



UvA-DARE (Digital Academic Repository)

Modellering zandtransport zeereep: Windrichting, vegetatiegroei en seizoenvariatie

Baas, A.C.W.; Arens, S.M.; van Dijk, P.M.; van Boxel, J.H.

Publication date

1996

Document Version

Final published version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Baas, A. C. W., Arens, S. M., van Dijk, P. M., & van Boxel, J. H. (1996). *Modellering zandtransport zeereep: Windrichting, vegetatiegroei en seizoenvariatie*. Fysisch Geografisch & Bodemkundig Laboratorium, Universiteit van Amsterdam.

General rights

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Disclaimer/Complaints regulations

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <https://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

**MODELLERING ZANDTRANSPORT
ZEEREEP
WINDRICHTING,
VEGETATIEGROEI
EN SEIZOENS Variatie**

CONCEPT

A.C.W Baas
S.M. Arens
P.M. van Dijk
J.H. van Boxel

Fysisch **G**eografisch &
Bodemkundig **L**aboratorium
Universiteit van Amsterdam

Technische
Adviescommissie voor de
Waterkeringen

Rapport nr.:	Serie nr.:	Ontvanger catalogus nummer:	
Titel en subtitel; Modellering zandtransport zeereep Windrichting, vegetatiegroei en seizoensvariatie		Datum rapport: November 1996	
		Kode uitvoerende organisatie: FGBL-UvA	
Schrijvers: A.C.W. Baas, S.M. Arens, P.M. van Dijk, J.H. van Boxel		Nr. Rapport uitvoerende organisatie:	
		Projekt naam: Fysische Modellering zeereepontwikkeling	
Naam en adres opdrachtnemer: Vakgroep Fysische Geografie en Bodemkunde Universiteit van Amsterdam Nieuwe Prinsengracht 130, 1018 VZ Amsterdam		Kontraktnummer: DWW-1171	
		Type rapport: Concept project rapportage	
Naam en adres opdrachtgever: Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde tbv TAW-C Postbus 5044, 2600 GA Delft		Kode andere opdrachtgever:	
Opmerkingen:			
Referaat: Hier komt de samenvatting			
Trefwoorden: SAFE, zeereep, model, wind, vegetatie, zandtransport		Distributiesysteem:	
Classificatie:	Classificatie van deze pagina:	Aantal blz.:	Prijs:

INHOUD

VOORWOORD

1 INLEIDING

- 1.1 Windrichting
- 1.2 Vegetatiegroei
- 1.3. Seizoensvariatie in vegetatie

2 PROCEDURE VOOR VARIABELE WINDRICHTING

- 2.1 Modelbeschrijving
- 2.2 Gevoeligheidsanalyse
- 2.3 Beperkingen
- 2.4 Aanbevelingen

3 PROCEDURE VOOR VEGETATIEGROEI

- 3.1 Modelbeschrijving
- 3.2 Gevoeligheidsanalyse
- 3.3 Beperkingen
- 3.4 Aanbevelingen

4 VARIABILITEIT IN DE VEGETATIE

- 4.1 Opname van vegetatiedichtheid; kanttekeningen bij de methodiek
 - 4.1.1 De verschillende toegepaste methoden
 - 4.1.2 Vergelijking van de methoden
 - 4.1.3 Betrouwbaarheid en ruimtelijke variabiliteit
 - 4.1.4 Conclusies met betrekking tot opname
- 4.2 Seizoensvariatie in vegetatiebedekking
- 4.3 Seizoensvariatie in de fysiologie van de vegetatie
 - 4.3.1 Verschillen tussen soorten
 - 4.3.2 Hoogte
 - 4.3.3 Overige fysiologische parameters
- 4.4 Samenvatting en conclusies
- 4.5 Aanbevelingen

5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

- 5.1 Windrichting
- 5.1 Vegetatiegroei
- 5.3 Ruimtelijke en temporele variabiliteit in vegetatie

6 LITERATUUR

LIJST VAN FIGUREN

LIJST VAN TABELLEN

VOORWOORD

Het voor u liggende rapport vormt onderdeel van een serie rapporten die zijn verschenen in het kader van het project "Fysische modellering zeereepontwikkeling". Dit project streeft naar de ontwikkeling van een simulatiemodel SAFE (Simulation of Aeolian Foredune Evolution), een model dat ontwikkeld wordt ter ondersteuning van zeereepbeheerders.

Dit rapport vloeit voort uit een opdracht van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat voor de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, werkgroep C "Zandige kusten" (overeenkomst DWW ###). Het betreft het eerste deel van de overeenkomst. In dit deel wordt een tweetal procedures besproken, met betrekking tot de uitbreiding van SAFE voor variabele windrichtingen en voor vegetatiegroei. Daarnaast wordt in dit deel de seizoensvariatie in vegetatieparameters behandeld. Het tweede deel van de overeenkomst zal gericht zijn op het inrichten van een validatie-database, gebaseerd op te verrichten veldmetingen en reeds beschikbare data. A C

De begeleidingsgroep voor het project "Fysische Modellering Zeereepontwikkeling" is als volgt samengesteld:

- ir A.P. de Looff (Dienst Weg- en Waterbouwkunde)
- mevr. drs M.A.M. Löffler (Dienst Weg- en Waterbouwkunde)
- dr ir H.J. Steetzel (Alkyon)
- ir H.J. Verhagen (IHE)
- ir J. van der Kolff (Hoogheemraadschap van Delfland)



1 INLEIDING

Ten behoeve van een verdere ontwikkeling van het SAFE-model (Simulation of Aeolian Foredune Evolution) zijn in een eerdere fase door de begeleidingscommissie prioriteiten gesteld. Naast validatie van SAFE bleek een uitbreiding met een procedure voor variabele windrichting, alsmede een procedure voor vegetatiegroei wenselijk. Bovendien was er behoefte aan vergroting van de kennis omtrent de vegetatieontwikkeling door het jaar heen, en met name de variatie van vegetatie-eigenschappen tussen seizoenen.

Dit rapport beschrijft de uitbreidingen van het SAFE-model. Hierbij wordt voortgebouwd op de model-versie zoals die beschreven is in de voorgaande rapportages (Arens, 1994; Van Dijk et al., 1995; Van Dijk, 1996). De hier gepresenteerde versie van SAFE is research versie 1.85. Dit rapport grijpt voor en groot deel terug op de rapportages zoals die zijn gepresenteerd door Van Dijk, Van Boxel en Arens (1995) en Van Dijk (1996) en moet dan ook in samenhang hiermee worden gezien. Ten behoeve van de bondigheid van dit rapport wordt daarom meermalen gerefereerd naar deze rapportages en wordt gebruik gemaakt van termen en begrippen die daarin zijn beschreven.

Hieronder wordt kort het kader van bovenstaande deelonderzoeken en de doelstellingen ervan geschetst.

1.1 Windrichting

Tot nu toe is het SAFE-model puur als twee-dimensionaal model ontwikkeld, waarbij de profielontwikkeling wordt gemodelleerd uitgaande van een wind parallel aan het profiel, dat wil zeggen loodrecht op de zeereep. Aangezien in werkelijkheid de wind vanuit variërende richtingen over de zeereep waait, moeten deze omstandigheden ook in het SAFE-model kunnen worden gesimuleerd, om zodoende tot een meer realistische benadering van de profielontwikkeling te komen.

Doelstellingen van dit deelonderzoek zijn:

- het uitbreiden van SAFE met de mogelijkheid verschillende windrichtingen over de zeereep te simuleren, met behulp van een eenvoudige methode;
- een gevoeligheidsanalyse van de invloed van de windrichting op de ontwikkeling van het zeereepprofiel;
- het bepalen van de beperkingen van de simulatiemethode en de maximale spreidingshoek van windrichtingen waarbinnen deze methode realistisch kan worden gehanteerd.

1.2 Vegetatiegroei

Bij het SAFE-model zoals beschreven in de vorige rapportages is de vegetatie over het profiel een statisch gegeven. Dit houdt in dat de vegetatie niet reageert op overstuiving (of erosie) en dat de vegetatiebedekking dus, ongeacht de ontwikkeling, onveranderlijk is. In werkelijkheid is wel degelijk sprake van een respons van vegetatiegroei op zanddepositie (met name bij helm, *Ammophila Arenaria*). Helm heeft een zekere overstuiving nodig om vitaal te blijven. De sterkste groei van helm wordt over het algemeen waargenomen op locaties met een aanzienlijke overstuiving.

Doelstellingen van dit deelonderzoek zijn:

- het incorporeren van vegetatiegroei in reactie op zanddepositie in het SAFE-model met behulp van een eenvoudige methode als eerste benadering,
- een gevoeligheidsanalyse van de invloed van deze vegetatiegroei op de ontwikkeling van het zee-eeprofiel,
- het bepalen van de beperkingen van de gehanteerde simulatiemethode.

1.3 Seizoensvariatie in vegetatie

De invloed van de vegetatie op het zandtransport wordt in het SAFE-model berekend aan de hand van ingevoerde gegevens over de vegetatiebedekking-en hoogte over het profielverloop. Uit de hoogte en de bedekking wordt de FAI (Frontal Area Index) berekend die vervolgens met behulp van formuleringen leidt tot een aangepaste ruwheidslengte van het oppervlak (zie ook hoofdstuk 3 in Van Dijk, 1996). Deze ruwheidslengte beïnvloedt de effectieve wrijvingsnelheid van de wind aan het oppervlak en het daaruit volgende zandtransport. Daarnaast wordt bij de berekening van de FAI gebruik gemaakt van een aantal standaard fysiologische parameters zoals stamdiameter en bladlengte.

Vooraf bij simulatie van de zee-eepontwikkeling over langere perioden is het belangrijk over gegevens te beschikken aangaande de seizoensvariatie in bedekking en fysiologie (met name hoogte) van de vegetatie. Bovendien is het voor het voorspellen van een ontwikkeling onder invloed van weersomstandigheden van belang of de vegetatie in de winter een andere dichtheid heeft dan in de zomer, en daarmee een andere invloed op het zandtransport en daarmee de zee-eepontwikkeling uitoefent. Op drie lokaties is vegetatie-onderzoek verricht in zomer en winter om deze seizoensvariatie in kaart te brengen en te herleiden tot een kwantitatieve formulering.

Dit onderzoek is echter nog niet geheel afgerond, daar er nog een tweede wintermeting moet plaatsvinden aan het eind van 1996.

Doelstelling van dit deelonderzoek is:

- het opstellen van een voorlopige formulering van de seizoensvariatie voor bedekking en fysiologie van vegetatie op de zee-eep.

2 PROCEDURE VOOR VARIABELE WINDRICHTING

2.1 Modelbeschrijving

Bij het SAFE model zoals beschreven in de rapporten van Van Dijk et al. (1995, 1996) is uitgegaan van een wind die parallel aan het 2-dimensionale profiel waait, oftewel een wind loodrecht op de zeereep. Natuurlijk is dit in werkelijkheid slechts zelden het geval. Daarom is de nieuwe versie SAFE 1.85 uitgebreid met de mogelijkheid een windrichting op te geven die afwijkt van de normaal (loodrecht op de zeereep).

De belangrijkste aanname bij de gehanteerde methode is, dat de zeereep in de laterale richting overal hetzelfde profiel heeft. Dit houdt in dat de derde dimensie van de zeereep (de richting dwars op het profiel) slechts een extrapolatie is van het twee-dimensionale profiel. Bij een afwijkende windrichting wordt een nieuw 2-dimensionaal profiel uitgerekend uit de schuine doorsnede van het originele zeereeprofiel, waarbij de opgegeven windrichting parallel loopt aan de nieuwe (schuine) doorsnede, het 'effectieve profiel' (zie figuur 2.1.a). Vervolgens wordt dit effectieve profiel gebruikt voor de simulatie van de luchtstroming en het zandtransport. Vervolgens wordt voor het zandtransport de component in loodrechte richting (over het originele zeereeprofiel) bepaald en de daaruit resulterende erosie en depositie. Ook de controle van de maximale hellingshoek (en de daarmee samenhangende afschuivingen) vindt plaats over het originele loodrechte profiel, omdat deze de werkelijke hellingshoeken weergeeft. Het SAFE model heeft als invoer en uitvoer het loodrechte zeereeprofiel.

Een stroomschema van de berekeningen is gegeven in figuur 2.1.b.

2.2 Gevoeligheidsanalyse

In navolging van de gevoeligheidsanalyses zoals die door Van Dijk (1996), is voor de parameter 'windrichting' een aantal simulaties doorgerekend om de invloed van deze nieuwe parameter op de ontwikkeling van het zeereeprofiel te bepalen en te interpreteren. De resultaten hiervan zijn afgebeeld in figuur 2.2, voor de variabelen 1) kritische wrijvingsnelheid (U_{*t}), 2) wrijvingsnelheid (U^*), 3) sedimenttransport (Q) en 4) de topografie van het profiel (z). Er zijn 7 simulaties uitgevoerd in een serie van afwijkende windrichtingen oplopend met stappen van 10 graden (0, 10, 20, 30, 40, 50 en 60 graden). Uitgaande van een constant profiel over de langsrichting van de zeereep is hierbij alleen de absolute afwijking van de normaal van belang (een windrichting van $+10^\circ$ afwijking geeft dezelfde resultaten als een windrichting van -10° afwijking). Ter vergelijking met de gevoeligheidsanalyses van Van Dijk (1996) is gebruik gemaakt van dezelfde versie van het HILL-model, namelijk versie 0.22.

Bij de simulaties is uitgegaan van een bestaand duin van 4 meter hoog, zoals ook is toegepast in de gevoeligheidsanalyse van de topografie (simulatieserie 1) door Van Dijk (1996, pp. 4.4), en de bijbehorende standaard parameterinstellingen. De voornaamste zijn:

- de referentiewrijvingsnelheid: U_{*ref} 0.4 m/s,
- de relatieve luchtvochtigheid: RV 80%,
- vegetatie geen
- simulatieperiode 40 dagen
- tijdstap 0.1 dag

- afstandstapgrootte 1 meter
- kritische hoogteverandering 0.05 meter
(hoogteverandering waarbij het HILL-model opnieuw wordt gedraaid).

Per variabele levert de simulatieserie de volgende constatering op met betrekking tot een toenemende afwijking in de windrichting (t.o.v. de normaal):

- U^* :
- in absolute zin nemen de maxima en minima af en de curve verloopt vlakker over het profiel;
 - in temporele zin is er minder variatie tussen de verschillende tijdsopnames (dicht bij elkaar liggende curves). Meest opvallend is in dit verband dat het minimum aan de lijzijde van het duin gedurende de simulatietijd minder naar achter verschuift.
- U^* :
- in absolute zin nemen de maxima en minima af en de curve verloopt vlakker over het profiel;
 - in temporele zin is er wederom minder variatie en verschuift het minimum aan de lijzijde minder naar achter.
- Q :
- in absolute zin daalt het sedimenttransport en nemen maxima en minima af.
- topografie:
- de topografie ondergaat beduidend minder veranderingen in de zin dat de duintop minder verlaagd wordt, er minder depositie optreedt op de lijhelling en dat de erosie aan de beide duinvoeten vermindert.

Dit alles kan als volgt worden samengevat en geïnterpreteerd tot:

- 1) Bij een schuin invallende wind wordt het effectieve profiel uitgerekt, waardoor de hellingen in het profiel flauwer worden. Hierdoor verloopt de topografie minder abrupt en kan de windstroming zich beter aanpassen over het profiel. Dit betekent dat versnellingen en vertragingen over het profiel afnemen en dus ook de maxima en minima in U^* en Q afnemen (de curve verloopt vlakker over het profiel).
- 2) Doordat de wind schuin over de zeereep waait, speelt ook het sedimenttransport zich in die richting af. Omdat er wordt uitgegaan van een constant profiel over de langsrichting van de zeereep, heeft sedimenttransport in die richting geen invloed op de ontwikkeling van het normale profiel (transport in de langsrichting is constant en veroorzaakt dus geen erosie of depositie). Daarom is voor de profielontwikkeling slechts de loodrechte component van het sedimenttransport van belang. Bij een schuin invallende wind is deze absoluut gezien echter kleiner dan het transport over het schuine profiel, en is omgekeerd evenredig met de afwijking van de windrichting van de normaal (zie ook figuur 2.3). Hierdoor neemt in absolute zin het transport over het profiel in het algemeen af.
- 3) Deze twee factoren tezamen betekenen een algehele afname van profielveranderingen in de zeereep.

2.3 Beperkingen

Bij deze methode wordt ervan uitgegaan dat de wind een rechte lijn aanhoudt en niet gaat afbuigen als de windrichting schuin op de zeereep staat. In werkelijkheid blijkt dat dit echter wel degelijk het geval is. Ten gevolge van ruwheid en topografie zal de wind in meer of mindere mate afbuigen (deflectie). De afbuiging wordt sterker naarmate de zeereep hoger en/of steiler wordt. In extreme gevallen kan de afbuiging zelfs zo sterk worden, dat de wind

nauwelijks meer tegen de zeereep op beweegt. Overigens is de afbuiging het sterkst op het hellingdeel tussen duinvoet en top. Nabij de top buigt de stroming terug in de richting van de normaal. Door grotere wrijving is wind op zeereep meestal gekrompen tov strand, hoewel volgens sommige literatuur bij schuine wind de stroming altijd afbuigt in de richting van de normaal (bijvb. Mikkelsen, 1988; Svasek & Terwindt, 1974). Met het SAFE model is niet na te gaan tot welke hoek de aanname van een rechtlijnige wind gerechtvaardigd is.

In Arens (1994) zijn gegevens over windrichting opgenomen voor drie sites met verschillende topografie (figuur 2.4). Op Schiermonnikoog (zeereep hoogte 5 m) is de afbuiging kleiner dan 15° . Voor Groote Keeten (hoogte 11 m) is de afbuiging bij aanlandige wind 20° in de richting van de parallel. Voor Nieuw-Haamstede (hoogte 22 m) is de afbuiging bij loodrecht inkomende wind 30° . Bij Nieuw-Haamstede blijkt een windrichting met afwijking groter dan circa 15° vanaf de normaal een dermate grote afbuiging te veroorzaken, dat de stroming nabij de duinvoet in feite parallel aan de zeereep wordt. Ook uit andere literatuur (Mikkelsen, 1988; Tsoar & Blumberg, 1991) blijkt dat bij lage duinen tot circa 10 m de effecten van afbuiging gering zijn, terwijl bij hoge duinen boven circa 20 m de effecten zeer groot zijn (zie figuur 2.5 en 2.6). Dit betekent voor de Nederlandse situatie dat bij zeerepen hoger dan 20 m de toegevoegde procedure slechts beperkte waarde heeft. Bij een hoek van 60° is de deflectie maximaal.

onskebide,
des no.
stijpen noen.

Bij het berekenen van het schuine profiel uit het normale zeereeprofiel, wordt de lengte van het profiel groter, terwijl het aantal berekeningspunten op het profiel gelijk blijft. Hierdoor wordt de afstand tussen twee berekeningspunten groter, waardoor de modellering van de windstroming met het HILL-model onnauwkeuriger wordt.

In het SAFE model zijn alleen afwijkende windrichtingen tot 89° mogelijk. Bij een afwijking van 90° wordt het profiel namelijk oneindig lang (parallel met de zeereep).

2.4 Aanbevelingen

Voor lage zeerepen (< 10 m) algemeen toepasbaar. Checken met validatie.

Voor zeerepen tussen 10-20 m toepasbaar als de hoek ten opzicht van de normaal kleiner is dan circa 45° .

Voor hoge zeerepen (> 20) m beperkt toepasbaar. Op zeerepen met een dergelijke hoogte treedt echter voornamelijk zandtransport op als de zeewaartse helling onbegroeid is. In dergelijke gevallen begint het transport ergens op de helling, waar de deflectie alweer minder van belang is.

Waarschijnlijk is de hellingshoek ook van belang. Hoge zeerepen met een flauwe helling zullen naar verwachting minder problemen ondervinden. Hierover is echter nog niet veel bekend. Mogelijk is met behulp van HILL te bepalen welke hellingshoeken problemen kunnen geven.

wind kromt (naar links) door
coriolis [Eckman-effect]

3 PROCEDURE VOOR VEGETATIEGROEI

De groei van vegetatie is een complex proces in de zeereepontwikkeling. Bij de simulatie van de zeereepontwikkeling moet een onderscheid gemaakt worden tussen overstuiving (negatieve groei) en werkelijke groei. De mate van overstuiving en de mate van groei zijn onderling van elkaar afhankelijk. Overstuiving (meestal in najaar, winter of voorjaar) wordt over het algemeen in voorjaar en zomer gevolgd door werkelijke groei. Er is dus sprake van een vertraging bij de respons van vegetatie op overstuiving. De mate van groei (nieuwvorming van stengels en blad is direct gerelateerd aan de mate van overstuiving (zie bijvoorbeeld ### van der Putten??)).

De afname van vegetatiebedekking door overstuiving kan ook tijdelijk zijn. Vaak gaat overstuiving gepaard met neerslag. Als de vegetatie ten gevolge van neerslag nat wordt, betekent dit over het algemeen dat het overstuivende zand op de vegetatie blijft plakken. Er blijft dan, in feite boven op de vegetatie, een plak zand liggen. In vrij korte tijd kan de vegetatiebedekking dan tot nul gereduceerd worden. Na verloop van een aantal dagen zal een deel van dit zand tussen de stengels wegzakken en neemt de vegetatiebedekking weer toe. De complexiteit van dit proces, en de onbekendheid van een aantal factoren maakt dat dit proces voorlopig niet kwantificeerbaar is. Daarom is in deze fase voor een zeer simplistische benadering gekozen. Om een indruk te krijgen van de invloed van meegroeiende vegetatie op de ontwikkeling van het profiel, is in het SAFE model een aantal eenvoudige groeifuncties aangebracht die een verschillende meegroeisnelheid vertegenwoordigen.

3.1 Modelbeschrijving

De groeifuncties lopen van 0 : 1 groei, d.w.z. geen vegetatiegroei bij depositie, via 1/3 : 1 en 2/3 : 1 tot 1 : 1, d.w.z. een vegetatiegroei die gelijk is aan de depositie van zand (zie figuur 3.1). Effectief betekent de laatste dat de vegetatiehoogte over het profiel altijd constant blijft, ongeacht de depositie van zand. Alleen bij erosie kan de hoogte van de vegetatie groter worden dan de oorspronkelijke waarde.

Zie ook stroomschema, wanneer wordt groei berekend (figuur 2.1.b)

3.2 Gevoeligheidsanalyse

Ook de gevoeligheidsanalyse van de vegetatiegroei is uitgevoerd volgens dezelfde methode zoals is gebruikt in de vorige rapportage bij simulatieserie 2 door Van Dijk (1995, pp.4.7). Hierbij wordt uitgegaan van een horizontaal vlak waarbij de benedenwindse helft is bedekt met vegetatie. De resultaten hiervan staan afgebeeld in figuur 3.3 met betrekking tot de vier variabelen 1) kritische wrijvingsnelheid (U^*_t), 2) wrijvingsnelheid (U^*), 3) sedimenttransport (Q) en 4) de topografie van het profiel. Opnieuw is gebruik gemaakt van versie 0.22 van HILL.

Per groeifunctie (0:1, 1/3:1, 2/3:1 en 1:1) is een simulatie doorgerekend uitgaande van de door Van Dijk gebruikte parameterinstelling, waarvan de belangrijkste zijn:

- referentiewrijvingsnelheid: U^*_{ref} 0.4 m/s
- relatieve luchtvochtigheid: RV 80%,
- vegetatie halverwege, hoogte 0.3 m

- dichtheid 30 planten per m²
 - simulatie periode 2 dagen
 - tijdstap 0.01 dag
 - afstandstapgrootte 0.5 meter
 - kritische hoogteverandering 0.05 meter
- (waarbij het HILL-model opnieuw wordt gedraaid. Overigens is de windrichting hierbij normaal op de zeereep.)

De resultaten van deze simulatieserie leiden tot de volgende constatering en interpretatie met betrekking tot een toename van de vegetatiegroeisnelheid:

- 1) Bij een 0:1 'groei' concentreert de depositie zich in eerste instantie bij de overgang van kaal naar begroeid. Hierbij wordt de vegetatie in het overgangsgebied langzaam begraven, waarna vervolgens het depositiemaximum zich benedenwinds verplaatst. Hierdoor ontstaat uiteindelijk altijd een zogenaamde 'plak-depositie', waarbij de hoogte van de plak afhankelijk is van de initiële hoogte van de aanwezige vegetatie.
- 2) Bij een werkelijke meegroei van de vegetatie wordt de begraving van de vegetatie echter vertraagd of zelfs opgeheven (bij een 1:1 groei), waardoor het depositiemaximum minder snel of zelfs in het geheel niet benedenwinds verplaatst. Doordat de depositie over een langere periode (of zelfs in het geheel) op de overgang is geconcentreerd, wordt ook de topografieverandering van belang, die vervolgens een dusdanige invloed uitoefent op de windstroming dat zelfs al is de vegetatie uiteindelijk begraven er al een nieuw duin is ontwikkeld die verdere depositie ter plekke veroorzaakt. Terwijl bij een 0:1-groei de depositie net zo groot moet zijn als de initiële hoogte van de vegetatie, moet de totale depositie bij een 2/3:1-groei drie maal de initiële hoogte bedragen om de vegetatie te begraven en wordt bij een 1:1-groei de vegetatie zelfs in het geheel niet begraven.

3.3 Beperkingen

Bij de groeifuncties wordt geen rekening gehouden met de snelheid van depositie, oftewel met de tijdsduur waarbinnen een nieuwe hoogteverandering is opgetreden. Bij elke nieuwe tijdstap in het SAFE-model, wordt onmiddellijk de nieuwe hoogte van de vegetatie berekend aan de hand van de gehanteerde groeifunctie. Dit betekent dat bij een 1:1 groei de vegetatie altijd meegroeit met de depositie, ongeacht of die depositie binnen een dag of binnen een jaar is opgetreden. In de gevoeligheidsanalyse wordt een periode van twee dagen gesimuleerd, waarbij, naast anderen, ook een 1:1 groei wordt toegepast. Natuurlijk kan vegetatie niet in twee dagen meegroeien met hoogteveranderingen. De werkelijke groei van vegetatie speelt zich af in bepaalde perioden van het jaar. Een simulatie van twee dagen met een 1:1 groei is dan ook beter te vergelijken met een periode van een half tot een heel jaar in werkelijkheid.

3.4 Aanbevelingen

Om een meer realistische simulatie van vegetatiegroei mogelijk te maken, moeten groeifuncties worden gebruikt die gerelateerd zijn met absolute tijdsperioden (maanden of jaren) zodat alleen bij simulatie van grotere tijdspannen de groei van de vegetatie van invloed wordt. Bovendien moet de vegetatiegroei zich niet gedurende de gehele periode afspelen, maar alleen gedurende bepaalde groeiperioden. Dit houdt in dat er een bepaalde groeicyclus moet worden geïntroduceerd die de jaarlijkse gang van de vegetatie simuleert.

Vooralsnog, dient voor een realistische simulatie bij korte tijdspannen de 0:1 groei te worden gebruikt, en bij langere tijdspannen 1/3:1 of 2/3:1. Een 1:1 groei wordt pas realistisch indien een tijdstap van een half tot een heel jaar wordt gebruikt.

4 VARIABILITEIT IN DE VEGETATIE

Op grond van visuele waarnemingen bestaat het idee dat de vegetatiedichtheid door het jaar heen varieert ten gevolge van verschillen in aanwezig biomassa in de verschillende seizoenen. In het groeiseizoen (juni-september) zou de dichtheid groter zijn dan in de winter. Dit zou belangrijke gevolgen voor het zandtransport en daarmee de zeereepontwikkeling kunnen hebben. Bij een dichtere bedekking in de zomer, zal er minder transport landwaarts plaats vinden, en zal depositie zich beperken tot de voorzijde van de zeereep.

In een eerdere rapportage (Van Dijk, 1996) werd reeds aandacht besteed aan opnamen van vegetatiedichtheid in november 1995. In dit rapport worden deze opnamen vergeleken met enkele opnamen uit de zomer van 1996. Hier wordt alleen aandacht besteed aan de reguliere zeereepvegetatie (helm en biestarwegras). Eventuele annuellen die in de zomer voorkomen, en ook bijdragen aan een grotere vegetatiedichtheid worden hier buiten beschouwing gelaten.

eenjarige planten

Bij het kwantificeren van de invloed van vegetatie op het zandtransport in de zeereep wordt bij het SAFE model uitgegaan van twee belangrijke variabelen: de bedekkingsgraad en de fysiologie van de vegetatie (planthoogte, bladdiameter etc.). De laatste parameters zijn nodig voor de berekening van de FAI (Frontal Area Index) en de ruwheidslengte z_0 (zie Van Dijk et al., 1995, vergelijkingen 4.5 en 4.7).

Om eventuele seizoensvariatie te onderzoeken zijn op drie lokaties metingen verricht aan de bedekking en de fysiologie van de vegetatie. De drie lokaties zijn:

- 1) de zeereep nabij Groote Keeten (ter hoogte van kilometerpaal 10),
- 2) de zeereep ten zuiden van Zandvoort (bij kilometerpaal 73.25),
- 3) de zeereep nabij paal 9 op Schouwen.

Voor een uitgebreide beschrijving van deze lokaties met betrekking tot de aanwezige vegetatie wordt verwezen naar Van Dijk (1996).

De vegetatieonderzoeken vonden plaats in de herfst van 1995 en de zomer van 1996 (zie ook overzicht in tabel 4.1). Dit deelonderzoek is echter nog niet afgerond, daar er nog een tweede wintermeting zal worden verricht in de herfst/winter van 1996. Deze tweede wintermeting is voornamelijk bedoeld om te controleren of de gemeten variatie daadwerkelijk toe te schrijven is aan seizoensverschillen of dat ze wellicht deel uit maken van een mogelijke trend door de jaren heen. De hier gepresenteerde resultaten en de daaruit getrokken conclusies kunnen dan ook nog niet als definitief worden beschouwd.

Dit hoofdstuk is in twee delen opgesplitst, waarbij het eerste deel een vergelijking van opnamemethoden behandelt, en het tweede deel de variatie in vegetatiekenmerken door het jaar heen.

4.1 Opname van vegetatiedichtheid; kanttekeningen bij de methodiek

Het deelonderzoek naar seizoensvariatie is enigszins bemoeilijkt doordat op de verschillende lokaties en in de verschillende seizoenen niet consequent dezelfde methoden zijn gebruikt om de vegetatiebedekking te bemeten. Daardoor is vergelijking niet altijd eenvoudig. Dit gedeelte behandelt de verschillende onderzoeksmethoden, hun betrouwbaarheid en vergelijkbaarheid,

om vervolgens uitspraken te kunnen doen over de variabiliteit in vegetatiebedekking in ruimtelijke en temporele zin (binnen een seizoen). Hierbij is van belang om de verschillende soorten variabiliteit te kunnen onderscheiden, zodat de variabiliteit die het doel is van het onderzoek, namelijk de variabiliteit tussen seizoenen, goed te kunnen kwantificeren.

Tabel 4.1 Overzicht van het aantal raaien per seizoen per locatie en de gebruikte meetmethode.

locatie	seizoen	raainr.	methode
Groote Keeten	zomer I (juni 96)	1	meetlint
		2	meetlint
	zomer II (sept.96)	1a (= I.1)	meetlint
		1b	meetlint
		1c	meetlint
		2a (= I.2)	meetlint
	winter (nov.95)	2a'	meetlint
	1	meetlint & stokwerp	
Rijnland	zomer (juni 96)	1	meetlint & Munsel
		2	meetlint & Munsel
		3	meetlint & Munsel
	winter (nov.95)	1	stokwerp & Munsel
		2	stokwerp & Munsel
Schouwen	zomer (juni 96)	1	meetlint
		2	meetlint
	winter (nov.95)	1	meetlint
		2	meetlint

4.1.1 De verschillende toegepaste methoden

In de loop van het onderzoek zijn drie verschillende methoden toegepast om de oppervlaktebedekking van de vegetatie te meten.

1) Schattingen met behulp van de Munsel-schaal.

Bij deze methode is de raai opgedeeld in vakken van 5 meter lengte en vervolgens is per vak een oppervlakte van 5 X 5 m² beoordeeld op de (gemiddelde) vegetatiebedekking met behulp van de Munsel-schaal. Deze methode wordt in het vervolg aangeduid met de 'Munselmethode'.

2) Schattingen met behulp van een geworpen stok.

Bij deze methode is de raai wederom in vakken van 5 meter lengte opgedeeld en vervolgens is per vak een oppervlakte van 5 X 5 m² bepaald. In dit oppervlak wordt een anderhalf meter lange stok geworpen, op een random wijze. Nadat deze stok op een bepaalde plek is neergekomen, wordt per 10 cm langs deze stok de bedekkingsgraad bepaald in klassen van 0 (geen zichtbare vegetatiebedekking) tot 5 (geen bodemoppervlak zichtbaar), waarbij elke klasse staat voor 20% bedekking.

Vervolgens kan dan per 25 m²-vak de gemiddelde bedekkingsgraad worden berekend uit de 15 metingen langs de stok. Voorwaarde bij deze methode is, dat de stok per vak een aantal malen wordt geworpen en gemeten, om daardoor de invloed van vegetatieclustering in de vakken op de metingen zo klein mogelijk te houden. Deze methode wordt in het vervolg aangeduid met de 'stokwerpmethode'.

3) Schattingen langs een meetlint.

Bij deze methode wordt een meetlint over de raai gelegd, waarna per 10 cm de bedekkingsgraad langs het lint wordt bepaald in klassen (0 tot 5). Vervolgens kan per 5 meter de gemiddelde bedekkingsgraad worden berekend. Deze methode wordt in het vervolg aangeduid met de 'meetlintmethode'. Deze methode geeft geen directe informatie over de bedekking van een oppervlak.

4.1.2 Vergelijking van de methoden

Met behulp van de verrichtte metingen aan vegetatiebedekking is onderzocht of en hoe de verschillende methoden met elkaar vergelijkbaar zijn. Hierbij is het onderzoek gelimiteerd door het feit dat niet op elke locatie alle verschillende methoden tegelijkertijd zijn gebruikt. Daardoor zijn de verschillende methoden slechts op een bepaalde locatie te vergelijken. Aangezien de vegetatiestructuur van de verschillende locaties niet overeenkomen, kan dit implicaties hebben voor de conclusies die aan deze vergelijkingen verbonden zijn.

Munsel-schatting versus meetlint en stokwerpen

Alleen op de locatie Rijnland zijn Munsel-schattingen consequent uitgevoerd naast de meetlintmethode (in de zomermetingen) en de stokwerpmethode (in de wintermetingen).

Per raai-opname is de correlatie tussen de Munsel- en een van de andere methoden berekend:

winterprofiel 1: correlatie coefficient (r) = 0.92 (Munsel vs. stokwerp) (##n=)

winterprofiel 2: correlatie coefficient (r) = 0.92 (Munsel vs. stokwerp) (##n=)

zomerprofiel 1: correlatie coefficient (r) = 0.99 (Munsel vs. meetlint) (##n=)

zomerprofiel 2: correlatie coefficient (r) = 0.98 (Munsel vs. meetlint) (##n=)

zomerprofiel 3: correlatie coefficient (r) = 0.97 (Munsel vs. meetlint) (##n=)

Aangezien het bij de bovenstaande correlaties slechts om 6 vergelijkende meetwaarden per profiel gaat, is de volgende constatering echter van meer waarde: alle verschillende raaimetingen bij elkaar genomen hebben een correlatiecoefficient van 0.97 tussen de Munsel methode enerzijds en de stokwerp- en meetlintmethode anderzijds. Deze correlatie is gebaseerd op 30 meetwaarden en hiermee is de hoge correlatie tussen de methoden beter gefundeerd. De hoge correlatie betekent dat de lijnmetingen (uitgemiddeld over 5 meter) een goede schatting geven van de plot-variantie binnen 25 m²-vakken. De conclusie lijkt gerechtvaardigd dat de meetlintmethode (lijn-opname) een redelijke schatting geeft voor de bedekking van een oppervlak. Dit is logisch wanneer binnen een 25 m²-vak de patronen van clustering homogeen zijn.

Stokwerp versus meetlint

De vergelijking tussen stokwerp- en meetlintmethode is slechts mogelijk op een locatie, Grootte Keeten, waar op twee verschillende datums in de zomer van 1996 (juni en september) raai metingen zijn verricht met zowel de stok- als de meetlintmethode.

Ten eerste is met behulp van de gemiddelde waarden per 5-meter vak de correlatie tussen beide meetmethoden berekend. In de eerste zomermeting ('zomer I'), komt deze correlatie op 0.89, gebaseerd op 10 meetwaarden (vakken). In de tweede zomermeting ('zomer II') op 0.86, gebaseerd op 18 meetwaarden. Hoewel de correlatie ogenschijnlijk hoog is, is deze niet echt gefundeerd daar het gebaseerd is op slechts enkele tientallen meetpunten. Daarom zijn deze opnamen grondiger onderzocht met een statistische test, de T-test, die bepaalt of de meetwaarden van de twee verschillende methoden daadwerkelijk met elkaar vergelijkbaar zijn (tot dezelfde populatie behoren). In deze test wordt de gemiddelde meetwaarde per vak meegenomen, maar ook de standaard deviatie en het aantal metingen waarop deze beide zijn gebaseerd. Met de T-test wordt dus het gemiddelde en de standaard deviatie van een 5-meter vak, gemeten met de stokwerp-methode (gebaseerd op een aantal worpen met ieder 15 10cm metingen) vergeleken met deze karakteristieken gemeten met de meetlint-methode (gebaseerd op 50 10cm metingen).

Uitgaande van een betrouwbaarheid van 95% van de uitkomst van de T-test (een algemeen gebruikt significantieniveau) levert dit de volgende resultaten:

- 1) Bij de eerste zomermeting komen 6 vakken wel overeen en 1 vak niet.
- 2) Bij de tweede zomermeting komen 7 vakken wel overeen en 8 vakken niet.

Het verschil in het totale aantal vakken per zomermeting ligt in het feit dat in de tweede zomermeting de raai over een grotere lengte is gemeten.

Kijkend naar de verdeling van de wel-en niet overeenkomende vakken in beide zomermetingen moet opgemerkt worden, dat deze geen structuur vertoont, d.w.z. de niet overeenkomende vakken liggen niet allemaal achter elkaar of allemaal aan een kant van de raai. Hoewel de correlatie tussen beide methoden hoog lijkt, moet geconcludeerd worden, dat zeker in de tweede zomermeting de vergelijkbaarheid niet significant blijkt, kijkend naar de uitkomsten van de T-tests.

Natuurlijk roept dit ook zekere vragen op over de betrouwbaarheid van de hierboven beschreven correlatie tussen de Munselmethode en de overige twee. Helaas is de hierboven beschreven T-test niet toe te passen op deze vergelijking daar er bij de Munselmethode geen sprake is van een gemiddelde waarde gebaseerd op meerdere meetwaarden. De Munsel-methode geeft slechts een enkele schatting voor het gehele 25 m²-vak en geeft geen standaard deviatie.

Gezien het grotere aantal meetwaarden gebruikt in de correlatie (30 tegenover de 10 en 18 bij de vergelijking tussen stokwerp-en meetlint-methode), is deze hoge correlatie echter toch aanvaardbaar gefundeerd.

4.1.3 Betrouwbaarheid en ruimtelijke variabiliteit

Aangezien het grootste deel van de metingen op de drie locaties met de meetlint methode is uitgevoerd, is ook onderzocht hoe betrouwbaar deze methode is ten opzichte van de ruimtelijke variabiliteit van de vegetatiebedekking op de locaties. Hierbij moet gedacht worden aan de invloed van vegetatieclustering op de meetresultaten. Bij de tweede

zomermeting op de locatie Groote Keeten is een vijftal verschillende raaimetingen verricht met de meetlint methode, te weten:

- 1a) meting aan de reguliere raai;
- 1b) een tweede meting aan de reguliere raai, waarbij het meetlint opnieuw is gelegd;
- 1c) een nieuwe raai, een halve meter ten noorden van de reguliere;
- 2a) een nieuwe raai, 10 meter ten noorden van de reguliere;
- 2a') een tweede meting aan voorgaande raai (2a) langs hetzelfde meetlint (niet verlegd).

Vervolgens is met de T-test onderzocht of deze verschillende metingen met elkaar overeenstemmen. Dit levert de volgende resultaten:

Tabel 4.2 Getoetste hypothesen met betrekking tot ruimtelijke variabiliteit.

vraag	aantal 5-meter-vakken wel/niet overeenkomend
1a = 1b ?	4 / 0
2a = 2a' ?	6 / 0
1a = 1c ?	4 / 4
1a = 2a ?	5 / 7
1b = 2a' ?	3 / 1

Deze resultaten leiden tot de volgende constatering:

- 1) De meetmethode op zich is niet gevoelig voor de schatting van de vegetatie bedekking langs het lint. Dit blijkt uit de sterke overeenkomsten tussen meting 1a & 1b en tussen meting 2a & 2a'. Hoewel de schatting enigszins subjectief is, blijken metingen langs hetzelfde lint (of over exact dezelfde raai) dezelfde resultaten op te leveren (zie figuur 4.1).
- 2) De meetmethode blijkt wel gevoelig voor de ruimtelijke variabiliteit van de vegetatie. Dit wil zeggen, dat een kleine verschuiving van het lint, of een meting over een andere raai zeer zeker niet dezelfde resultaten geeft. Dit blijkt uit de zwakke overeenkomsten tussen metingen 1a & 1c, 1a & 2a, en 1b & 2a'. In dit verband is vooral de vergelijking tussen 1a & 1c van belang, waar slechts sprake is van een halve meter verschil tussen de twee raaien. In figuur 4.2 zijn de gemeten bedekkingspercentages gemiddeld per meter van beide raaien bij elkaar gezet (over de profiel lengte). Hierbij is duidelijk zichtbaar dat op een aantal plekken de twee metingen tegenstrijdige resultaten opleveren.

4.1.4 Conclusies met betrekking tot opname

Uit het bovenstaande vergelijkingsonderzoek blijkt, dat voor het meten van de vegetatiebedekking een methode moet worden gebruikt die daadwerkelijk een oppervlak betreft, en niet een methode die slechts langs één twee-dimensionale lijn vegetatiebedekkingen bemeet. De enige wijze waarop een twee-dimensionale meetmethode, zoals de meetlintmethode, kan worden gebruikt, is door over een breedte van enkele meters meerdere raaien te bemeten om zodoende tot een betrouwbaar gemiddelde te komen. Hoewel in eerste instantie werd geconcludeerd dat de meetlintmethode bruikbaar is voor een goede schatting voor de bedekking van een oppervlak, hetgeen impliceerde dat de exacte locatie van een raai binnen

een 25 m²-vak geen invloed op het resultaat had, blijkt uit de hier gepresenteerde informatie dat dit toch niet helemaal opgaat. Blijkbaar zijn de patronen in vegetatie-clustering minder homogeen dan aanvankelijk werd gedacht.

Voor het betrouwbaar meten van vegetatiebedekking langs een profiel heeft de meetlint-methode een aantal voordelen, mits deze methode goed gebruikt wordt:

- 1) Door de metingen per 10cm wordt een hoge mate van detail verkregen, die onderzoek mogelijk maakt naar clustering van en patronen in de vegetatie. Deze clustering kan een belangrijke rol spelen in het zandtransportproces over het profiel (Hagen en Armbrust, 1994). De andere twee methoden bieden in dat opzicht minder mogelijkheden.
- 2) Kijkend naar een individuele raai, zijn de vegetatiemetingen zeer betrouwbaar en objectief. Dit blijkt uit de hoge mate van overeenkomst tussen verschillende metingen verricht aan dezelfde raai: metingen 1a & 1b en metingen 2a & 2a'.
- 3) Per profiel zullen echter een aantal raaien moeten worden bemeaten om de invloed van ruimtelijke variabiliteit van de vegetatie in het gemiddelde uit te sluiten. Een aantal van 5 of meer raaimetingen, elk met 1/2 tot 1 meter tussenruimte, moet voldoende zijn om tot een representatieve beschrijving van de vegetatiebedekking over het profiel te komen.
- 4) De metingen zijn weinig tijdsintensief, waardoor op een locatie gedurende een dag een aantal raaien kunnen worden opgemeten.

4.2 Seizoensvariatie in vegetatiebedekking

Bij de hierna gepresenteerde resultaten moet in het achterhoofd worden gehouden, dat op bijna alle locaties de profielen slechts over twee raaien gemeten zijn. In de bovenstaande paragraaf is duidelijk gemaakt dat dit slechts matig betrouwbare resultaten geeft. Daarnaast zijn ook weinig gegevens beschikbaar over de invloed van overstuiving van de vegetatie op de bedekking. De hierna gepresenteerde resultaten kunnen dan ook een vertekend beeld geven.

Daar in de zomer van 1996 op twee verschillende datums (juni en september) op de locatie Groote Keeten dezelfde raaien zijn opgemeten met de meetlintmethode, is een vergelijking mogelijk om de variatie binnen het zomerseizoen vast te stellen. Wederom is hiervoor de T-test toegepast per vijf meter vak, om vast te stellen of de meetresultaten van beide datums statistisch met elkaar overeenkomen. Bij elke zomermeting zijn twee raaien opgemeten, de reguliere raai (zI) en een raai 10 meter ten noorden daarvan (zII).

Tabel 4.3 Getoetste hypothesen met betrekking tot temporele variabiliteit.

vraag	aantal 5-meter-vakken wel/niet overeenkomend
z1 [juni] = z1 [september] ?	2 / 8
z2 [juni] = z2 [september] ?	2 / 8

De figuren 4.3 en 4.4 tonen het verloop van de vegetatie voor beide datums in elke raai, uitgemiddeld per meter (10 decimetermetingen). Uit deze beide gegevens blijkt dat de variatie

binnen een zomerseizoen al vrij groot is. Dit kan echter ook een gevolg zijn van de gevoeligheid voor de ruimtelijke variatie in de vegetatie van de meetlintmethode. Door een kleine verschuiving van het meetlint kan al een variatie in de meetwaarden ontstaan. Waarschijnlijker echter is dat de variatie het gevolg is van overstuiving in september. In de week voorafgaande aan de opname is er een flinke hoeveelheid zand over de vegetatie (met name nabij de duinvoet) afgezet. Dit levert een "seizoensvariatie" op die niet het gevolg is van groei in het groeiseizoen, maar van overstuiving.

Op alle drie locaties zijn zomer-en wintermetingen verricht, met afwisselende meetmethoden. Tabel 4.1 toont een overzicht van de verschillende raaien die per seizoen zijn gemeten en met welke methode zij zijn ingemeten.

Ten eerste zijn de metingen van de zomer-en winterraaien per locatie vergeleken met behulp van een T-test per 5-meter vak. Doordat de T-test gebruik maakt van algemene statistische karakteristieken van de metingen, zijn hiermee metingen met behulp van de stokwerp- en de meetlint methode met elkaar te vergelijken. Aangezien er binnen elk seizoen meerdere raaien zijn gemeten (weliswaar met 10 meter tussenafstand) is ook een aanvullende vergelijking mogelijk over de variatie van de vegetatiebedekking langs het profiel binnen een seizoen en ruimtelijk gezien. Deze variatie wordt intra-seizoensvariatie genoemd (als gevolg van òf ruimtelijke variatie òf temporele variatie binnen een seizoen), versus inter-seizoensvariatie als zijnde variatie tussen de verschillende seizoenen.

Tabel 4.4 Getoetste hypothesen met betrekking tot variabiliteit in ruimte en tijd.

locatie	vraag	aantal 5-meter-vakken wel/niet overeenkomend
<u>Groote Keeten:</u>		
intra-seizoensvariatie (ruimtelijk)	$z1 = z2 ?$	4 / 6
inter-seizoensvariatie	$w1 = z1 ?$	2 / 5
	$w1 = z2 ?$	2 / 5
<u>Rijnland:</u>		
intra-seizoensvariatie (ruimtelijk)	$z1 = z2 ?$	2 / 4
	$z2 = z3 ?$	3 / 3
	$z1 = z3 ?$	4 / 2
	$w1 = w2 ?$	3 / 3
inter-seizoensvariatie	$w1 = z1 ?$	2 / 4
	$w2 = z2 ?$	1 / 5
<u>Schouwen:</u>		
intra-seizoensvariatie (ruimtelijk)	$z1 = z2 ?$	7 / 5
	$w1 = w2 ?$	5 / 7
inter-seizoensvariatie	$w1 = z1 ?$	6 / 6
	$w2 = z2 ?$	6 / 6

('z#': zomermeting raai #; 'w#': wintermeting raai #).

Deze resultaten leveren de volgende constatering:

Uit de vergelijkingen aangaande de intra-seizoensvariatie (ruimtelijk) blijkt nog eens dat deze op alle locaties vrij hoog is. Er zijn praktisch geen locaties waar de raaien binnen een seizoen goed overeenkomen en dit heeft tot gevolg dat de resultaten aangaande de inter-seizoensvariatie slechts beperkt bruikbaar zijn. Om deze problematiek te verduidelijken zijn in de figuren 4.5 en 4.6 de beide soorten variatie over het profiel uitgezet voor de locatie Schouwen en de locatie Groote Keeten. Wel kan geconcludeerd worden dat de temporele variatie groter is dan de ruimtelijke variatie, omdat uit de toetsen blijkt dat in geval van ruimtelijke vergelijking een beduidend groter aantal vakken overeenkomt dan in geval van temporele vergelijking.

4.3 Seizoensvariatie in de fysiologie van de vegetatie

In het SAFE model wordt de invloed van de vegetatie op de wind, en daarmee het zandtransport, berekend aan de hand van de Frontal Area Index (FAI). Deze FAI wordt berekend uit de dichtheid van de planten op het oppervlak (oftewel de bedekking), en uit de gemiddelde individuele FAI van de plantensoort die daar aanwezig is. Naast de FAI wordt ook rekening gehouden met de gemiddelde hoogte van de vegetatie. Daarom is het van belang om, naast de kennis over de vegetatiebedekking, een kwantitatieve formulering te hebben voor de seizoensvariatie in de plantenfysiologie, met name de hoogte en de individuele FAI .

Tijdens de vegetatieopnamen op de verschillende locaties in winter en zomer (de eerste zomermeting), is een groot aantal monsters van de aanwezige vegetatiesoorten meegenomen uit het veld. Hierbij gaat het om monsters van de soorten helm, duinzwenkgras en biestarwegras. Deze monsters zijn uit een viertal segmenten over de raai genomen, namelijk de duinvoet, de voorhelling, de duintop en het binnenduin. Vervolgens zijn van deze monsters een aantal fysiologische eigenschappen gemeten, te weten: stamhoogte, stamdiameter, bladhoogte, bladdiameter, bladlengte (gestrekt) en het aantal bladeren per stam. Voor een verdere omschrijving van deze eigenschappen en hoe ze gemeten zijn, wordt verwezen naar de rapportage van Van Dijk (1996), pp.3.2.

De gegevens aangaande de plantenfysiologie zijn vervolgens onderzocht op (al dan niet aanwezige) seizoensvariatie en de eventuele kwantificering daarvan. De hierna volgende resultaten zijn opgedeeld in een paragraaf over de vegetatiehoogte en een paragraaf over de overige fysiologische eigenschappen. Daarbij moet worden vermeld dat duinzwenkgras alleen voorkwam op de locatie Rijnland, en biestarwegras alleen voorkwam op de locatie Groote Keeten. Omdat alleen de helm op alle drie de locaties voorkomt en daarbij ook het meest overheersend aanwezig is, heeft het onderzoek zich voornamelijk geconcentreerd op deze soort.

4.3.1 Verschillen tussen soorten

Tabel 4.5 toont een kort overzicht van de gemiddelde hoogte per plantensoort (gemiddeld over alle locaties) in zomer en winter. In deze tabel is te zien dat er duidelijke verschillen zijn tussen de verschillende plantensoorten. Bovendien blijkt dat de seizoensverschillen per soort kleiner zijn dan de verschillen tussen de soorten. Dit bevestigt de duidelijke fysiologische verscheidenheid van de drie plantensoorten.

Tabel 4.5 Gemiddelden (in cm) en standaard deviaties voor de planthoogte per soort.

locatie	gemiddelde		stand.dev.	
	winter	zomer	winter	zomer
helm	47	48	15.6	13.5
duinzwenkgras	16	12	2.9	2.9
biestarwegras	38	27	5.1	5.8

4.3.2 Hoogte

In figuur 4.7.a zijn voor de plantensoort helm boxplots afgebeeld van de gemiddelde planthoogte per locatie. Hier is goed te zien dat de helm weinig seizoensvariatie vertoont in de gemiddelde planthoogte. Ook is de seizoensvariatie per locatie onderzocht met behulp van een T-test (95% betrouwbaarheids-interval). De resultaten daarvan zijn weergegeven in tabel 4.6. Hieruit moeten worden geconcludeerd dat alleen op de locatie Grote Keeten de gemiddelde planthoogte significant hoger is in de winter (met een P-waarde die bijna op de grens van het betrouwbaarheids-interval ligt), terwijl op de overige twee locaties geen significante seizoensvariatie aantoonbaar is. Daarnaast blijkt dat de ruimtelijke variabiliteit (de standaard deviatie van de planthoogte per seizoen) in zomer en winter alleen op de locatie Schouwen gelijk is.

Tabel 4.6 Gemiddelden (in cm), standaard deviaties en T-test uitkomsten voor de planthoogte van helm per locatie.

locatie	gemiddelde		stand.dev.		P-waarde	T-test uitkomst
	winter	zomer	winter	zomer		
Gr.Keeten	54	44	14.6	23.1	0.04	hoger in winter
Rijnland	33	29	15.2	18.1	0.19	gelijk
Schouwen	37	38	13.8	13.0	0.62	gelijk

Voor een betere analyse van de variatie in de planthoogte is ook elke locatie per segment onderzocht op de seizoensvariatie. De boxplots hierbij zijn te zien in figuur 4.7 (b t/m d), de resultaten van de T-test in tabel 4.7. Uit de boxplots blijkt dat seizoensvariatie zichtbaar wordt, maar ook dat voor alle locaties op minstens een segment geen gegevens beschikbaar zijn. Van de in totaal 11 segmenten (alle locaties bij elkaar) zijn er slechts voor 5 segmenten gegevens beschikbaar uit beide seizoenen. Tabel 4.7 toont dan ook alleen deze 5 segmenten. Uit de figuren en de tabel blijkt dat er geen algemene trend lijkt te bestaan in de seizoensvariatie, integendeel, uitgaande van een betrouwbaarheids-interval van 5% hebben drie van de te onderzoeken segmenten geen significante seizoensvariatie en is de planthoogte op de overige twee hoger in de winter.

Tabel 4.7 Gemiddelden (cm), standaard deviaties en T-test uitkomsten per segment per locatie voor de planthoogte.

locatie	gemiddelde		stand.dev.		P-waarde	T-test uitkomst
	winter	zomer	winter	zomer		
Gr.Keeten						
segm. 1	51	23	15.8	18.1	0.00	hoger in winter
segm. 2	59		11.7			
segm. 3						
segm. 4		63	14.8			
Rijnland						
segm. 1	31	29	15.8	18.1	0.5	gelijk
segm. 2	27		13.9			
segm. 3	40		12.7			
segm. 4						
Schouwen						
segm. 1	38	41	10.6	11.5	0.46	gelijk
segm. 2	49	35	12.3	17.2	0.04	hoger in winter
segm. 3	28	35	12.7	7.7	0.08	gelijk
segm. 4		42		10.8		

4.3.3 Overige fysiologische parameters

Als belangrijkste fysiologische parameter geeft de individuele FAI (per plant) een goede opsomming van alle overige fysiologische eigenschappen die gemeten zijn aan de monsters, zoals bladhoogte, stamhoogte, bladdiameter etc., en wordt ook betrokken in de berekening van de normale FAI (per vierkante meter) die de invloed van de vegetatie op zandtransport bepaalt.

In figuur 4.8.a zijn daarom voor helm de boxplots van de individuele FAI per seizoen afgebeeld. Deze figuur geeft aan dat bij alle locaties een significant verschil in individuele FAI tussen zomer en winter aanwezig is (waarbij echter de trend richting een hogere individuele FAI in de winter gaat), wat ook wordt bevestigd door de T-test die op deze parameter is uitgevoerd (tabel 4.8).

Tabel 4.8 Gemiddelden (in cm²), standaard deviaties en T-test uitkomsten voor de individuele FAI per locatie.

locatie	gemiddelde		stand.dev.		P-waarde	T-test uitkomst
	winter	zomer	winter	zomer		
Gr.Keeten	40.68	22.55	23.63	16.46	0.00	hoger in winter
Rijnland	15.66	9.97	13.13	10.66	0.02	hoger in winter
Schouwen	6.32	16.53	7.39	12.00	0.00	hoger in zomer

Ook hier is voor een betere analyse van de variatie in de individuele FAI elke locatie per segment onderzocht op de seizoensvariatie. De boxplots hierbij zijn te zien in figuur 4.8 (b t/m d), de resultaten van de T-test in tabel 4.9. Uit de boxplots blijkt dat seizoensvariatie beter zichtbaar is: vooral op de locatie Schouwen zijn er duidelijke verschillen tussen zomer en winter.

De T-test geeft aan dat twee segmenten geen seizoensvariatie vertonen en drie segmenten wel, waarvan de duinvoet bij Groote Keeten 's winters een hogere individuele FAI heeft en de duinvoet en de duintop bij Schouwen juist in de zomer een hogere individuele FAI vertonen.

Tabel 4.9 Gemiddelden, standaard deviaties en T-test uitkomsten per segment per locatie voor de individuele FAI.

locatie	gemiddelde		stand.dev.		P-waarde	T-test uitkomst
	winter	zomer	winter	zomer		
Gr.Keeten						
segm. 1	36.26	16.82	22.71	10.03	0.00	hoger in winter
segm. 2	49.53		24.10			
segm. 3						
segm. 4		27.93	19.61			
Rijnland						
segm. 1	14.98	9.97	14.06	10.66	0.11	gelijk
segm. 2	14.84		13.52			
segm. 3	17.53		11.73			
segm. 4						
Schouwen						
segm. 1	3.65	13.10	1.38	8.85	0.00	hoger in zomer
segm. 2	18.40	15.83	8.89	16.00	0.57	gelijk
segm. 3	2.68	13.74	1.28	9.18	0.00	hoger in zomer
segm. 4		18.66		10.44		

4.4 Samenvatting en conclusies

Uit de onderzoeksresultaten blijkt dat rekening dient te worden gehouden met drie soorten variatie in de vegetatiebedekking van een profiel:

- 1) De ruimtelijke intra-seizoensvariatie, als gevolg van geclusterde vegetatie en patronen in de bedekking: variatie in metingen tussen verschillende raaien in hetzelfde seizoen. Deze variatie is onderzocht op de locatie Groote Keeten in de tweede zomermeting aldaar. Daarnaast zijn ook vergelijkingen getrokken tussen raaien op de andere twee locaties (raaien met een tussenafstand van 10 meter). In alle gevallen blijkt de variatie hoog te zijn (zie paragraaf 1.3. en 2.2.).
- 2) De temporele intra-seizoensvariatie, als gevolg van veranderingen in de vegetatie tijdens een seizoen: variatie in metingen van dezelfde raai, gemeten op verschillende datums. Deze variatie is onderzocht op de locatie Groote Keeten, d.m.v. twee zomermetingen op verschillende datums. De variatie lijkt hoog te zijn, maar zou ook

- een gevolg kunnen zijn van de hoge ruimtelijke intra-seizoensvariatie (zie §2.1.).
- 3) De werkelijke seizoensvariatie: variatie in metingen van het profiel, gemeten in verschillende seizoenen. Dit is de variatie die van belang wordt geacht voor het gebruik van het SAFE model. Hoewel de variatie tussen twee seizoenen hoog lijkt, is deze met de beschikbare metingen niet overduidelijk te onderscheiden van de variatie veroorzaakt door de intra-seizoensvariatie (ruimtelijk en temporeel).
 - 4) Voor wat betreft de variatie in fysiologie, blijkt met name uit de analyse van de seizoensvariatie per segment dat een duidelijke trend in de seizoensvariatie, zover die aanwezig is, niet duidelijk is. Voor een goed beeld van de variatie over het profiel zijn alleen de gegevens voor de locatie Schouwen redelijk compleet en vertoont deze locatie ook de meeste seizoensvariatie in de individuele FAI met een gemiddeld hogere FAI in de zomer in de orde van 10 cm². Over de seizoensvariatie in planthoogte is in dit verband echter geen goede uitspraak te doen. Gezien de verschillen binnen een seizoen tussen segmenten onderling (per locatie), en de onvolledigheid van de gegevens, is een zinnige uitspraak over de seizoensvariatie per locatie (voor het gehele profiel) ook niet mogelijk.

4.5 Aanbevelingen

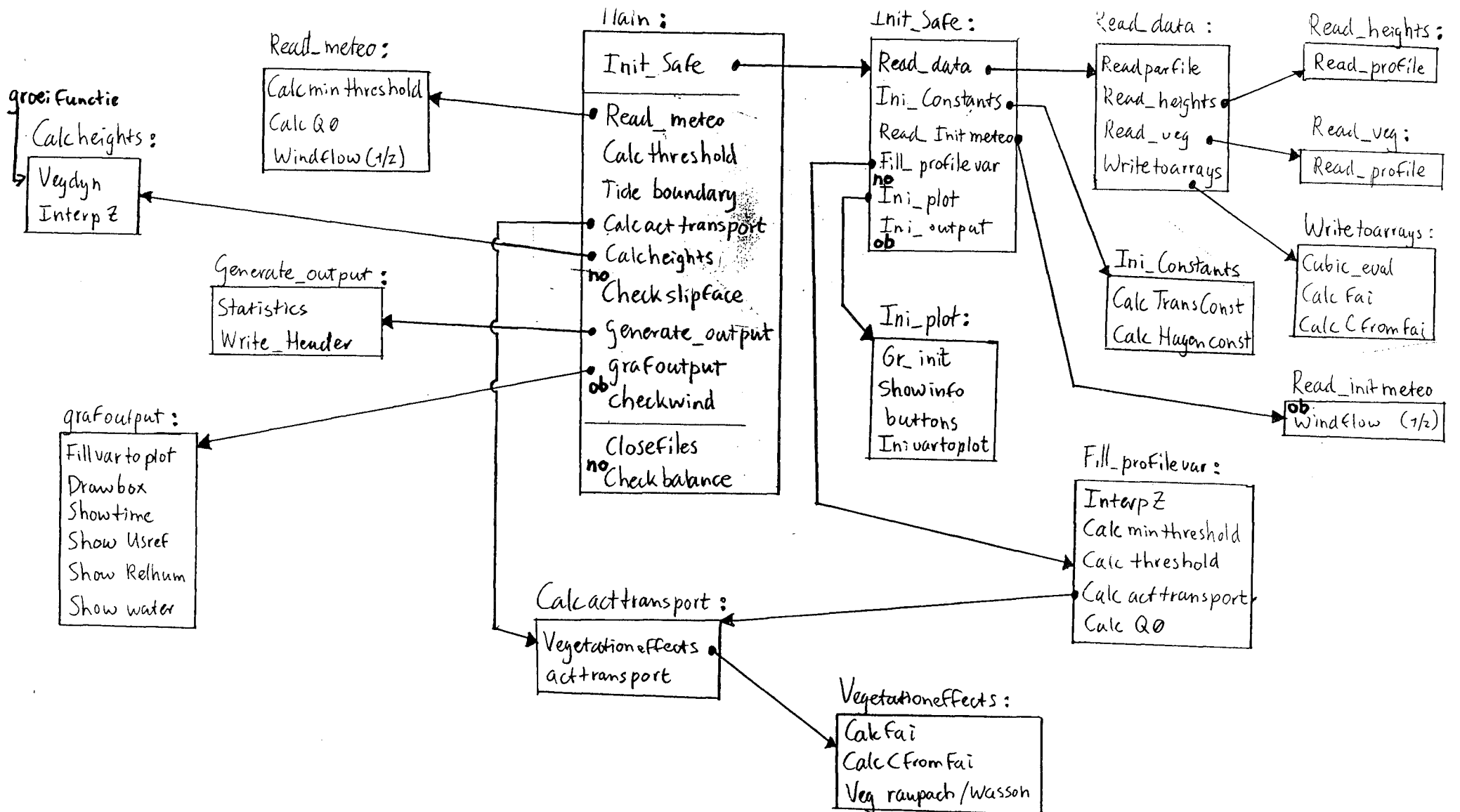
Voor het goed bepalen van seizoensvariatie in de vegetatiebedekking over een profiel, zijn aanvullende nieuwe metingen nodig op de bewuste locaties. Bij deze metingen zal per locatie een groter aantal raaien moeten worden bemeten om de invloed van de ruimtelijke variatie uit te schakelen en zodoende tot een betrouwbaar gemiddelde te komen. Bovendien zouden tegelijkertijd gegevens over de zanddepositie moeten worden verzameld. Door op deze manier per seizoen op een aantal verschillende datums metingen te verrichten wordt beter onderzoek aan de temporele intra-en interseizoensvariatie mogelijk. Dit kan dan leiden tot een algemene kwantificering van de inter-seizoensvariatie, die vervolgens kan worden toegepast in het SAFE model.

Voor het meten van de vegetatiebedekking heeft de meetlintmethode de voorkeur, omdat met deze metingen ook direct onderzoek kan worden gedaan naar de clustering van en patronen in de vegetatie; verschijnselen die van grote invloed kunnen zijn op het zandtransport proces.

Aangezien vooral de eerste 20% van de vegetatiebedekking een grote rol speelt bij de verandering in het zandtransport (bij meer dan 20% dooft het zandtransport nagenoeg uit), is het wellicht wenselijk bij de meetlintmethode een andere klasse-indeling te hanteren waardoor meer onderscheid mogelijk is binnen de eerste 20% (huidige klasse 1).

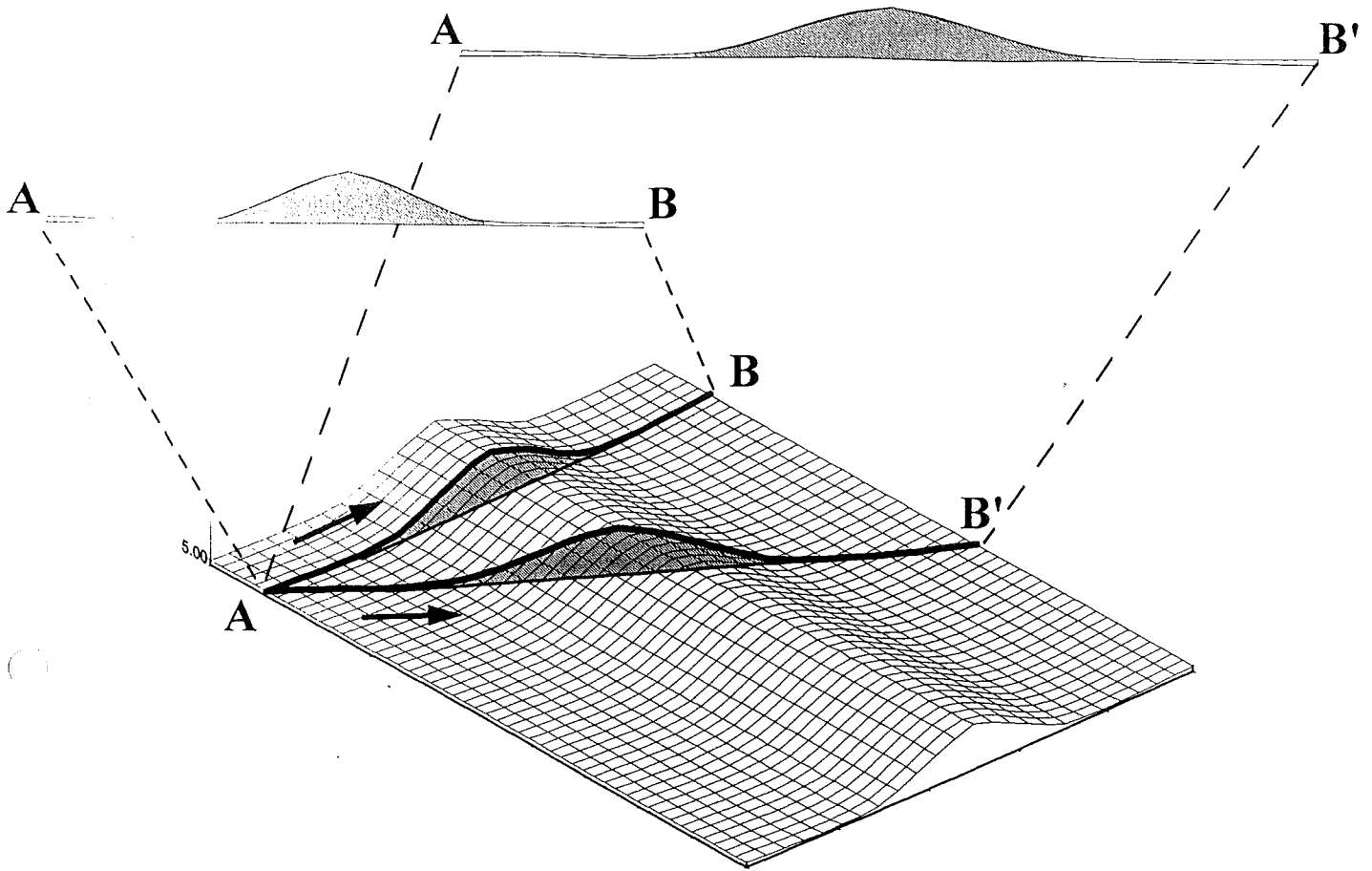
Gezien de variatie in klimatologische omstandigheden per jaar is het niet aannemelijk dat een kort onderzoek van slechts twee seizoenen een duidelijke uitspraak kan rechtvaardigen over seizoensvariatie in de fysiologie van de vegetatie. Dit blijkt ook wel uit de onbestemde resultaten van de beschikbare gegevens. Bovendien zijn er nog geen gegevens bekend over de variatie binnen een seizoen, doordat er slechts eenmaal per seizoen is bemonsterd. Ook de overstuiving heeft een grote (in dit geval negatieve) invloed op de vegetatie-parameters. Omdat overstuiving en groei elkaar tegen werken is het moeilijk de invloed van beide factoren te bepalen als slechts een aantal malen per jaar opnamen worden gemaakt. Idealiter gezien, zou voor een goed onderzoek van de vegetatiekenmerken een langlopend onderzoek

noodzakelijk zijn, waarbij over een aantal jaren per seizoen een aantal malen wordt bemonsterd en opgemeten en tevens de depositie in de loop van de tijd wordt gevolgd.



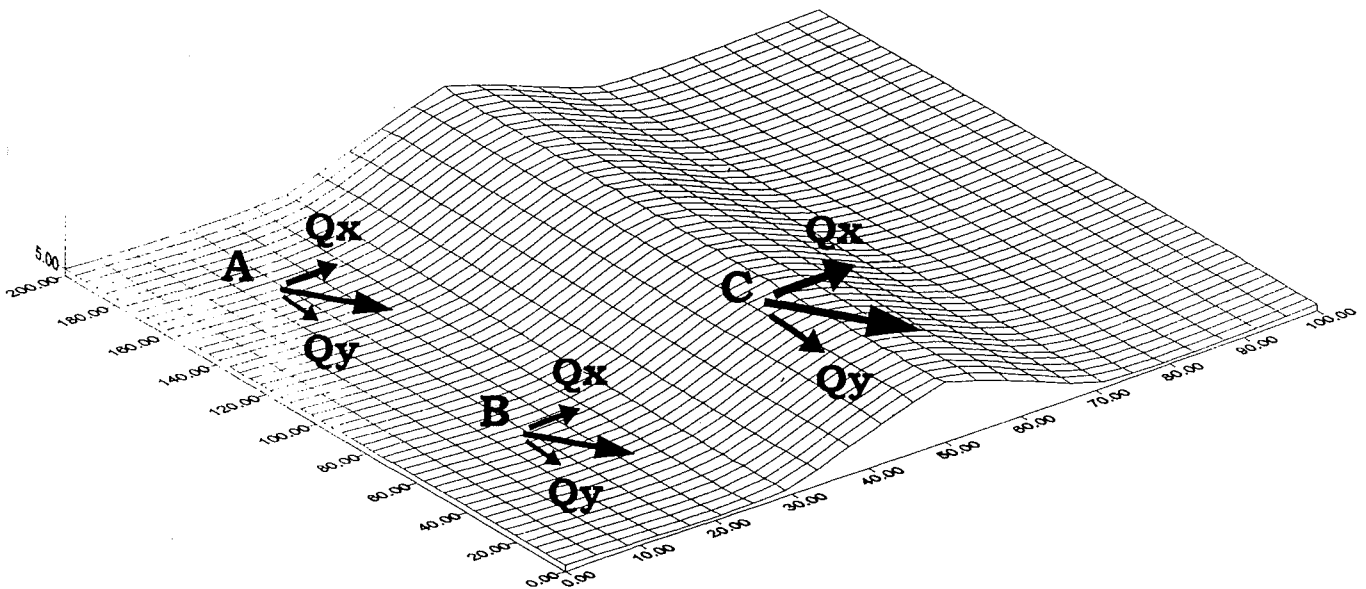
figuur 2.1.b : eenvoudig model-schema voor SAFE 1.85. Het middelste deel van 'Main' is het dynamische gedeelte (repetierend). De twee modeluitbreidingen zijn als volgt aangegeven:

- 1) windrichting: 'no' = normaal profiel, 'ob' = oblique profiel. In het model wordt op die momenten gewisseld tussen normaal en oblique profiel (d.w.z. 'no' betekent hier dat er gewisseld wordt van oblique naar normaal profiel).
- 2) vegetatiegroei: 'groei functie' op die plek in het model wordt de nieuwe hoogte van de vegetatie berekend aan de hand van de ingestelde groeifunctie. Deze aanpassing wordt bij elke nieuwe hoogteverandering ('Calc heights') doorgerekend.



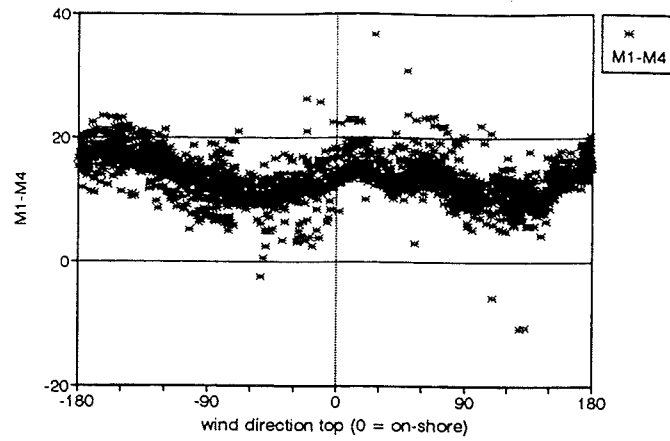
21a

Figuur 2.1: Effectief profiel bij een normale wind (loodrecht) en bij een schuin invallende wind. Bij een schuine invallende wind is het effectieve profiel langer ($A-B' > A-B$) en de hellingshoeken over het profiel zijn kleiner.

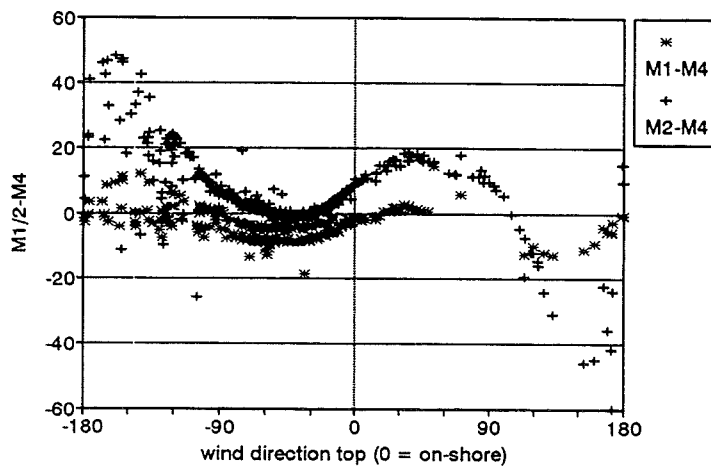


Figuur 2.3: Profielverandering als gevolg van de normale component van het zandtransport. Vanwege het constante profiel van de zeereep in de langsrichting resulteert zandtransport in die richting (Q_y) niet in hoogteveranderingen van het profiel (Q_y bij A is gelijk aan Q_y bij B). Het zandtransport in de normale richting verandert wel het profiel: Q_y bij B is anders dan Q_y bij C. In dit geval betekent dit erosie tussen B en C.

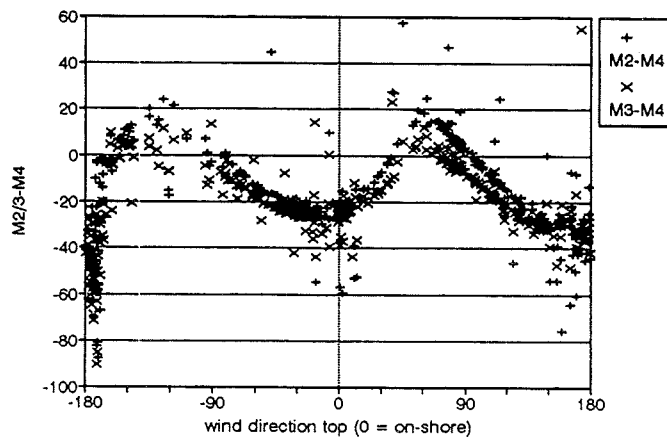
Site 1: SCHIERMONNIKOOG



Site 2: GROOTE KEETEN



Site 3: NIEUW-HAAMSTED



Figuur 4.6. Verschillen in windrichting gemeten op strand-top (Schiermonnikoog), strand-top en duinvoet-top (Groote Keeten) en duinvoet-top en duinvoet-helling (Nieuw-Haamstede).

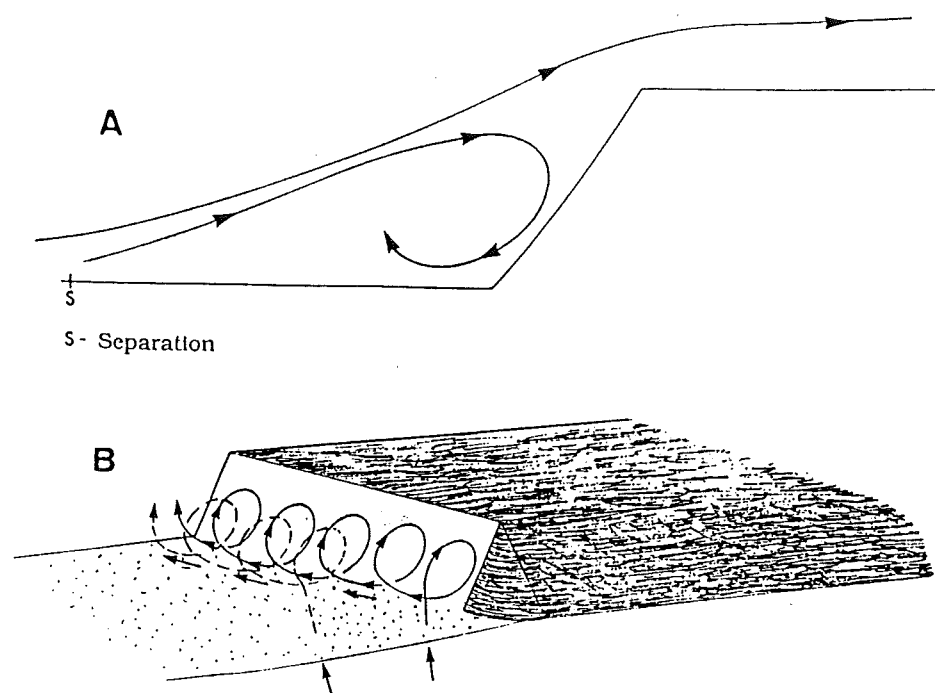


Fig. 12. A model of windflow in front of the sea cliff. A the situation in two dimensions, B a three-dimensional model in which a helical roll vortex has developed parallel to the cliff front. The arrows show the direction of the sand transport. This figure is based on field observations and wind tunnel simulations [16]

2.5

[16]. This model illustrates results from wind direction and magnitude, and sand discharge measurements (Figs. 4, 6, 7, 8, 9, 10; Tables 3, 4).

The helical roll vortex deflects the wind direction along the foot of the cliff, where wind magnitude is accelerated because more streamlines join the helical flow. This leads to an increase in sand transport along the foot of the cliff. On the northern side of the cliff, where a gap is located, another wind deflection takes place and sand penetrates inland. Immediately after this latter deflection, an abrupt abatement in wind velocity brings about deposition of sand (Figs. 7 and 8) and the formation of sand dunes there (Fig. 3). If the cliff had been constant and continuous, as in the Sharon region, sand would not be able to encroach inland from the beach.

3.2 The effect of the fetch on aeolian sand transport on the beach

The increase of sand discharge along the cliff for distance of 150 to 200 m (Fig. 10) can be interpreted as the surface distance (fetch) required for reaching a steady-state which is characterized by a specific total mass flux, an equal number of impacting and ejected grains, and a stationary wind velocity profile [2]. However, a steady state is achieved within 1 to 2 seconds [2]. A fetch value of 9 m was found to correspond to sand movement in wind tunnels [3] [6], while a fetch of 10–20 m was measured on the Dutch beach [15]. It seems probable that the high values of the surface distance required for reaching an equilibrium flow of wind and sand in the present study are the result of the diversion of the wind by the cliff front (Fig. 4) and of the subsequent boosting of its magnitude by the non-homogeneous secondary winds, while flowing along this path (Fig. 6).

toward the crest occurs.

Figure 6 shows the magnitude of deflected wind blowing parallel to the foot of the cliff during a storm from 245°. There is a gradual increase in wind velocity up to 15% between points A and B.

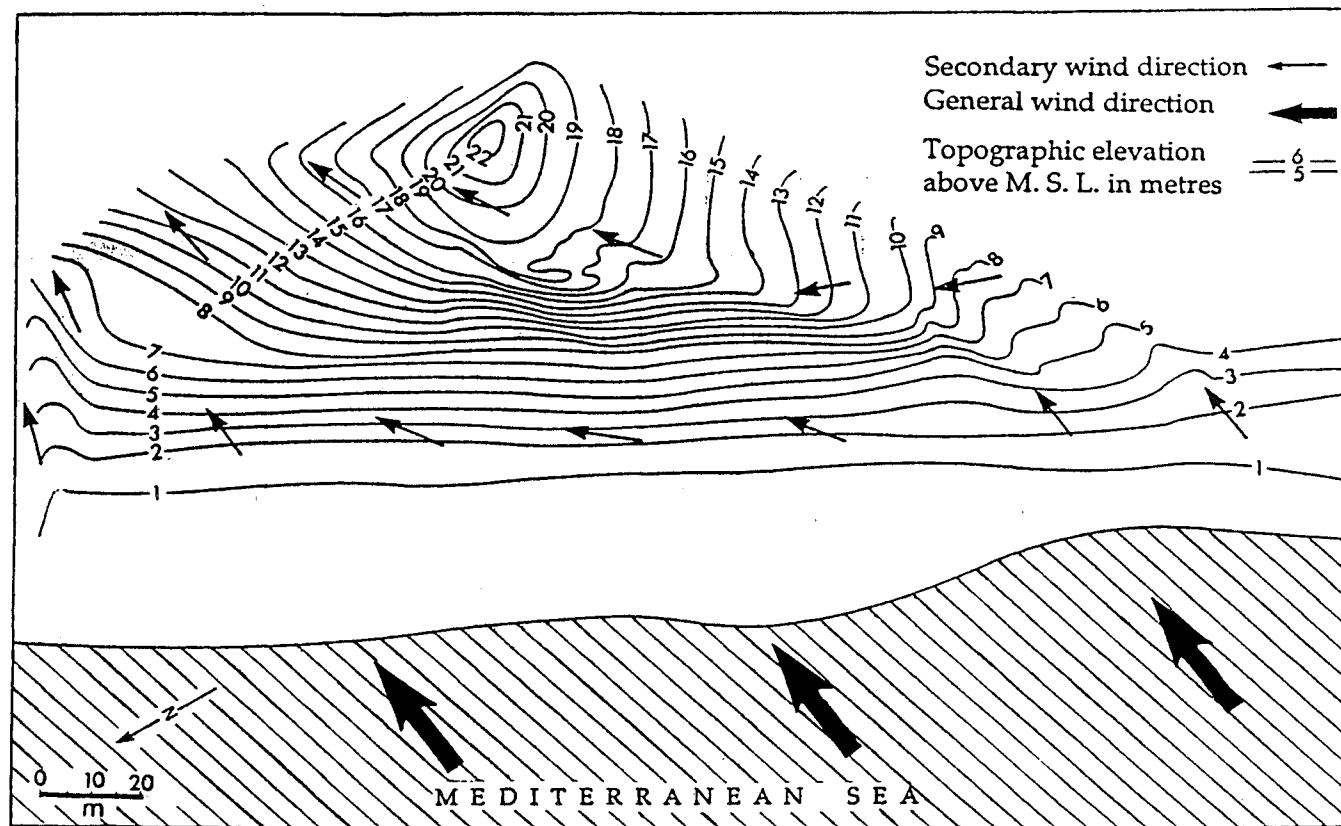
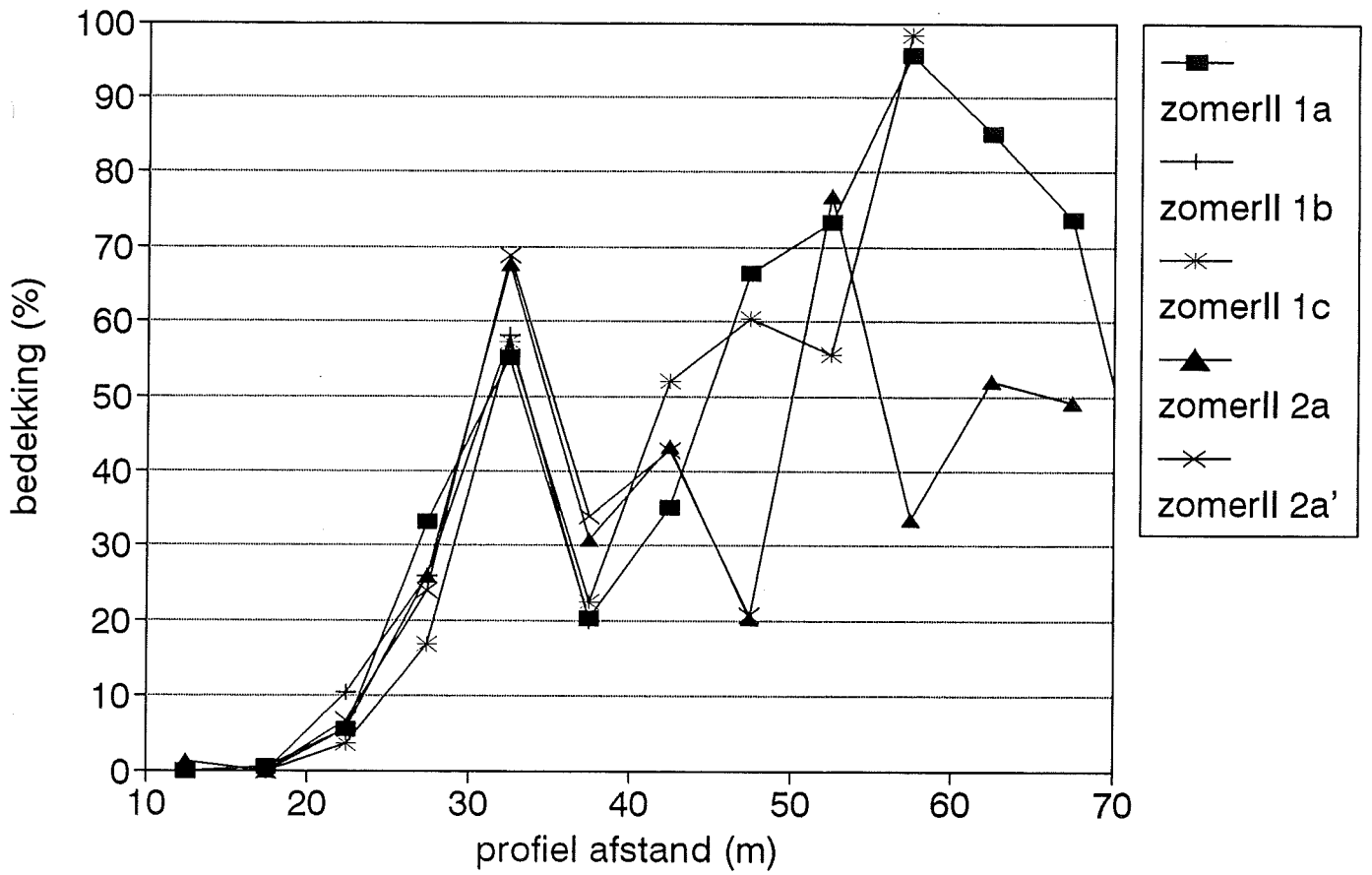


Fig. 4. Map of the secondary windflow on and around the northern cliff during the storm of 12 January 1988

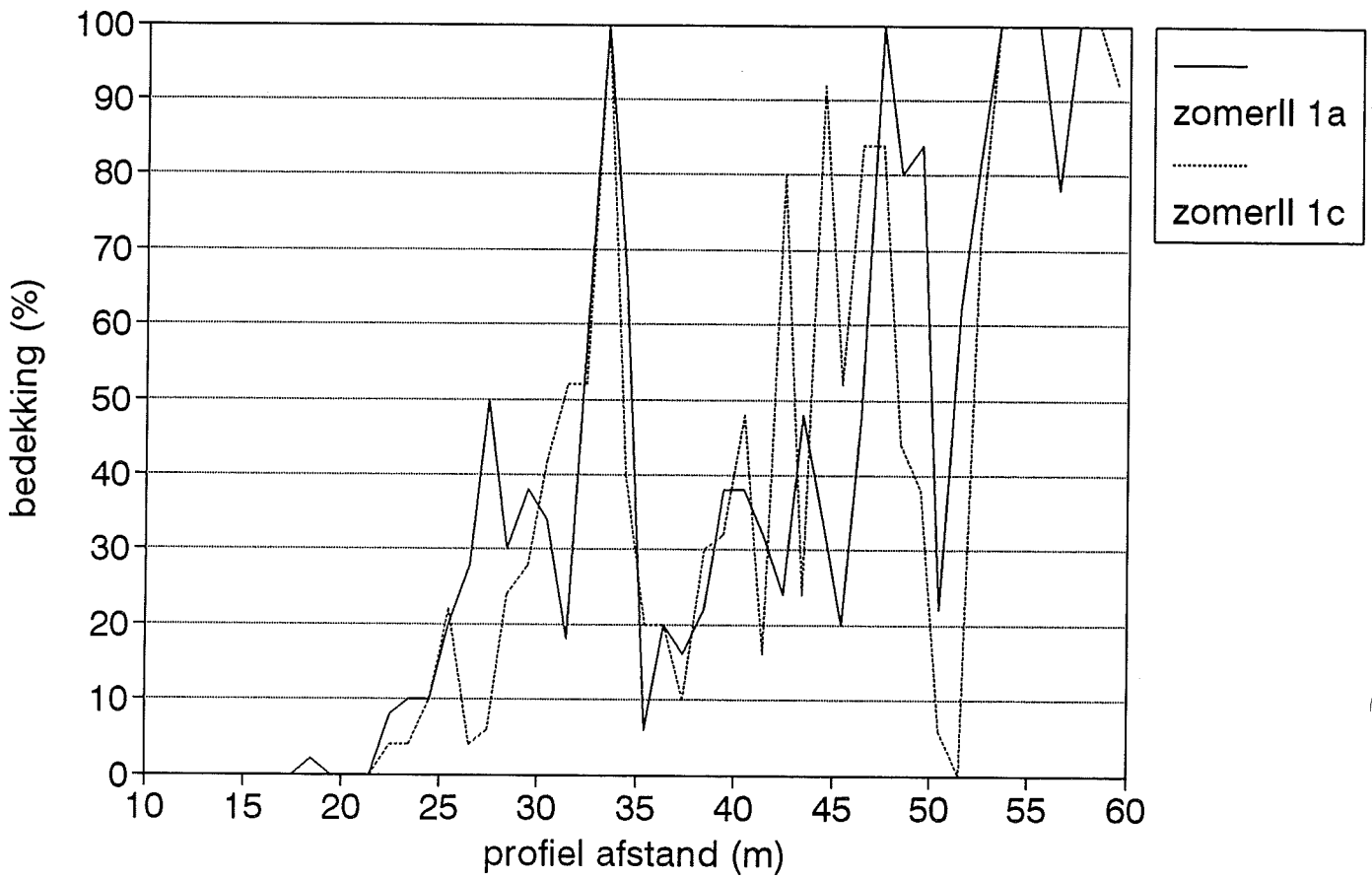
4.1.

vegetatiebedekking gemiddeld per 5 meter



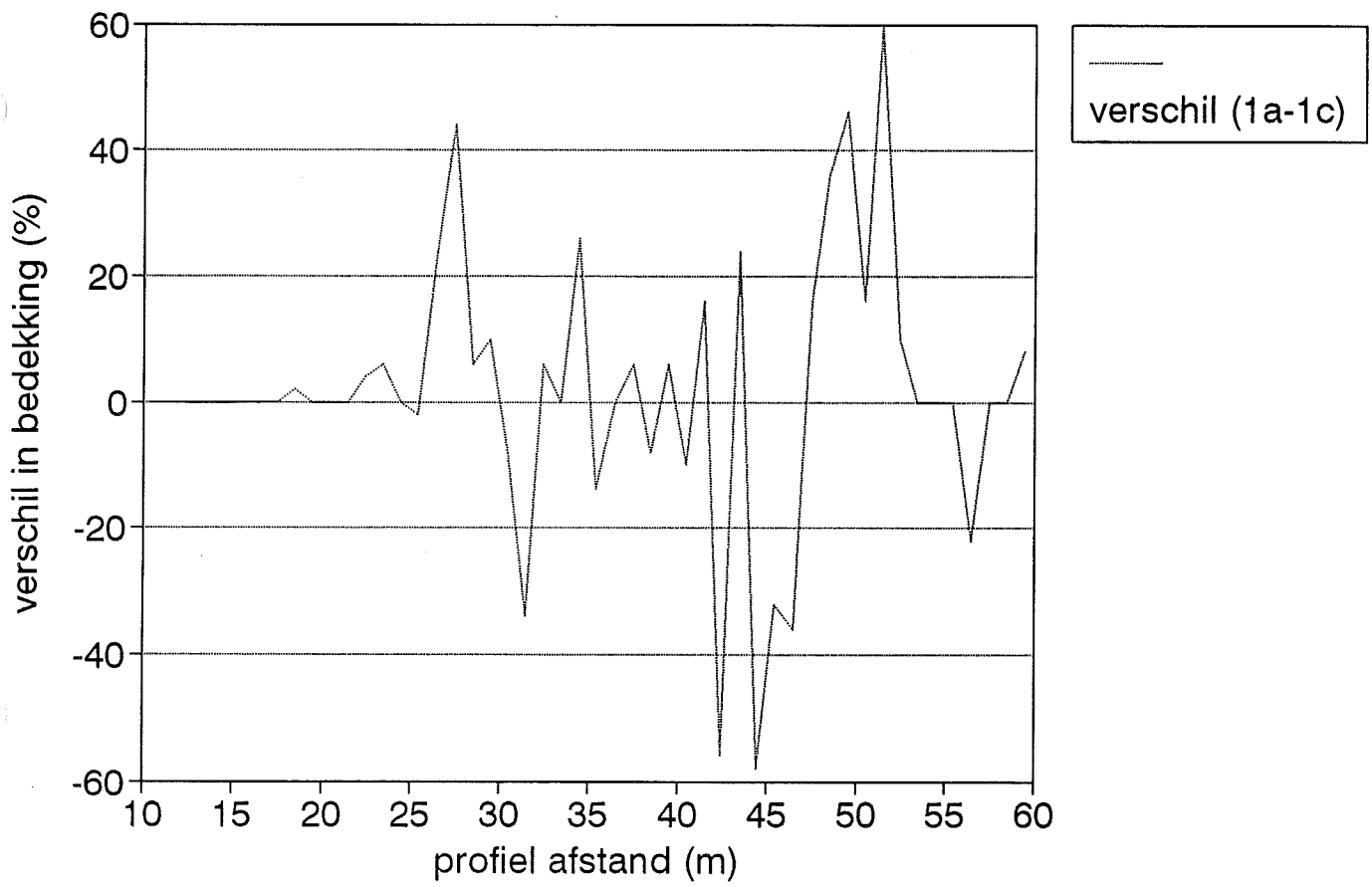
4.2. a

vegetatiebedekking gemiddeld per 1 meter



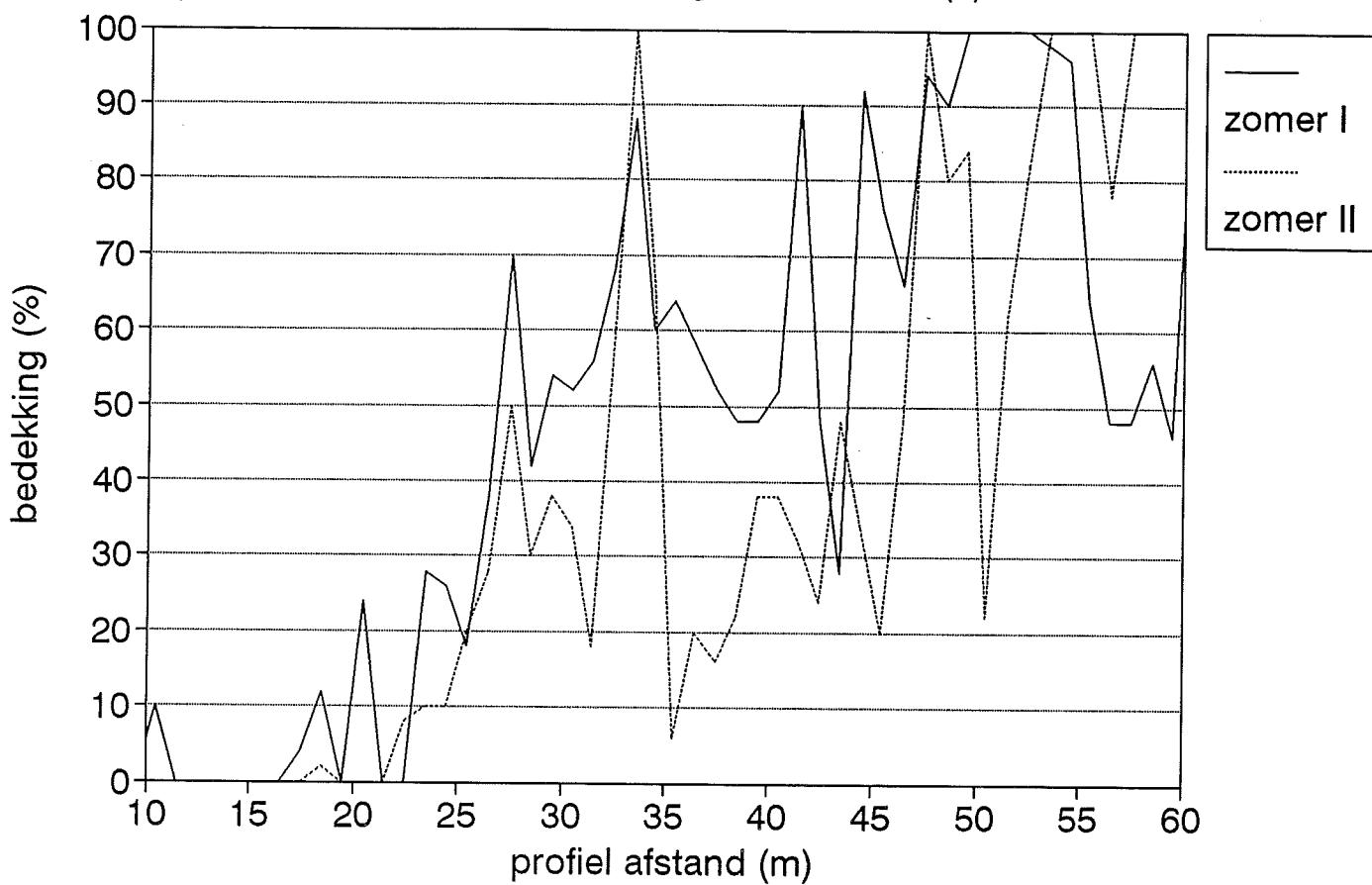
4.2. b

vegetatiebedekking variatie gemiddeld per 1 meter



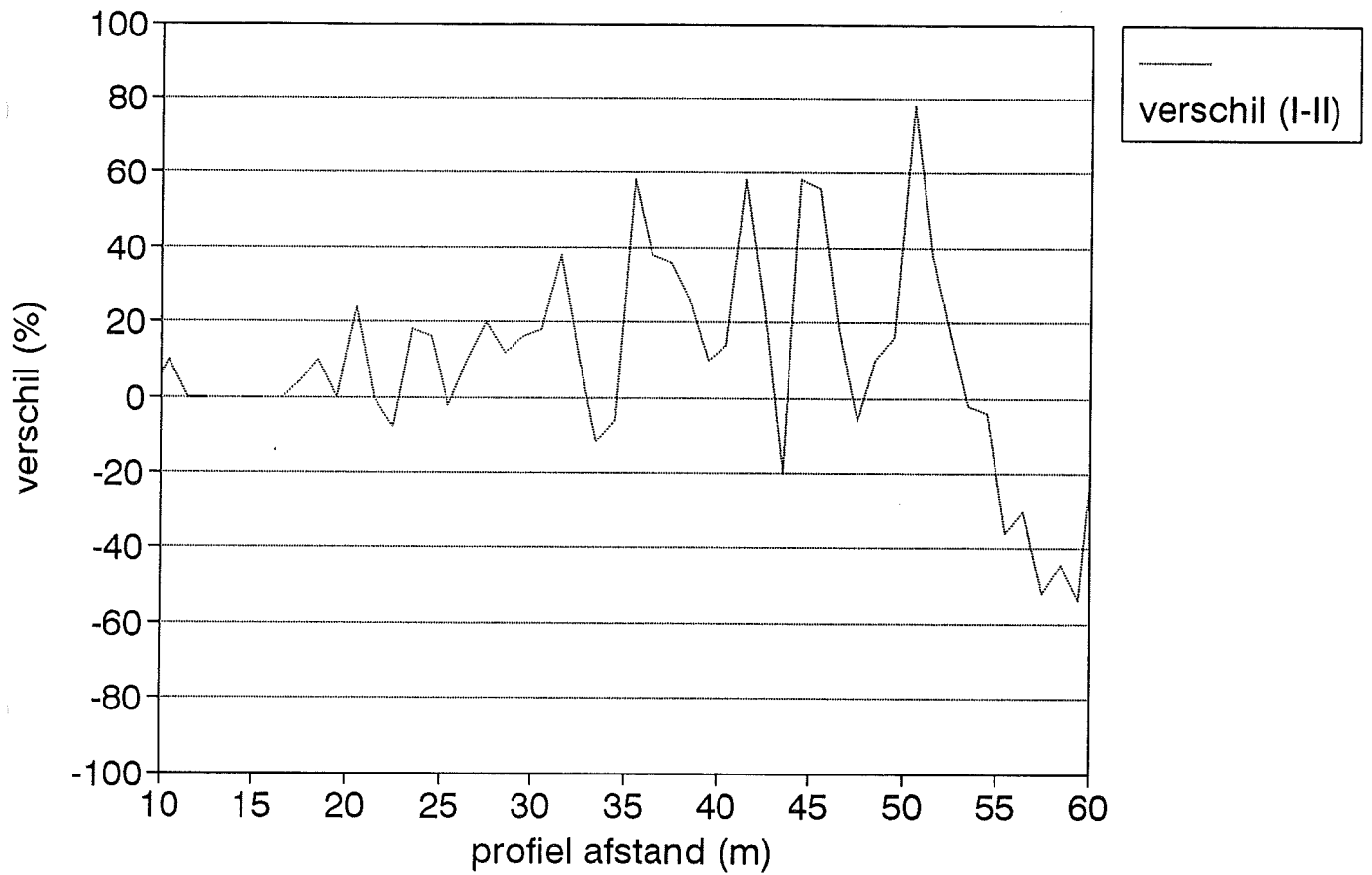
4.3. a

zomer I vs. zomer II vegetatie bedekking normale raai (1)



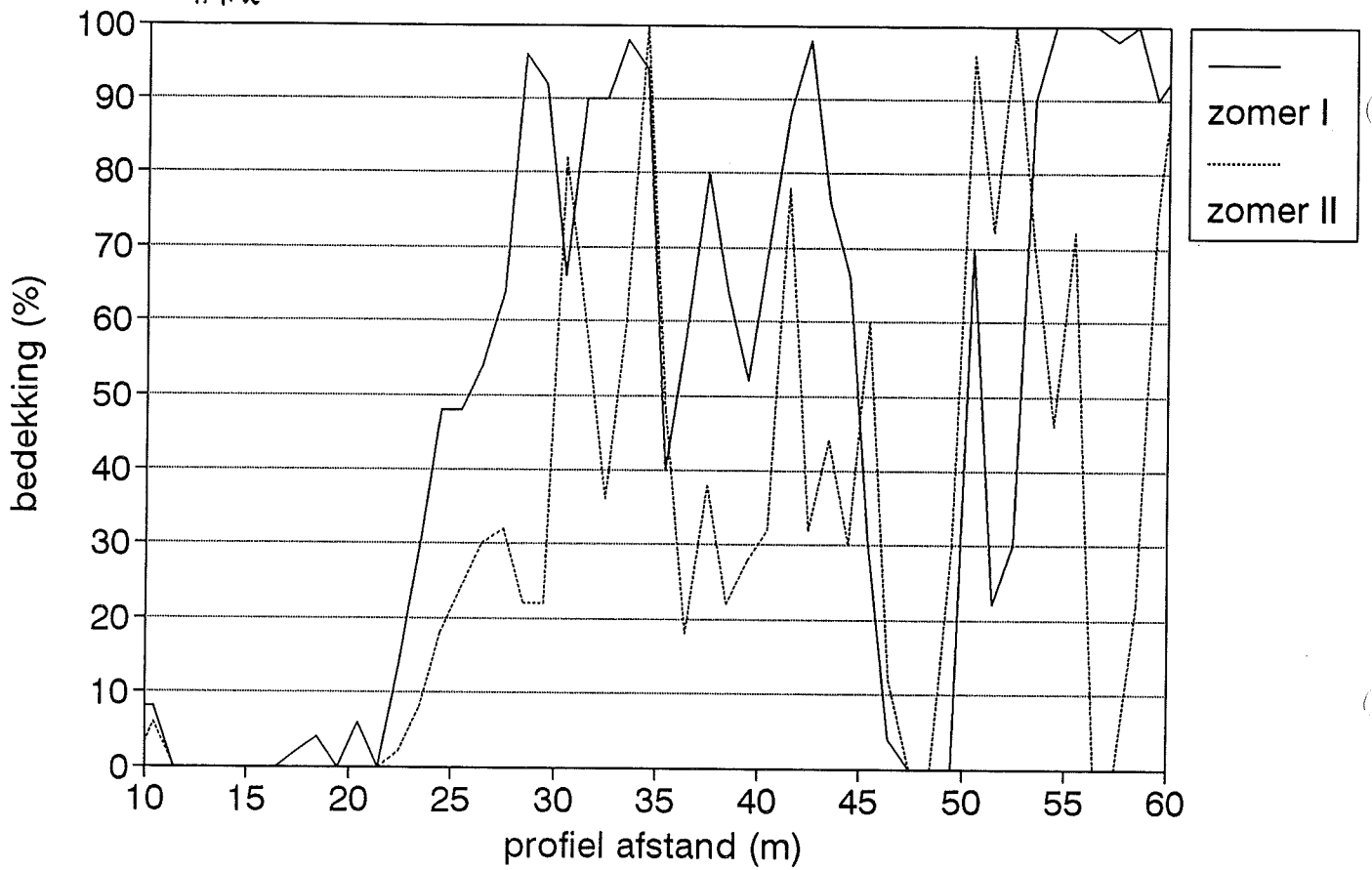
4.3. b

zomer I vs. zomer II variatie in bedekking normale raai (1)

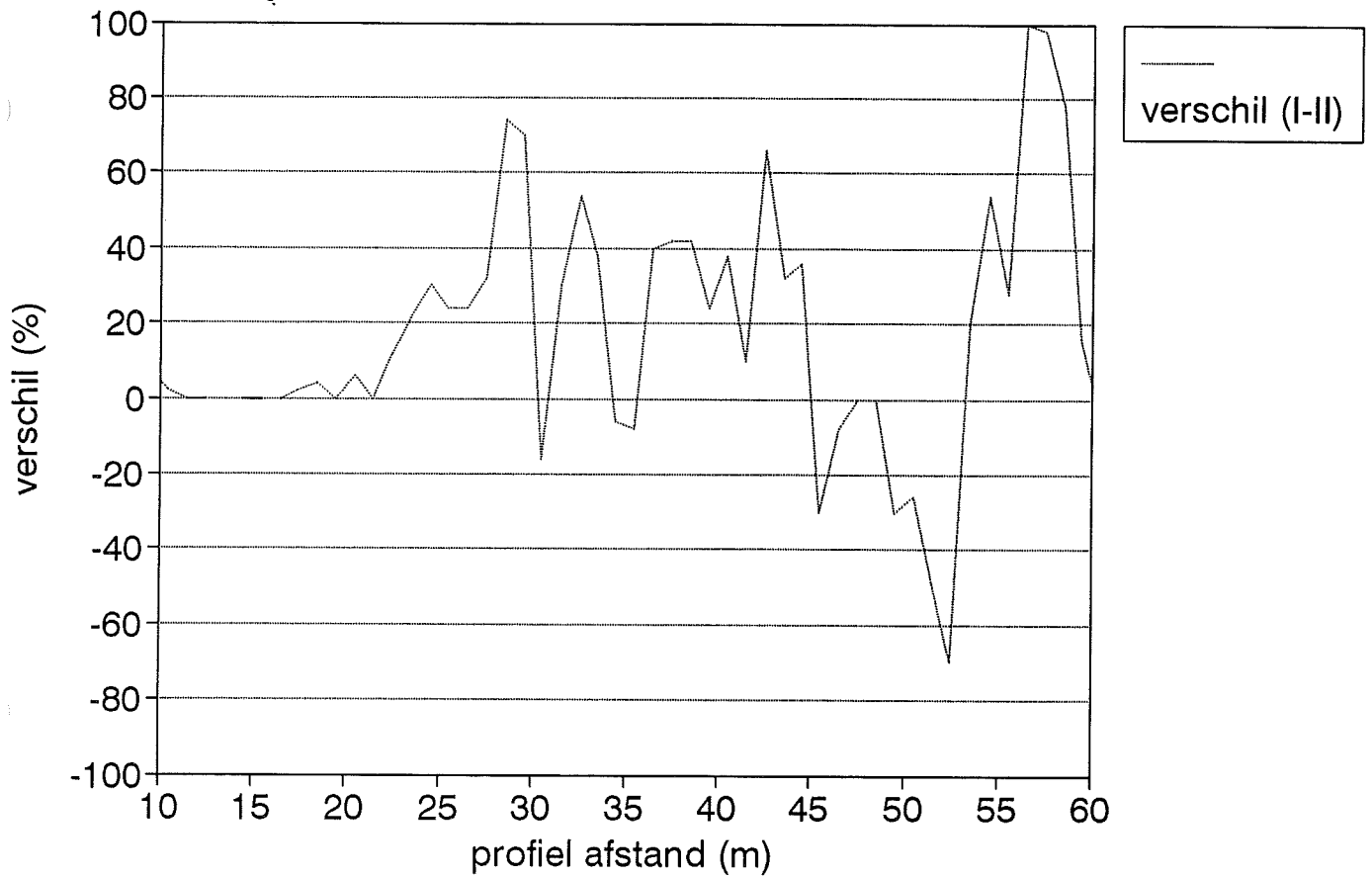


4.4. a

zomer I vs. zomer II vegetatie bedekking secundaire raai (2)

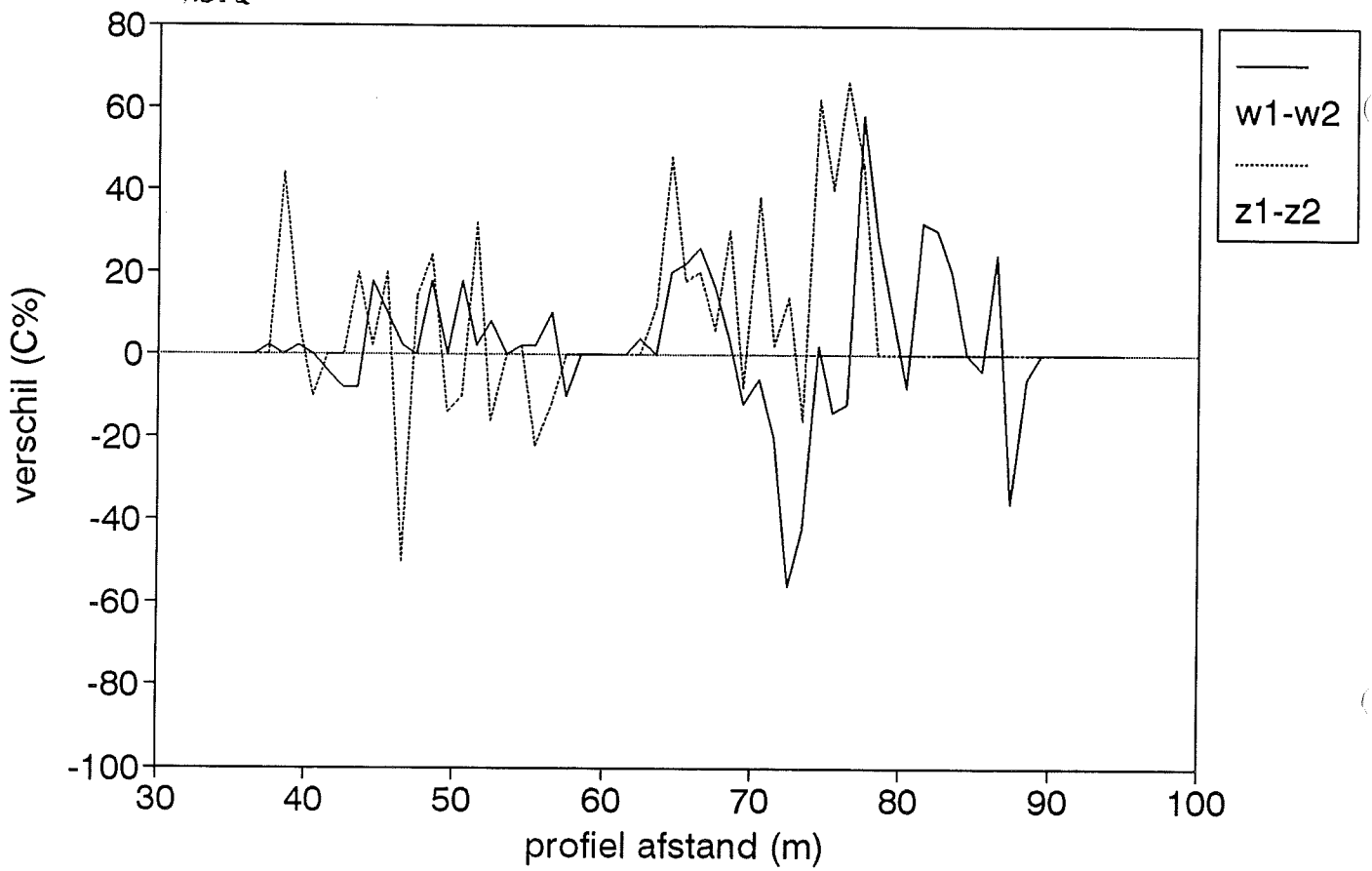


4.4.b zomer I vs. zomer II
variatie in vegetatie bedekking raai 2



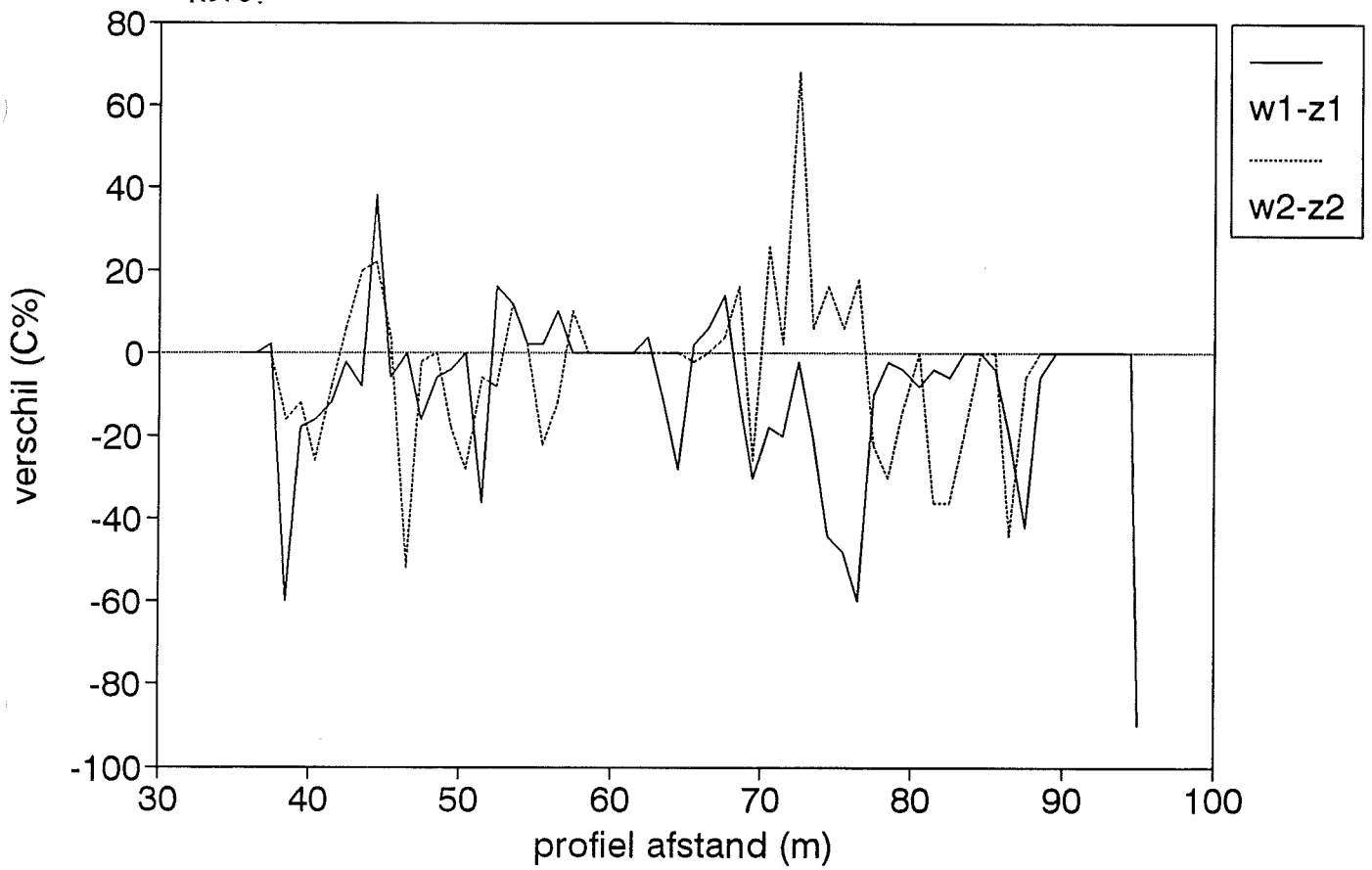
intra-seizoensvariatie (ruimtelijk)
vegetatiebedekking per meter

4.5.a



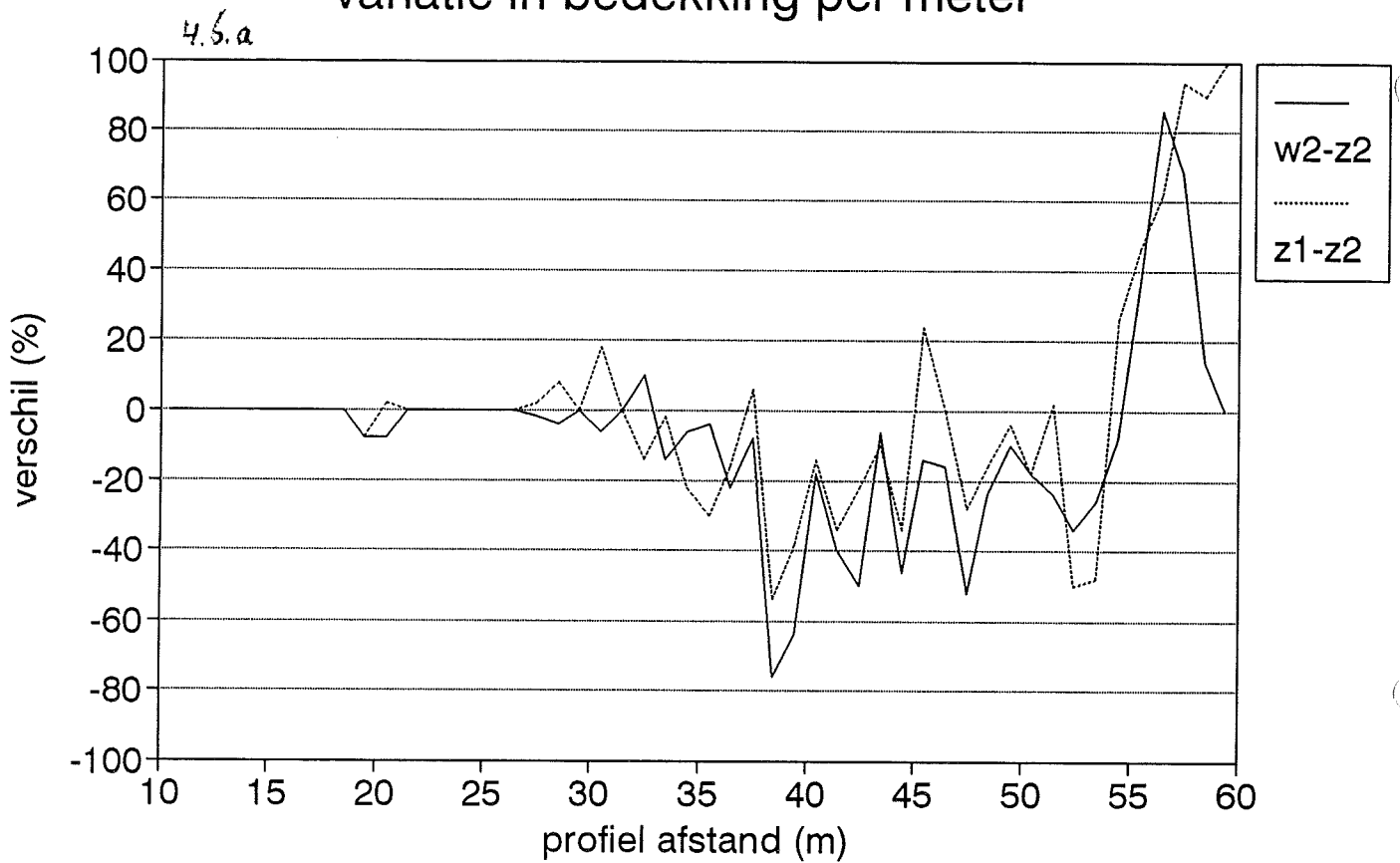
inter-seizoensvariatie
vegetatiebedekking per meter

4.5.b.



Groote Keeten

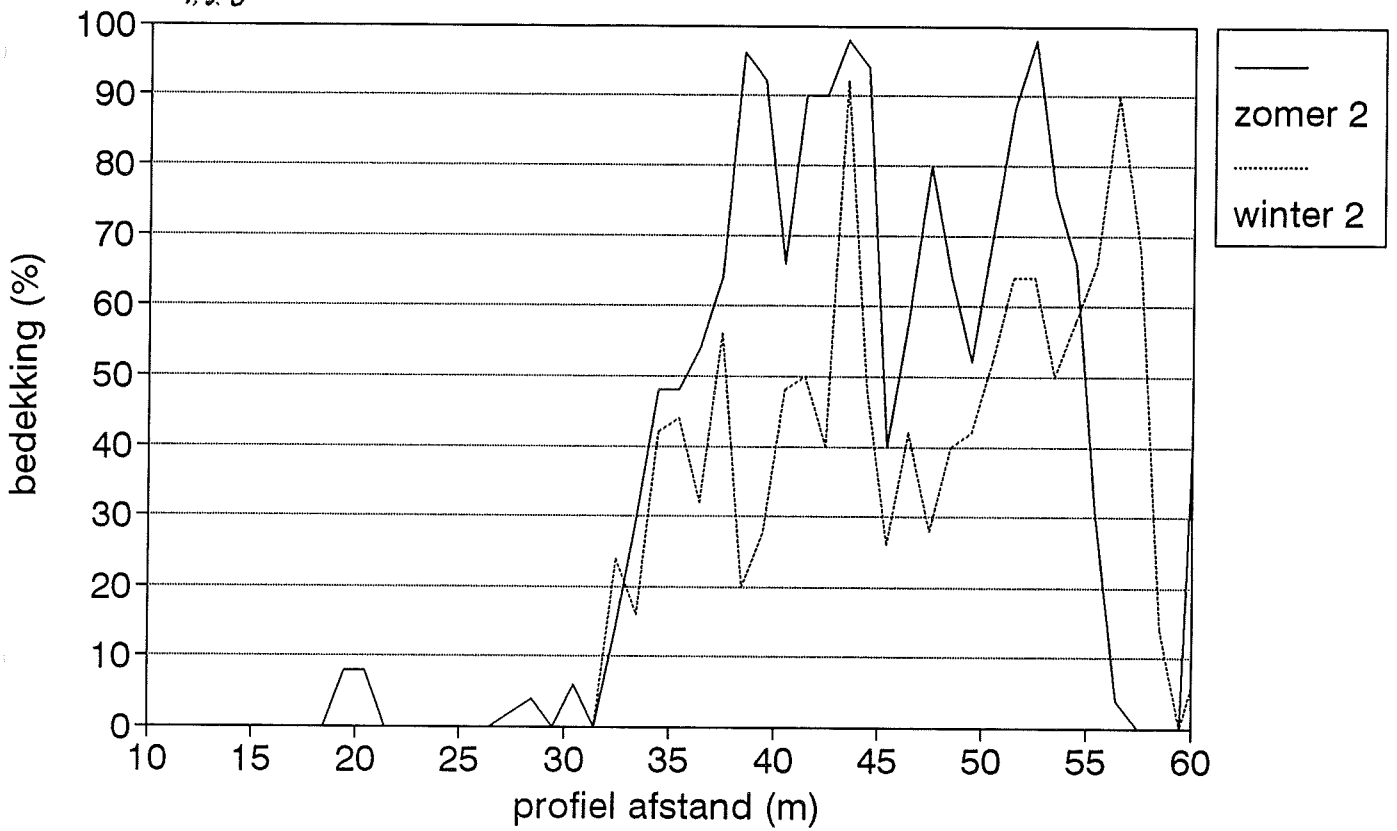
variatie in bedekking per meter

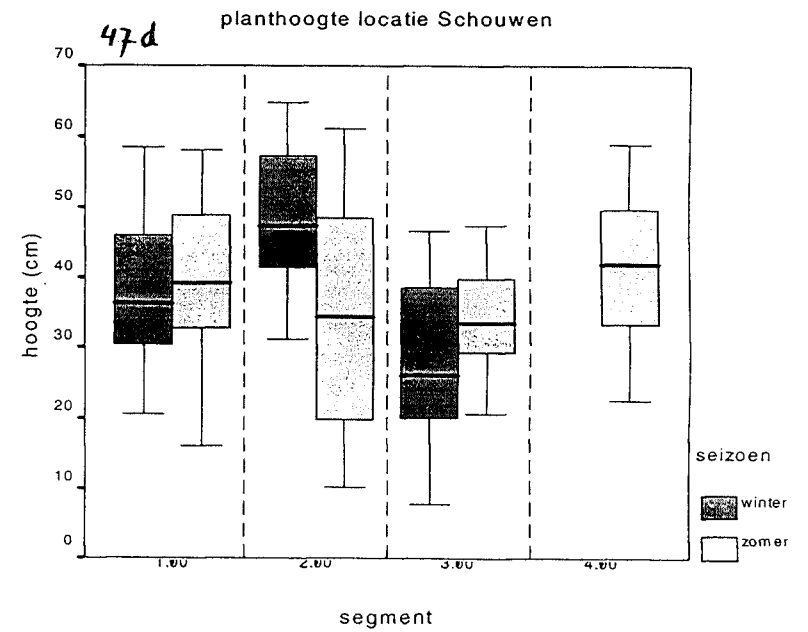
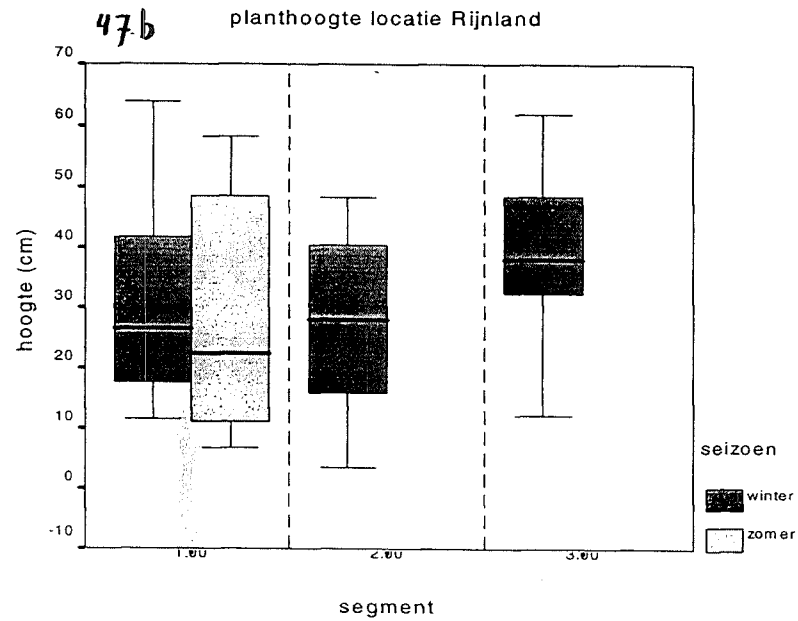
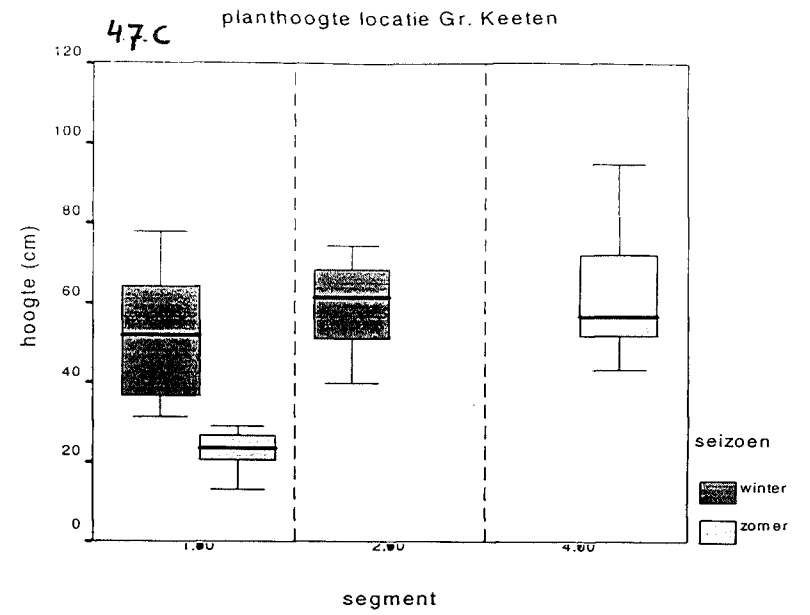
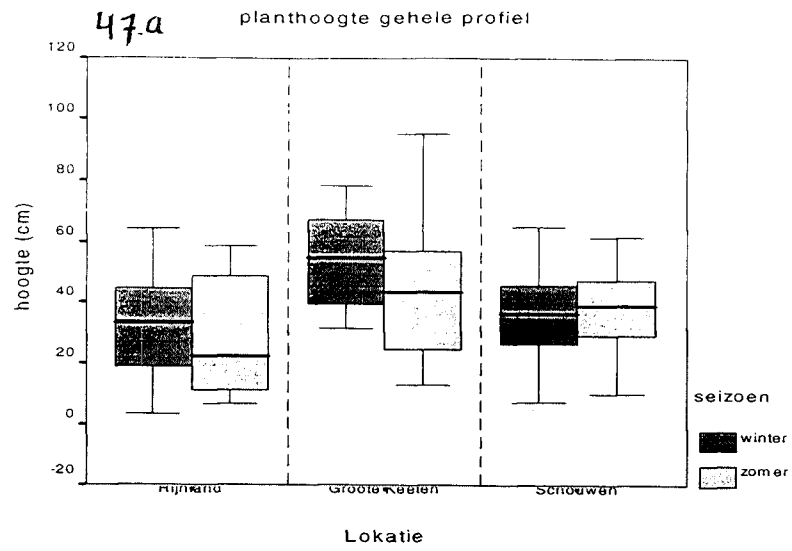


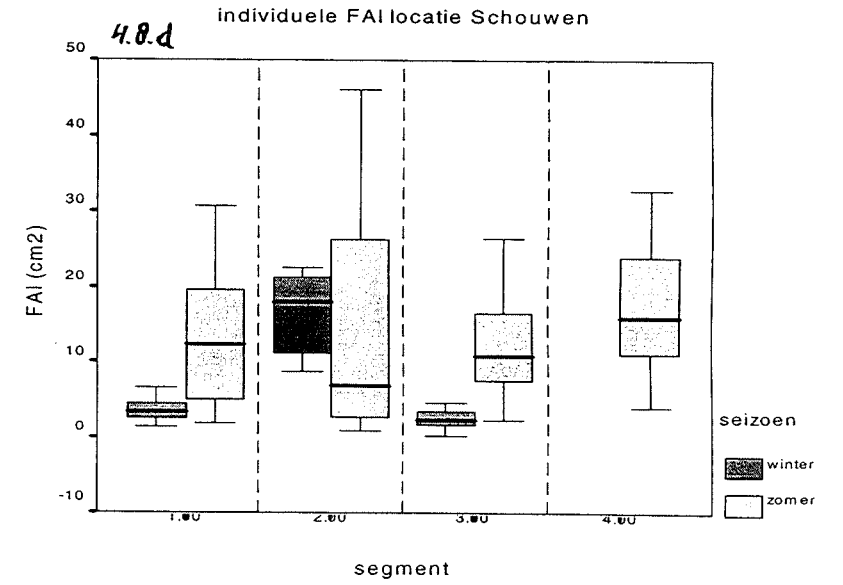
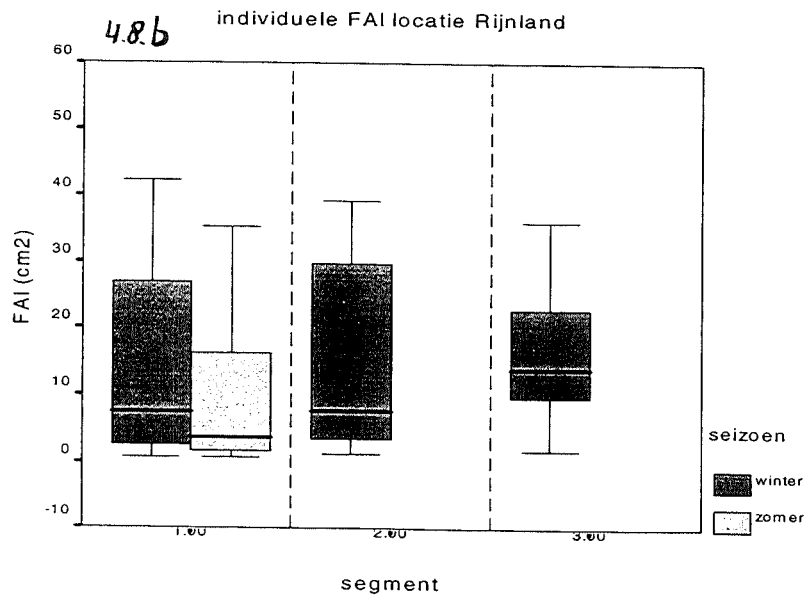
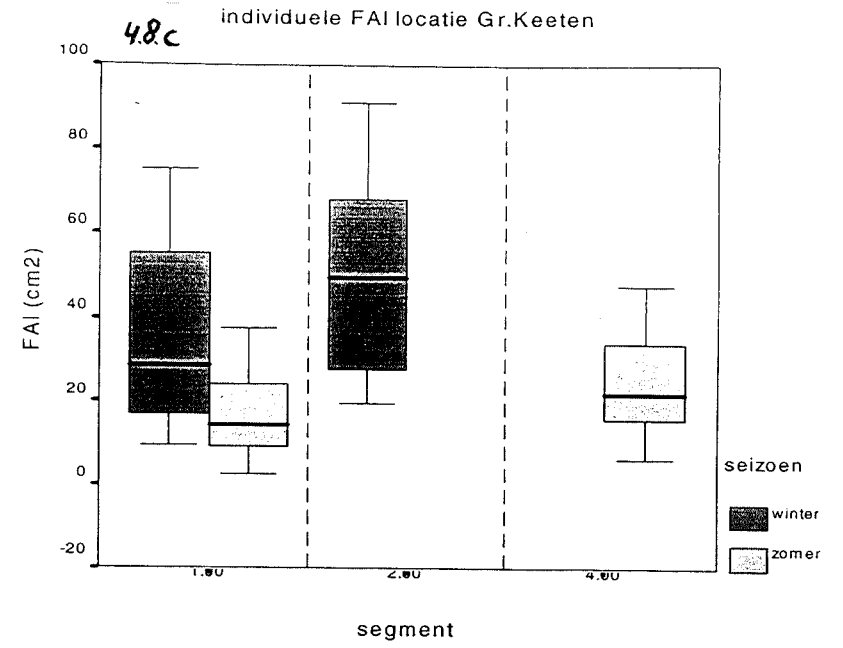
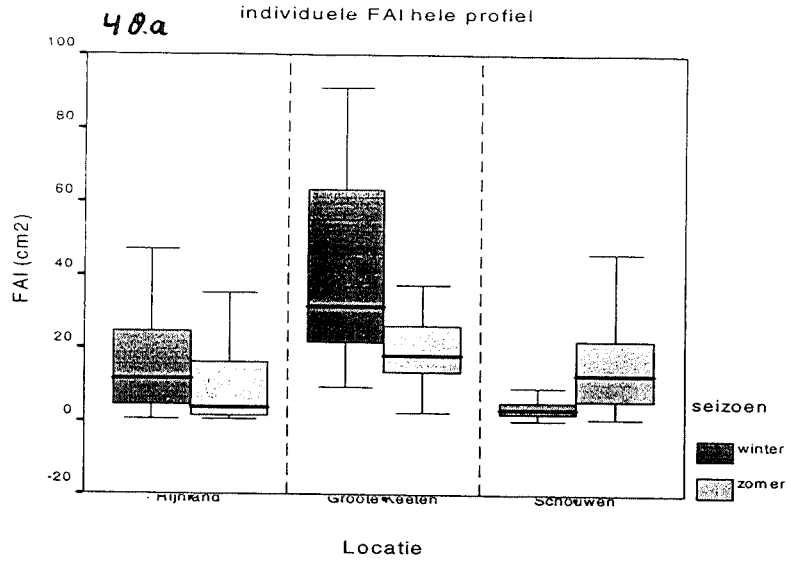
Groote Keeten

vegetatiebedekking per meter

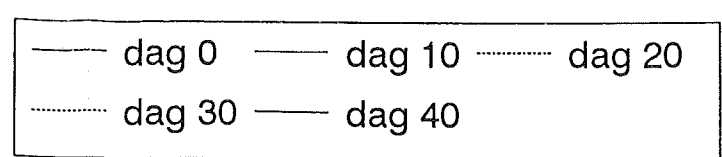
4.6.b







Figuur 2.2: Gevoeligheidsanalyse SAFE 1.85, invloed van de windrichting op de profielontwikkeling. Simulatieperiode van 40 dagen, waarvan in elke grafiek de curves zijn afgebeeld voor tijdsopnames om de 10 dagen. Het initiële duinprofiel is symmetrisch van vorm.

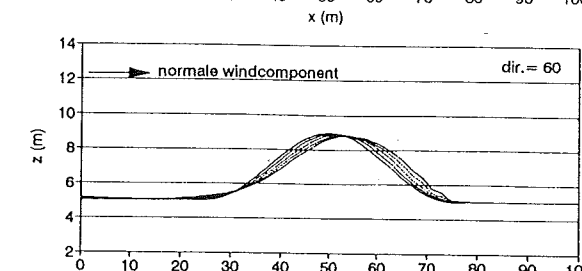
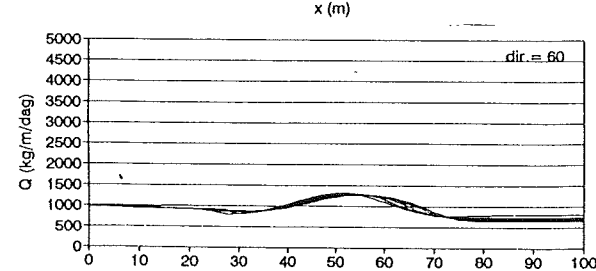
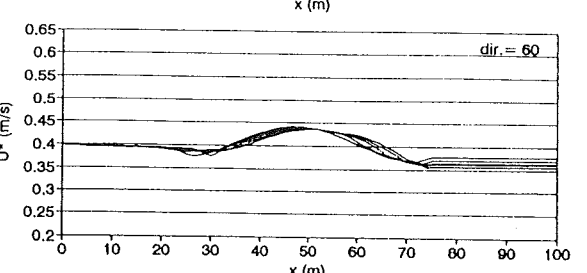
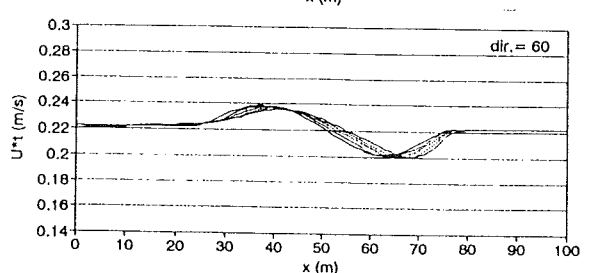
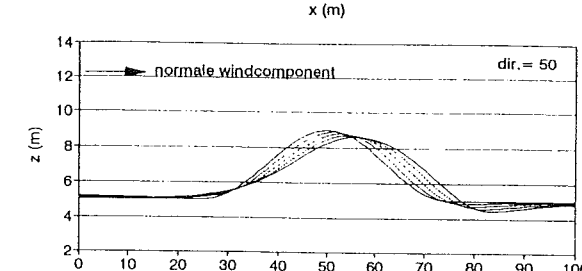
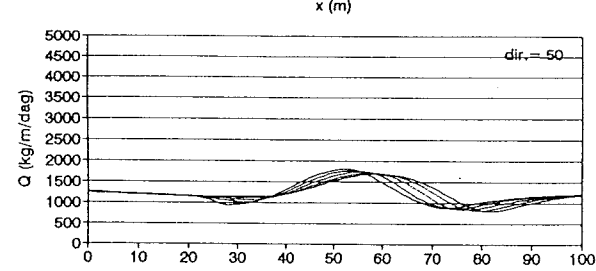
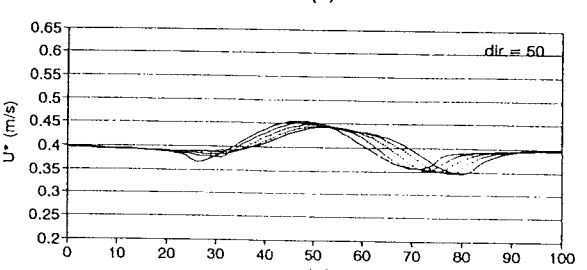
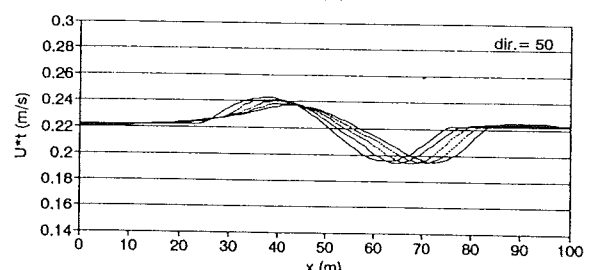
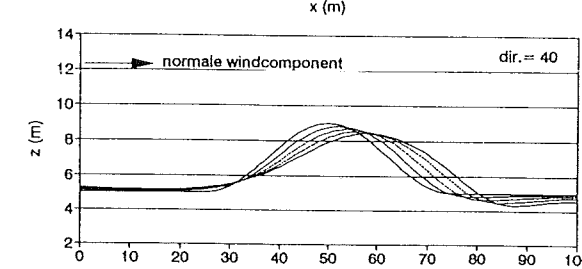
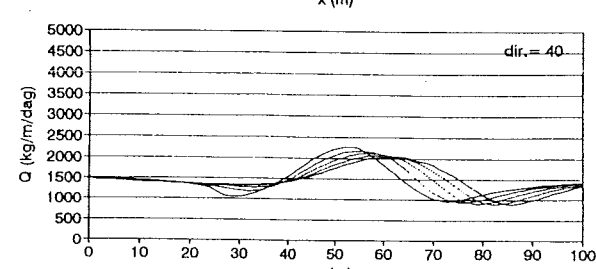
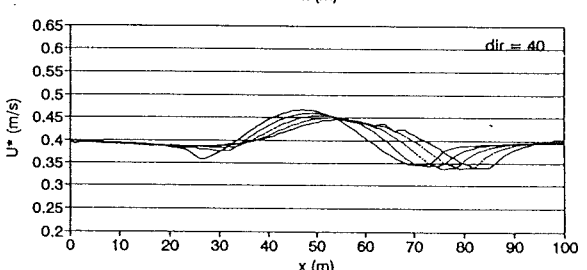
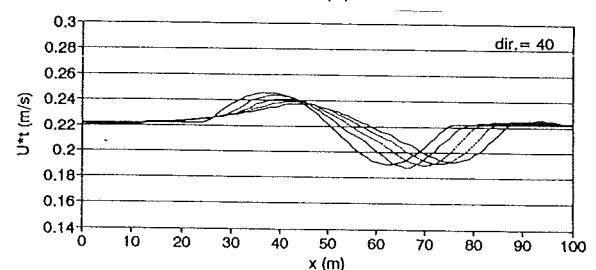
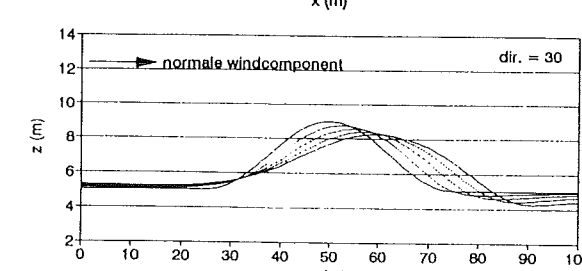
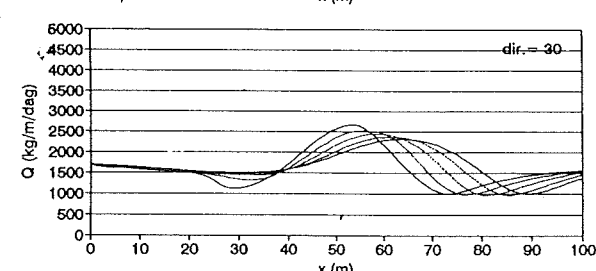
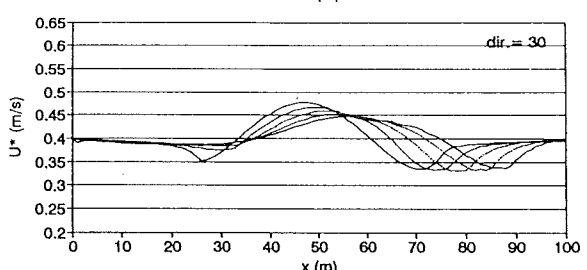
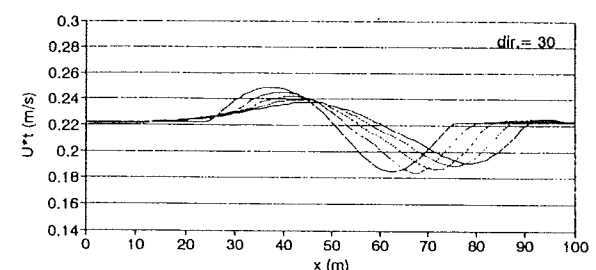
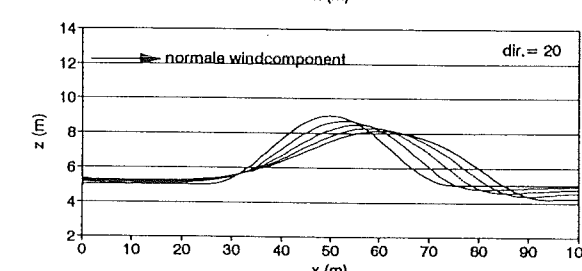
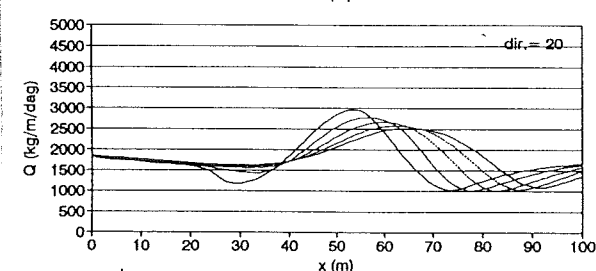
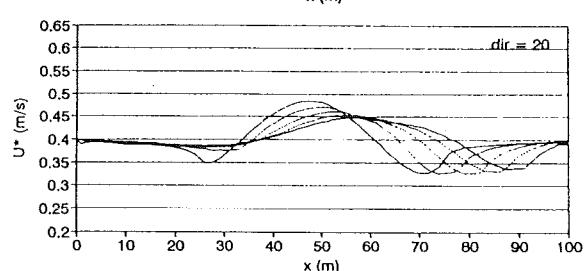
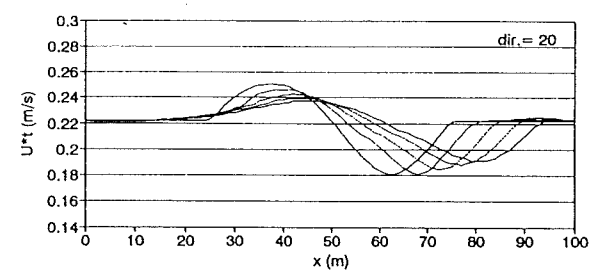
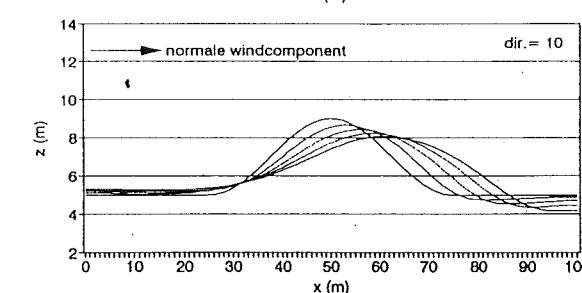
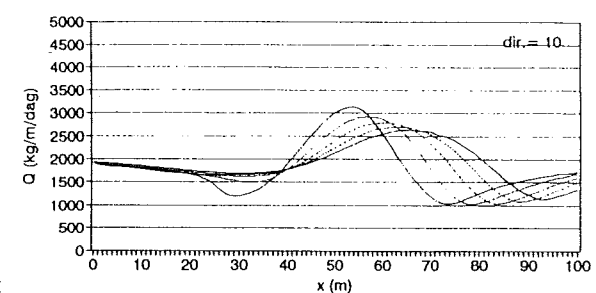
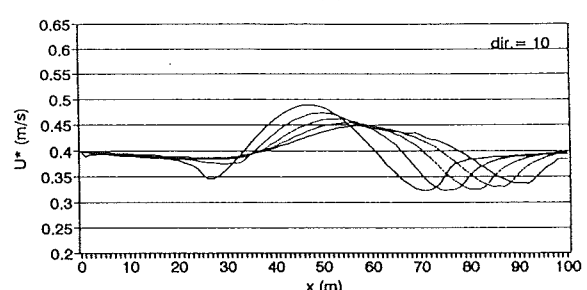
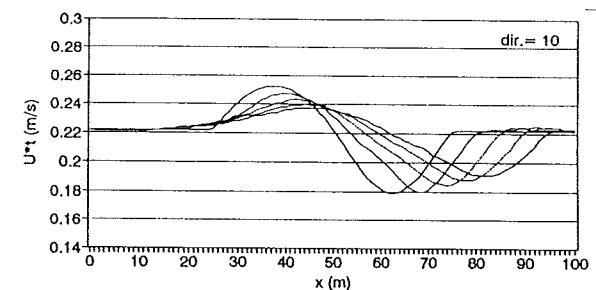
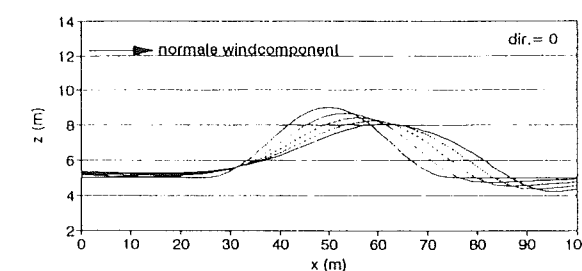
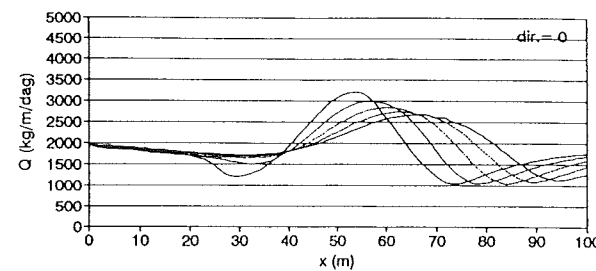
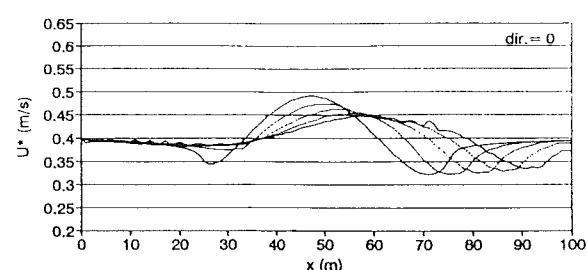
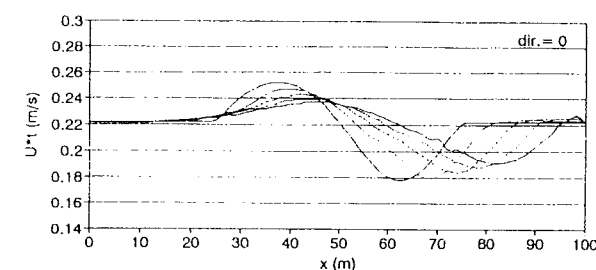


Krit. wrijvingsnelheid (U^*_t)

Wrijvingsnelheid (U^*)

Sedimenttransport (Q)

Topografie (z)



Figuur 2.4: Gevoeligheidsanalyse SAFE 1.85, invloed van de vegetatiegroei op de profielontwikkeling. Simulatieperiode van 2 dagen, waarvan in elke grafiek de curves zijn afgebeeld voor tijdsopnames om de 0.5 dag. Het initiële profiel is een horizontaal vlak.

— dag 0.0 — dag 0.5 dag 1.0
 dag 1.5 — dag 2.0

Krit. wrijvingsnelheid (U^*_t)

Wrijvingsnelheid (U^*)

Sedimenttransport (Q)

Topografie (z)

