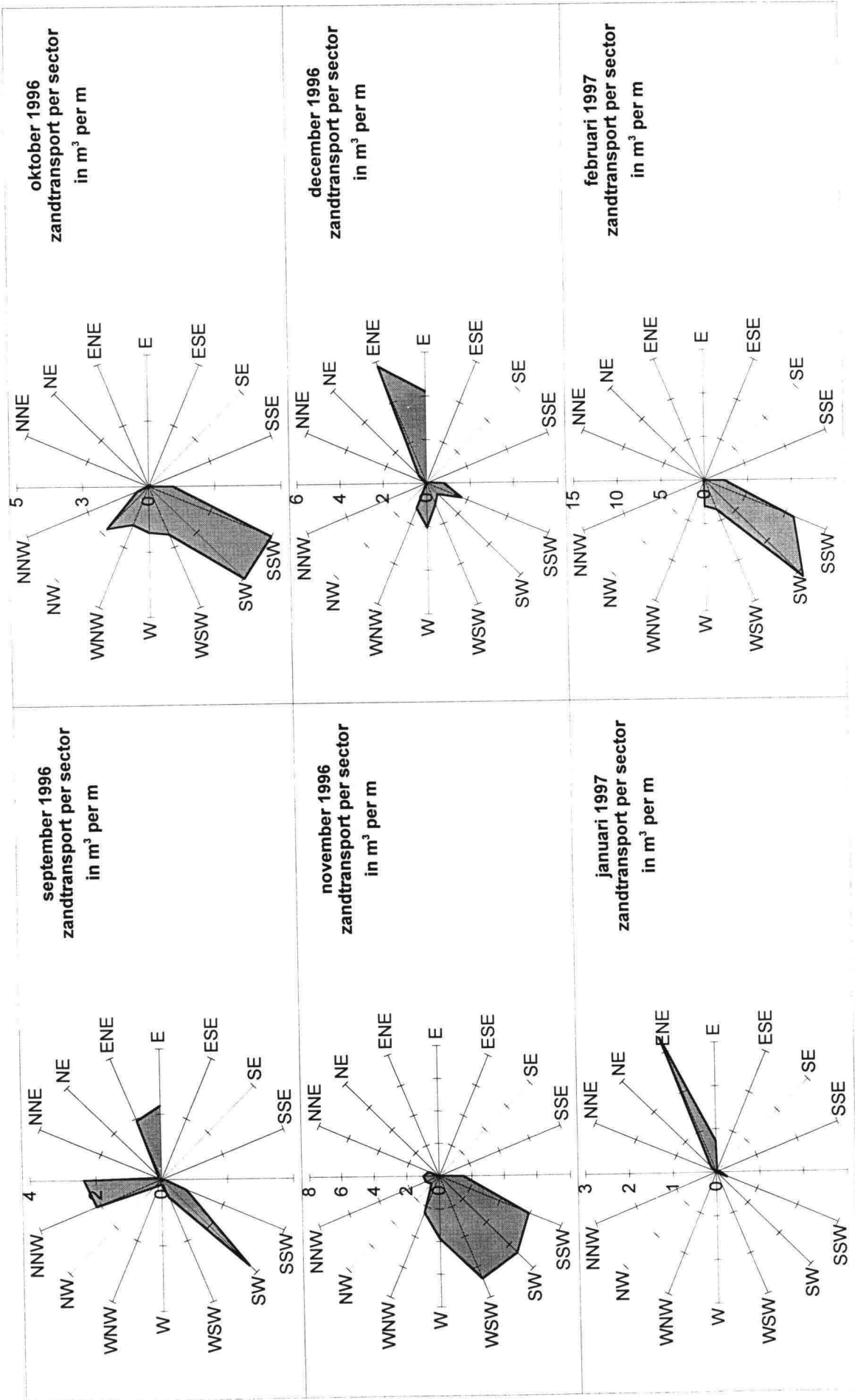
november 1995
zandtransport per sector
in m³ per m

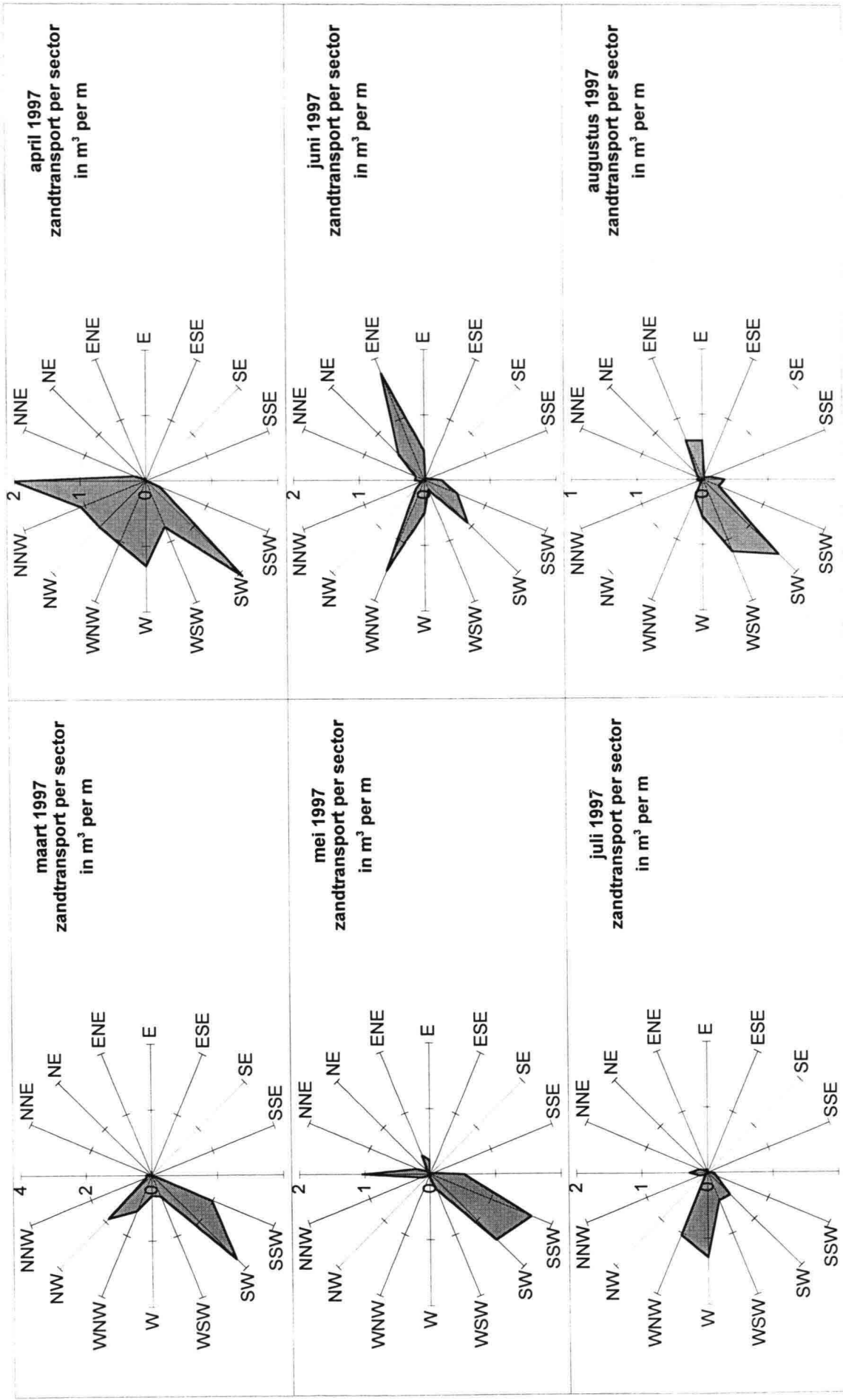


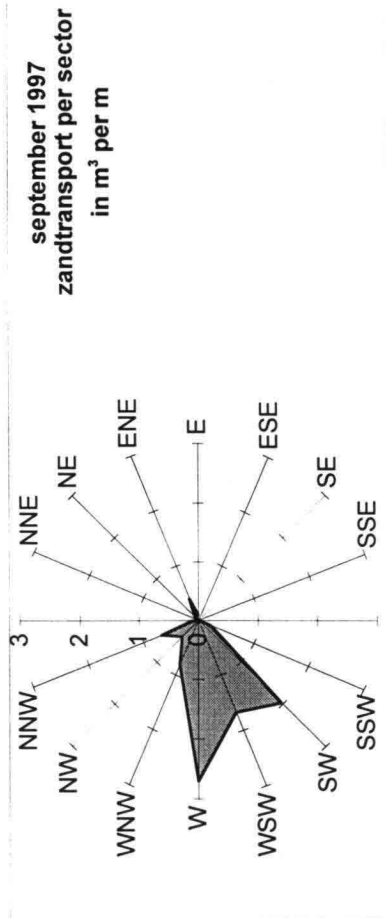
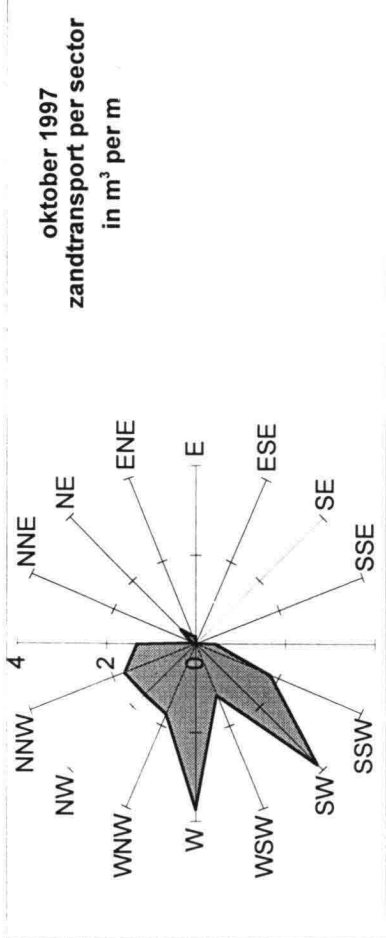
januari 1996
zandtransport per sector
in m³ per m











.

