

Het Voorkomen van Kokkels in de Westerschelde

Modelleren van Groeimogelijkhedenkaart
met Monte Carlo Simulatie

Wendy G.M. van Vooren

Augustus 1997

Werkdocument RIKZ/OS.97.843.x

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee

Universiteit Utrecht
Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen
Vakgroep Fysische Geografie

Inhoudsopgave

Lijst van figuren	ii
Lijst van tabellen	iii
Lijst van bijlagen	iii
Verklarende woordenlijst	v
Voorwoord	vii
1 Inleiding	1
2 Theorie foutenvoortplanting	3
2.1 Inleiding	3
2.2 Meetniveau van variabelen	3
2.3 Classificatie methoden	4
2.4 Soorten fouten en bronnen van fouten	5
2.5 Foutenanalyse in variabelen	5
2.5.1 Fouten in nominale en ordinale variabelen	6
2.5.2 Interval en ratio variabelen	6
2.5.3 Doorwerken van fouten in boolean en continue classificatie	7
2.6 Monte Carlo simulatie	9
2.7 Interpolatie methodes	11
2.7.1 Inverse distance interpolatie	11
2.7.2 Ordinary Kriging	11
3 Gebruikte variabelen	14
3.1 Inleiding	14
3.2 Diepte	14
3.3 Slibgehalte	17
3.4 Geomorfologie intergetijdengebied	18
3.5 Saliniteit	21

4	Modelleren groeimogelijkhedenkaart kokkel	23
4.2	Conventionele model	23
4.3	Monte Carlo model	24
4.3.1	Standaard Monte Carlo model	24
4.3.2	Invloed van aantal runs	27
4.3.3	Invloed van de verschillende variabelen	27
5	Conclusies en aanbevelingen	29
	Literatuurlijst	31

Lijst van figuren

- 1 De ligging van het gebied waarvoor de groeivoorwaardenkaart van de kokkel is gemaakt.
- 2 Principe van boolean classificatie.
- 3 Principe van fuzzy classificatie.
- 4 Voorbeeld van een error matrix of confusion matrix.
- 5 Invloed van de grootte van de invoerfout en de berekening op de fout in het eindprodukt.
- 6 De verschillende manieren waarop fouten in afzonderlijke variabelen doorwerken in het eindresultaat.
- 7 De waarde van een variabele is opgebouwd uit drie componenten; een structurele component (onderbroken lijn), een ruimtelijk afhankelijke component (niet onderbroken lijn) en een ruimtelijk onafhankelijke ruis of nugget (sterk fluctuerende lijn).
- 8 Voorbeeld van een variogram.
- 9 De waarde van de gridcellen waarin dieptemetingen zijn gedaan wordt bepaald door het berekenen van het rekenkundig gemiddelde van alle dieptemetingen in betreffende gridcel.
- 10 Met behulp van de drie geselecteerde waarden wordt het punt geïnterpoleerd.
- 11 Bij stap 1 worden drie punten gezocht binnen een cirkel (a) om het punt te interpoleren. Met de bij stap 1 geïnterpoleerde waarden worden de dieptelijnen geconstrueerd. Vervolgens worden in de richting van de dieptelijnen een ellips over het punt heen gelegd. Binnen de ellips worden drie punten geselecteerd waarmee de definitieve diepte wordt berekend (b).
- 12 Dieptekaart gebruikt bij de Monte Carlo simulatie met bijbehorende standaarddeviatie (σ) in de diepte.
- 13 Variogram gemaakt met slibgehalten McLaren.
- 14 Slibgehaltekaart met bijbehorende variantiekaart gebruikt bij de Monte Carlo simulatie.
- 15 De vereenvoudigde geomorfologische kaart gebruikt bij de Monte Carlo simulatie.
- 16 De zoutkaart (uitgedrukt in saliniteit) die is gebruikt bij de Monte Carlo simulatie.
- 17 De bij het classificeren gebruikte kritische waarden.
- 18 Een normale (a) en een uniforme verdeling (b).
- 19 De manier waarop de MF voor de morfologie wordt berekend.
- 20 Het principe van de uitgevoerde Monte Carlo simulatie.
- 21 Het bepalen van de optimale afstand tussen meetpunten door het uitzetten van de cumulatieve variantie tegen de afstand tussen meetpunten.

Lijst van tabellen

- 1 De vijf soorten variabelen en hun eigenschappen
- 2 Enkele belangrijke oorzaken van fouten in kaarten en GIS
- 3 Overzicht van stochastische en systematische fouten bij dieptelodingen (in meters)
- 4 De totale stochastische en systematische fout in de dieptelodingen
- 5 De eenheden die worden onderscheiden op de geomorfologische kaart uit 1994
- 6 Vereenvoudigde geomorfologische klassenindeling
- 7 De error matrix voor de geomorfologische kaart

Lijst van bijlagen

- I Stappen bij modelleren groeimogelijkhedenkaart
- II PCRaster bestanden:
 - a berekenen groeimogelijkheden met conventioneel model
 - b berekenen groeimogelijkheden met Monte Carlo model
 - c interpoleren van slibgehaltekaart en zoutgehaltekaart
- III Uitkomsten conventioneel model
 - a JMF
 - b MF van vier variabelen
- IV Uitkomst van standaard Monte Carlo model
 - a JMF minimale MF
 - b JMF vermenigvuldigen MF's
 - c MF diepte
 - d MF slibgehalte
 - e MF geomorfologie
 - f MF saliniteit
- V Uitkomsten van Monte Carlo model met variërend aantal runs:
 - a 10 runs
 - b 50 runs
 - c 100 runs
 - d 250 runs
 - e 500 runs
 - f 1.000 runs
 - g 2.500 runs
 - h 10.000 runs
- VI Uitkomsten Monte Carlo model met variërende variabelen:
 - a diepte, slibgehalte, geomorfologie
 - b diepte, geomorfologie, saliniteit
 - c diepte, slibgehalte, saliniteit
 - d slibgehalte, geomorfologie, saliniteit
- VII Aml (ArcInfo) voor plotten kaarten

Verklarende woordenlijst

betrouwbaarheidsinterval	het interval waar binnen een bepaald percentage van de (meet)waarden voorkomt, deze is gerelateerd aan de standaarddeviatie (σ): $1\sigma = 67\%$, $2\sigma = 95\%$ en $3\sigma = 99\%$
boolean classificatie	een kaart wordt onderverdeeld in gebieden die wel aan een voorwaarde (bv diepte groter dan 12m) voldoen die een waarde 1 (true) krijgen toegewezen. De gebieden die niet aan de voorwaarde voldoen krijgen de waarde 0 (false)
continue classificatie	variatie op Boolean classificatie, maar in plaats van abrupte overgangen is een overgangszone gedefinieerd waar de waarden tussen de 0 en 1 liggen
confusion matrix	matrix die aangeeft welk percentage van een bepaalde klasse op een kaart in werkelijkheid tot deze klasse behoort en welke percentages in werkelijkheid tot andere klassen behoren. Een confusion matrix wordt gebruikt voor het beschrijven van fouten in nominale en ordinale variabelen.
DGPS	Differential Global Positioning System. Systeem waarbij met behulp van satellieten de plaats kan worden bepaald
DIGIPOL	interpolatie programma waarmee dieptegegevens zijn geïnterpoleerd
fout	verschil tussen de gemeten waarde en de werkelijke waarde
fuzzy classificatie	zie continue classificatie
gaussische verdeling	zie normale verdeling
GIS	Geografisch Informatie Systeem
Joint Membership Function (JMF)	de JMF is een waarde tussen 0 en 1 die wordt berekend door de MF's van verschillende kaarten te combineren, zodat een geschiktheid kan worden berekend waarbij met meerdere factoren rekening is gehouden
loding	een meting van de waterdiepte met behulp van een echoloding
logic operaties	berekeningen door combineren van kaarten met boolean waarden Voorbeeld: $\text{diepte} > 5 \text{ AND } \text{saliniteit} < 20$. De voorkomende logic operaties zijn: AND, NOT, OR en XOR
Membership Function (MF)	waarde van een pixel bij boolean classificatie en fuzzy classificatie. De waarde van de MF varieert tussen 0 en 1, waarbij de waarde 0 betekent dat niet aan de voorwaarde wordt voldaan (false), de waarde 1 geeft aan dat wel aan de gestelde voorwaarde is voldaan (true). Een waarde tussen 0 en 1 betekent dat de pixel zich bevindt in de overgangszone, dit komt alleen voor bij fuzzy classificatie
MF_B	MF bij boolean classificatie
MF_C	MF bij continue classificatie
nauwkeurigheid	identiek aan fout
normale verdeling	distributie kan worden beschreven door gemiddelde en standaarddeviatie en verloopt gaussisch
operatie	bewerkingen die worden uitgevoerd in een GIS, zowel op punten als op gebieden
PCRaster	GIS softwarepakket ontwikkeld door de Universiteit Utrecht. Met dit pakket zijn alle berekeningen uitgevoerd

peiling	zie loding
pixel	kleinste eenheid in rasterkaart (ook wel gridcel genoemd)
rule-based model	model opgebouwd uit logic operaties. De geschiktheid (bijvoorbeeld groeimogelijkhedenkaart) is dan gebaseerd op meerdere variabelen, waarbij de geschiktheid van elke variabele wordt uitgedrukt in nullen en enen (boolean classificatie) of in een MF met waarden tussen 0 en 1 (fuzzy classificatie), waarna de waarden worden gecombineerd
run	term gebruikt bij modelleren om het aantal keer aan te duiden dat het model wordt doorlopen
standaarddeviatie	statistische maat die onzekerheid aangeeft rond bepaalde waarde (σ)
stochastische fout	normaal verdeelde fout
squat	de inzinking van een schip welke afhankelijk is van de vaarsnelheid en de waterdiepte
systematische fout	fout met een bepaalde voorkeursrichting
uniforme verdeling	de waarden zijn over de gehele verspreiding evenredig verdeeld
variantie	statistische maat die onzekerheid aangeeft, de variantie is gelijk aan het kwadraat van de standaarddeviatie (σ^2)

Voorwoord

Dit rapport is geschreven naar aanleiding van de stage die ik heb gelopen op het RIKZ in de maanden juni tot en met augustus 1997. Bij deze stage heb ik van veel mensen hulp gehad die ik hier wil bedanken. Allereerst wil ik mijn stagebegeleider Dick de Jong (RIKZ Middelburg) bedanken voor de moeite en tijd die hij in dit onderzoek heeft gestoken. Verder wil ik Peter Burrough (Universiteit Utrecht), Gerard Heuvelink (Universiteit van Amsterdam) en Hans Hartholt (RIKZ Den Haag) bedanken voor hun hulp bij het theoretische deel van dit onderzoek. Cees Wesseling (Universiteit Utrecht) en Derk-Jan Karssenbergh (Universiteit Utrecht) wil ik bedanken voor het beantwoorden van al mijn vragen over PCRaster. Verder heb ik van Karien Luursema en Herman de Haan (beide RIKZ Middelburg) veel tips gehad op het gebied van ArcInfo. Verder wil ik hier alle andere RIKZ-ers in Middelburg bedanken die mijn vragen betreffende de dieptekaart, slibgehaltekaart, geomorfologische en zoutgehaltekaart hebben beantwoord. Tenslotte wil ik Fred Tank (Universiteit Utrecht) bedanken voor het beschikbaar stellen van materiaal noodzakelijk voor het afronden van dit verslag.

Wendy G.M. van Vooren
Middelburg, 26 augustus 1997

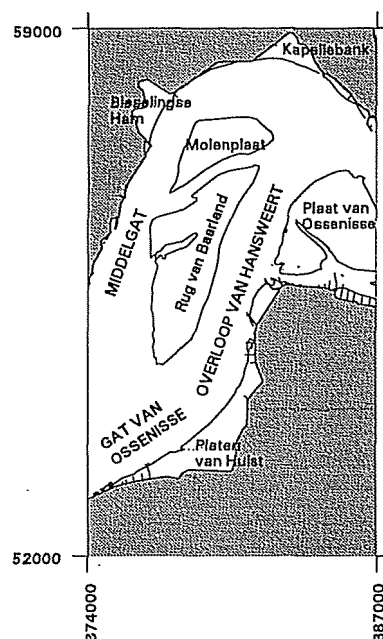
1 Inleiding

Op het RIKZ worden binnen de afdeling Onderzoek Biologie kaarten vervaardigd die de groeimogelijkheden aangeven van verschillende vegetatie-soorten en bodemdieren in grote wateren als de Westerschelde en de Waddenzee. De groeimogelijkhedenkaart wordt gemaakt met een rule-based model; kaarten met fysische en chemische parameters als slibgehalte, diepte en zoutgehalte over elkaar heen gelegd en gebieden worden aangegeven waar aan de groei-voorwaarden van de organismen wordt voldaan. Probleem hierbij is dat in elke kaart afzonderlijk een 'fout'¹ aanwezig is. Wanneer kaarten met hun afzonderlijke fouten gecombineerd worden werken deze afzonderlijke fouten door in het eindproduct. Relatief kleine fouten in kaarten kunnen, wanneer gecombineerd met andere kaarten, leiden tot grote onzekerheidsmarges in het eindproduct.

Tot nu toe werden fouten in de basiskaarten verwaarloosd bij het maken van een groeivoorwaardenkaart. Het doel van de stage is een groeivoorwaardenkaart te vervaardigen waarin de betrouwbaarheid terug te vinden is. Deze groeivoorwaardenkaart is ook gebaseerd op een rule-based model, nu is echter rekening gehouden met de onzekerheden in de invoervariabelen. Dit is gedaan door de fouten in de verschillende variabelen te kwantificeren en vervolgens deze fouten door te rekenen in het eindproduct door het toepassen van 'Monte Carlo simulatie'.

In dit verslag komt in het tweede hoofdstuk de theorie aan de orde die noodzakelijk is voor het

kunnen doorgronden van het gemaakte model en het interpreteren van de uitkomsten. In het volgende hoofdstuk worden de gebruikte variabelen beschreven. Hierin zal vooral worden



Figuur 1 De ligging van het gebied waarvoor de groeivoorwaardenkaart van de kokkel is gemaakt.

¹ In dit verslag wordt 'fout' gedefinieerd als het verschil in waarde zoals die is weergegeven in de kaart en de werkelijke op dat punt aanwezige waarde. Het gaat dus niet alleen om menselijke fouten als afleesfouten, maar ook om onzekerheden ontstaan door het interpoleren van puntgegevens en onnauwkeurigheden in de meetapparatuur.

besproken hoe de kaarten zijn vervaardigd en wat de grootste bronnen van fouten in de variabelen zijn. Vervolgens volgt in hoofdstuk 4 de werkwijze en de resultaten van dit onderzoek. Tenslotte volgen in het laatste hoofdstuk de conclusies en aanbevelingen.

Aangezien de rekentijd afhankelijk is van onder meer de hoeveelheid pixels is ervoor gekozen de analyse slechts op een klein gedeelte van de Westerschelde en één organisme, de kokkel (*Cerastoderma edule*) uit te voeren. Het geanalyseerde gebied wordt begrensd door de x-coördinaten 52.000 en 59.000 en de y-coördinaten 374.000 en 387.000 (figuur 1).

Aangezien de procedure ongeacht gebied en organisme identiek is, kan de analyse voor elk ander gebied en organisme worden herhaald. Om in de toekomst herhaling zo eenvoudig mogelijk te maken zijn de genomen stappen en de gebruikte modellen opgenomen in de bijlage I en II.

De gebruikte gegevens zijn afkomstig van het RIKZ Middelburg en de Meetdienst Zeeland en staan op de oorspronkelijke dieptemetingen na in ArcInfo. Het modelleren, interpoleren en de andere kaartbewerkingen zijn uitgevoerd met PCRaster, een GIS-software pakket ontwikkeld door de Vakgroep Fysische Geografie van de Universiteit Utrecht.

2 Theorie foutenvoortplanting

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk volgt de theorie die van belang is bij foutenvoortplanting in kaarten. In dit hoofdstuk zullen de volgende onderwerpen aan de orde komen:

- de verschillende meetniveaus van variabelen,
- classificatiemethodes,
- de verschillende soorten en bronnen van fouten,
- foutenanalyse op verschillende meetniveaus en classificatiemethodes,
- Monte Carlo simulatie.

2.2 Meetniveau van variabelen

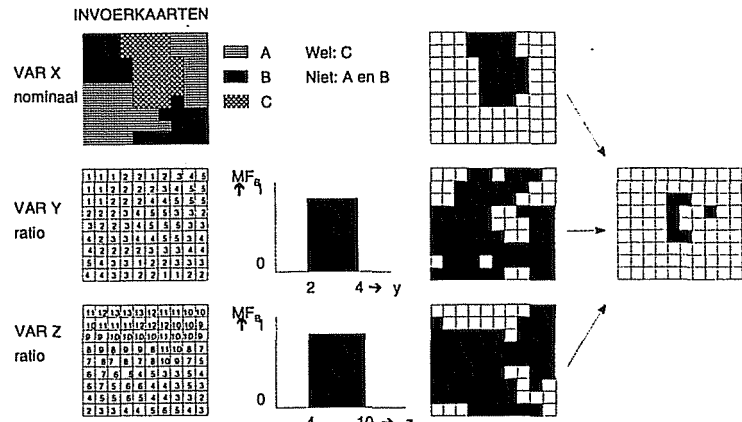
De manier waarop het doorwerken van fouten in kaarten wordt geanalyseerd is onder meer afhankelijk van het soort variabelen. Er zijn variabelen op vijf meetniveaus; boolean, nominaal, ordinaal, interval en ratio. Deze vijf begrippen worden in onderstaande tabel toegelicht.

Tabel 1 De vijf soorten variabelen en hun eigenschappen

meetniveau	eigenschappen	mogelijke berekeningen/operaties
boolean	Kaarten bestaande uit nullen en enen, waarbij nullen niet aan voorwaarde voldoen (false), en enen wel aan voorwaarde voldoen (true) Voorbeeld: selecteren woningbouw-locaties; helling < 10° en afstand stad < 5 km	'logic' operaties; AND, OR, XOR, NOT
nominaal	Er is geen hiërarchie tussen de verschillende eenheden. Voorbeeld: topografische kaart, vegetatiekaart.	geen
ordinaal	Er is een hiërarchie tussen de verschillende eenheden, maar dit kan niet in getallen worden uitgedrukt. Voorbeeld: hellingklassenkaart, inkomensgroepen.	'vergelijkende' operaties: <, >, =
interval	Er is een hiërarchie tussen de verschillende eenheden die in getallen kan worden uitgedrukt zonder een absoluut nulpunt. Voorbeeld: temperatuur in °C.	'vergelijkende' operaties, optellen en aftrekken
ratio	Er is een hiërarchie tussen de verschillende eenheden die bovendien in getallen kan worden uitgedrukt met een absoluut nulpunt. Voorbeeld: temperatuur in °K, aantal pollen per ha.	alle operaties ('vergelijkende' operaties, optellen, aftrekken, delen, vermenigvuldigen, machtsverheffen,...)

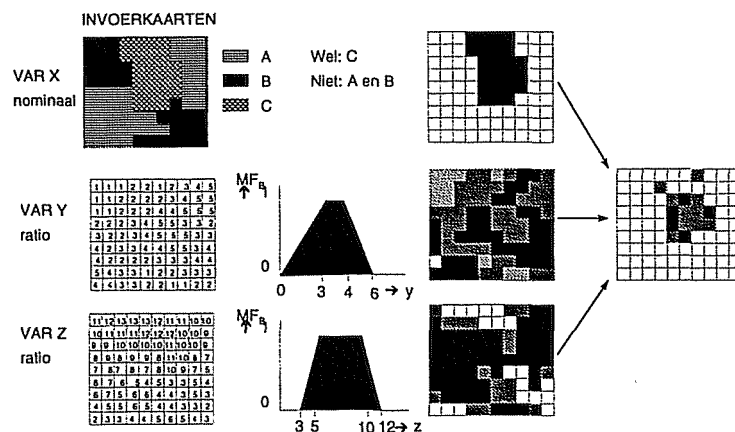
2.3 Classificatie methoden

Kaarten die een geschiktheid aangeven voor bijvoorbeeld landbouwgewassen of het voorkomen van organismen kunnen worden vervaardigd door 'boolean classificatie' en 'fuzzy classificatie'. De geschiktheid hangt af van een aantal fysische en/of chemische factoren, die kunnen zijn weergegeven in kaarten. In het geval van de groeimogelijkheden voor de kokkel in de Westerschelde zijn deze factoren de geomorfologie, de diepte, het slibpercentage van de bodem en de saliniteit. Bij boolean classificatie



Figuur 2 Principe van 'boolean classificatie'; hier wordt één kaart op nominaal niveau (var X) en twee kaarten op een ratio/interval niveau omgezet naar kaarten die aangeven of de pixel wel (zwart) of niet (wit) aan de voorwaarde voldoet. Deze drie kaarten worden hierna gecombineerd in een kaart waarin de pixels staan aangegeven die aan alle voorwaarden voldoen.

wordt van iedere afzonderlijke kaart een kaart vervaardigd waarbij gebieden worden onderscheiden die wel aan de voorwaarde voldoen (true: waarde 1) en gebieden die niet aan de voorwaarde voldoen (false: waarde 0). Vervolgens worden gebieden aangegeven waar aan alle variabelen wordt voldaan. Dit principe is weergegeven in figuur 2. Uit deze figuur blijkt dat wanneer aan meerdere voorwaarden moet worden voldaan er uiteindelijk slechts een klein gebied geschikt bevonden kan worden. Wanneer een pixel een waarde heeft juist buiten de



Figuur 3 Principe van fuzzy classificatie. Kaarten worden omgezet naar kaarten met een 'membership function' (MF) met een waarde tussen de 0 en 1. Vervolgens worden deze kaarten gecombineerd in de uiteindelijke kaart, waaruit de (mate van) geschiktheid blijkt. De gebruikte waarden voor de variabelen X, Y en Z zijn gelijk aan de waarden in het voorbeeld van de 'boolean classificatie'.

kritische grenzen, is de groeimogelijkheid voor deze pixel 0. In de natuur zijn overgangen zelden abrupt maar verlopen ze gradueel. Daarom is er een aanpassing gemaakt op boolean classificatie, waarbij in plaats van de kaart op te delen in gebieden die wel of niet voldoen aan een bepaalde voorwaarde, er een transitiezone wordt gedefinieerd waarin de geschiktheid wordt uitgedrukt in een waarde tussen 0 en 1. Deze manier van classificatie wordt 'fuzzy classificatie' of 'continue classificatie' genoemd.

Het principe van fuzzy classificatie is weergegeven in figuur 3.

2.4 Soorten fouten en bronnen van fouten

Er zijn twee soorten fouten; systematische en stochastische fouten. Onder systematische fouten wordt verstaan fouten met een consequente richting. Deze kunnen bijvoorbeeld zijn veroorzaakt door een verkeerde afstelling van meetinstrumenten. Wanneer de grootte van de systematische fout bekend is, kan hiervoor worden gecorrigeerd. Met de term stochastische fouten worden fouten met een willekeurige richting aangeduid. Een stochastische fout is per definitie normaal verdeeld.

Er zijn een aantal oorzaken van fouten aan te geven. In de onderstaande tabel staan een aantal van de belangrijkste oorzaken weergegeven (Burrough, 1986).

Tabel 2 Enkele belangrijke oorzaken van fouten in kaarten en GIS

DUIDELIJKE BRONNEN VAN FOUTEN

- Ouderdom van de gegevens
- Meetschema niet in overeenstemming met schaal van kaart
- Dichtheid meetnet komt niet overeen met variantie in variabele
- Relevantie (voorbeeld bij Remote Sensing: in hoeverre is reflectiewaarde representatief)

FOUTEN DOOR NATUURLIJKE VARIATIE OF ORIGINELE METINGEN

- Plaatsbepaling
- Betrouwbaarheid van eenheden (kwantitatief en kwalitatief)
- Variatie in data: natuurlijke variatie in data, verschillen tussen verschillende data-verzamelaars

FOUTEN DOOR BEWERKEN VAN GEGEVENS

- Fouten door fouten met cijfers van computers (voorbeeld: afronden)
 - Fouten door topologische analyses (voorbeeld: overlays van kaarten)
 - Fouten door classificatie en generalisatie (voorbeeld: classificeren van data, interpolatie)
-

2.5 Foutenanalyse in variabelen

De manier waarop fouten in gegevens worden beschreven is afhankelijk van het meetniveau van de variabele. De manier waarop fouten in nominale en ordinale variabelen doorwerken is opgenomen in paragraaf 2.5.1. en in paragraaf 2.5.2 wordt vermeld de invloed van fouten op interval en ratio variabelen. Tenslotte is in de laatste paragraaf de invloed van fouten op kaarten die zijn geclassificeerd met boolean of fuzzy classificatie beschreven.

2.5.1 Fouten in nominale en ordinale variabelen

De fout in nominale en ordinale variabelen kan worden beschreven in een 'confusion matrix' (wordt ook wel 'error matrix' genoemd). In een confusion matrix wordt bij elke kaarteenheden aangegeven welk percentage van de klasse op de kaart in werkelijkheid ook in die klasse valt en hoe vaak in andere klassen. Een voorbeeld van een 'confusion matrix' is weergegeven in figuur 4. In dit voorbeeld is 90% van de oppervlakte die is geclassificeerd als A ook in werkelijkheid A. Echter, 2% van de oppervlakte geclassificeerd als A is in werkelijkheid B, 6% is C en 2% behoort tot klasse E. Het is uit de confusion matrix af te leiden dat het onmogelijk is dat eenheden op de kaart geclassificeerd als A in werkelijkheid behoren tot de klasse D. Bij een confusion matrix zijn de waarden opgeteld, zowel per rij als per kolom, gelijk aan 100 procent.

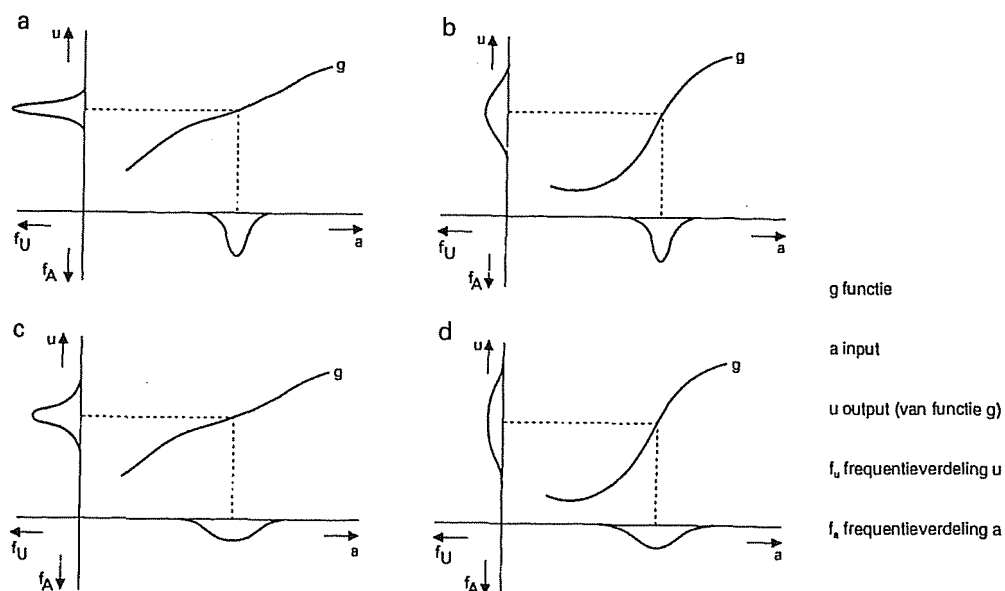
kaart werkelijk	A	B	C	D	E
A	90%	2%	3%	0%	5%
B	2%	90%	6%	0%	2%
C	6%	5%	85%	3%	1%
D	0%	0%	4%	96%	0%
E	2%	3%	2%	1%	92%

Figuur 4 Voorbeeld van een 'error matrix' of 'confusion matrix'.

2.5.2 Interval en ratio variabelen

Bij variabelen gemeten op een interval of ratio meetniveau kunnen fouten worden uitgedrukt in een standaarddeviatie. De grootte van de standaarddeviatie is een maat voor de onzekerheid in de variabele. De grootte van de fout kan in het gehele gebied gelijk zijn, maar kan ook in de ruimte variëren.

Behalve van de grootte van de standaarddeviatie is de grootte van de fout van het eindproduct



Figuur 5 Invloed van de grootte van de invoerfout en de berekening op de fout in het eindproduct.
Bron: Heuvelink, 1993.

ook afhankelijk van de berekening die wordt uitgevoerd (Heuvelink, 1993). Dit is weergegeven in figuur 5, waar de invoer is weergegeven langs de x-as en de resulterende uitvoer langs de y-as. In figuur 5a en 5b is de invoerfout gelijk, het verschil in de berekening zorgt echter voor een verschil in de grootte van de uitvoerfout. Bij een grotere invoerfout treedt hetzelfde fenomeen op (figuur 5c en 5d).

Wanneer variabelen met een normaal verdeelde fout met elkaar worden gecombineerd volgens de volgende formule:

$$u = g(x_1, x_2, x_3, \dots, x_j) \quad (1)$$

kan de standaarddeviatie van het eindprodukt worden berekend met de formule:

$$S_u = \left[\sum_{i=1}^J \frac{\delta u}{\delta x_i^2} \cdot S_{x_i}^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \left[\sum_{i=1}^J \sum_{j=1}^J \left(\frac{\delta u}{\delta x_i} \cdot \frac{\delta u}{\delta x_j} \cdot S_{x_i} \cdot S_{x_j} \cdot r_{ij} \right) \right] \quad (2)$$

waarin: u uitkomst berekening

g model

x invoer variabelen

Su standaarddeviatie uitkomst

Sx standaarddeviatie invoer

r_{ij} correlatie coëfficiënt tussen i en j

Uit de formule blijkt dat variabelen met gecorreleerde fouten leiden tot grote onzekerheden in het eindresultaat. Wanneer de fouten 100% gecorreleerd zijn, is de fout in het eindresultaat gelijk aan de som van de beide fouten (Burrough, 1986).

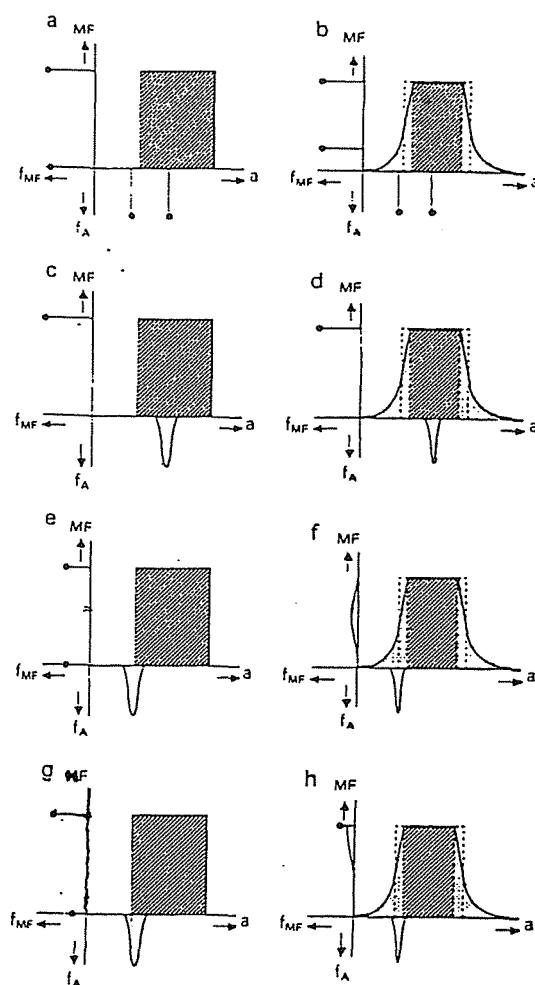
2.5.3 Doorwerken van fouten in boolean en continue classificatie

Wanneer variabelen met een fout door boolean classificatie of fuzzy classificatie worden geclassificeerd kunnen de fouten in de invoerdata op verschillende manieren doorwerken in het eindresultaat. Dit is weergegeven in figuur 6. In de linkergrafieken is sprake van boolean classificatie, in de grafieken aan de rechterkant is sprake van fuzzy classificatie. In figuur 6a en 6b wordt uitgegaan van een deterministische variabele, dat wil zeggen dat de fout (σ) gelijk is aan 0. Bij waarden die zich in de transitiezone van de fuzzy classificatie bevinden, levert een identieke invoer-waarde bij boolean classificatie (MF_B) een andere uitvoerwaarde op (= Membership Function = MF_B), op dan bij continue classificatie (MF_C). Aangezien de fout in de invoer gelijk is aan 0, is er geen fout in de uitkomsten.

Wanneer de fout van de invoer niet gelijk is aan nul kunnen een aantal situaties optreden. In figuur 6c ligt de gehele foutendistributie binnen de grenzen van de boolean klasse en in figuur 6d ligt de gehele foutendistributie in de zone waar de MF_C gelijk is aan 1. Het levert dan in beide gevallen ook een MF op van 1 en een fout van 0. Dit verandert wanneer de foutendistributie zich bevindt op de overgang van klassen. In de figuren 6e en 6f is het gemiddelde van de invoer-waarde gelijk aan de waarde van de overgang van de klassen. In het geval van een boolean classificatie levert dat in 50% van de gevallen een waarde op van 0 en in de andere 50% een waarde van 1. Bij continue classificatie levert dit een gemiddelde MF_C op van 0,5 met een bepaalde (normaal verdeelde) fout. In de laatste twee situaties (figuren 6g en 6h) is eveneens de foutendistributie gelegen op de overgang tussen klassen, maar in deze situaties is de gemiddelde waarde van de input niet gelijk aan de overgang. Bij boolean classificatie resulteert dit in een MF_B gelijk aan 1, maar soms ook 0. Bij continue classificatie levert het gemiddelde MF_C op van circa 0,9 en een niet normaal verdeelde fout.

Bij het maken van

groeimogelijkhedenkaarten op het RIKZ (met behulp van de ArcInfo applicatie ZEEGRAS) werden de verschillende variabelen fuzzy geclassificeerd, waarbij er van uit werd gegaan dat de variabelen deterministisch zijn, dus zonder een fout. Dit is vergelijkbaar met wat is uitgevoerd in figuur 6b. Dat de fout in de variabelen gelijk is aan nul is niet een realistische aanname, zowel in de dieptekaart (Storm et al., 1993), de slibgehaltekaart, de saliniteitskaart als de geomorfologische kaart zit een (soms aanzienlijke) fout. Tijdens de stage is zijn de onzekerheden in de invoerdata geïntegreerd in het eindresultaat, zoals weergegeven in de figuren 6d, 6f en 6h.



Figuur 6 De verschillende manieren waarop fouten in afzonderlijke variabelen bij boolean en fuzzy classificatie doorwerken in het eindresultaat. Op de x-as is de invoervariabele weergegeven. Langs de y-as staat de uitvoerwaarde uitgedrukt in MF met bijbehorende fout. Bron: Heuvelink & Burrough (1993) en Heuvelink (1993).

2.6 Monte Carlo simulatie

Er zijn vier belangrijke technieken om de foutenvoortplanting te berekenen; de eerste orde Taylor methode, de tweede orde Taylor methode, de Rosenblueth methode en de Monte Carlo methode. De eerste drie methoden zijn niet toegepast en worden in dit verslag niet besproken. Voor de theorie achter deze methoden wordt verwezen naar Heuvelink (1993).

De Monte Carlo methode kan worden uitgevoerd op variabelen op alle meetniveaus en gaat uit van een variabele met een normaal verdeelde fout. Bij de methode wordt uit de verspreiding van voorkomende invoerwaarden random (= willekeurig) een getal gekozen, waarbij waarden die dicht bij het gemiddelde liggen een grotere kans hebben om getrokken te worden dan waarden verder zijn verwijderd van het gemiddelde. Bij de getrokken waarde wordt met behulp van een model een uitkomstwaarde berekend. Dit wordt beschreven in de volgende formule:

$$U(x) = g(A_1(x), \dots, A_m(x)) \quad (3)$$

waarbij: $U(x)$ uitkomst model
 g model
 $A_{1\dots m}$ invoer variabelen
 x random getrokken waarde

Dit wordt een groot aantal keer herhaald (meerdere 'runs'), waarna per pixel het gemiddelde, de standaarddeviatie en de variatie coëfficiënt kunnen worden berekend met de volgende formules:

$$m_u = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i \quad (4)$$

$$s_u = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (u_i - m_u)^2} \quad (5)$$

$$cv_u = \frac{s_u}{m_u} \quad (6)$$

waarbij: m_u gemiddelde van de uitkomsten
 s_u standaarddeviatie van de uitkomsten
 u_i uitkomst van één 'run'
 cv_u variatie coëfficiënt

Belangrijk voordeel van de Monte Carlo simulatie is dat bij voldoende runs de gehele distributie van voorkomende waarden wordt meegenomen in de analyse en dat hierdoor de nauwkeurigheid in de kaart goed kan worden weergegeven. Ook is de methode relatief simpel toe te passen, ook bij complexe modellen. Het grootste nadeel van de Monte Carlo simulatie is dat bij een groot aantal runs en een groot aantal pixels de rekentijd zeer lang kan worden.

Het is echter noodzakelijk dat voldoende runs worden uitgevoerd, aangezien anders de berekende gemiddelden en standaarddeviaties niet betrouwbaar zijn. Een ander nadeel van de Monte Carlo simulatie is dat bij aanpassing van variabelen of het model de gehele Monte Carlo simulatie opnieuw moet worden uitgevoerd (Heuvelink, 1993).

2.7 Interpolatie methodes

2.7.1 Inverse distance interpolatie

Inverse distance interpolatie is een interpolatiemethode waarbij de waarde op een punt wordt geschat aan de hand van een aantal omringende punten. Hierbij worden aan punten die dichtbij het te schatten punt liggen meer gewicht toegekend dan aan ver weg gelegen punten. De waarde van een punt wordt geschat met behulp van de volgende formule (Isaaks & Mohan Srivastava, 1989):

$$\hat{u} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p} u_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \quad (7)$$

waarbij: \hat{u} geschatte waarde van een punt
 d_i afstand van punten met bekende waarde tot te schatten punt
 u_i waarde van punten
 p 'inverse distance power' (mate waarin punten of grotere afstand de waarde van het te schatten punt bepalen).

Belangrijk voordelen van deze methode zijn de eenvoud en de inzichtelijkheid van de methode. Nadelen zijn de gevoeligheid van de methode voor uitschieters (punten met een sterk van de overige datapunten afwijkende waarden) in de dataset en de relatief grote invloed van de manier van monsternamen (de ligging van de verzamelde datapunten) op de uitkomst. Een ander nadeel van de inverse distance interpolatie is dat, in tegenstelling tot kriging, geen maat voor betrouwbaarheid wordt verkregen bij de interpolatie.

2.7.2 Ordinary Kriging

Bij kriging wordt ervan uitgegaan dat de ruimtelijke variatie in een variabele is opgebouwd uit drie componenten (figuur 7). Dit zijn (a) een structurele component (een gemiddelde of een constante trend), (b) een stochastische, lokaal variërende maar ruimtelijk afhankelijke component en (c) een ruimtelijk onafhankelijk ruis ('noise', 'nugget'). Dit is weergegeven in de volgende formule:

$$Z(x) = m(x) + \epsilon'(x) + \epsilon'' \quad (8)$$

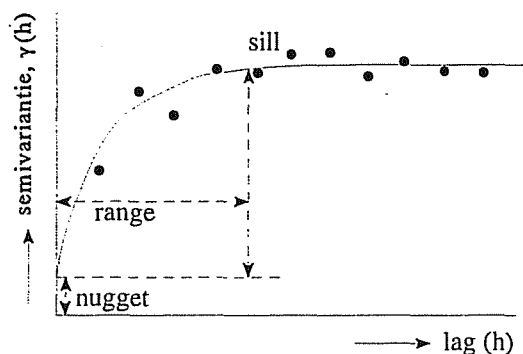
waarin: $Z(x)$ waarde van de variabele
 $m(x)$ structurele component
 $\epsilon'(x)$ ruimtelijk afhankelijke component
 ϵ'' ruimtelijk onafhankelijke ruis

Bij kriging wordt de waarde van een punt net als bij inverse distance interpolatie geschat met behulp van omringende punten. Kriging gaat uit van een kritische afstand waarbij een datapunt geen invloed meer heeft op de te schatten waarde, deze afstand wordt 'range' genoemd. Deze waarde kan worden gevonden door een variogram te maken. Een voorbeeld van een variogram is weergegeven in figuur 8. Een variogram kan worden gemaakt met behulp van het programma GSTAT (onderdeel van PCRaster). Een variogram wordt gemaakt door de gemiddelde variantie (semivariantie) te berekenen tussen punten op een bepaalde afstand ('lag'). Vervolgens wordt de variantie berekend voor punten op een afstand van twee maal de lag, tot een opgegeven maximale afstand ('cut-off') is bereikt. De semivariantie wordt berekend met de volgende formule:

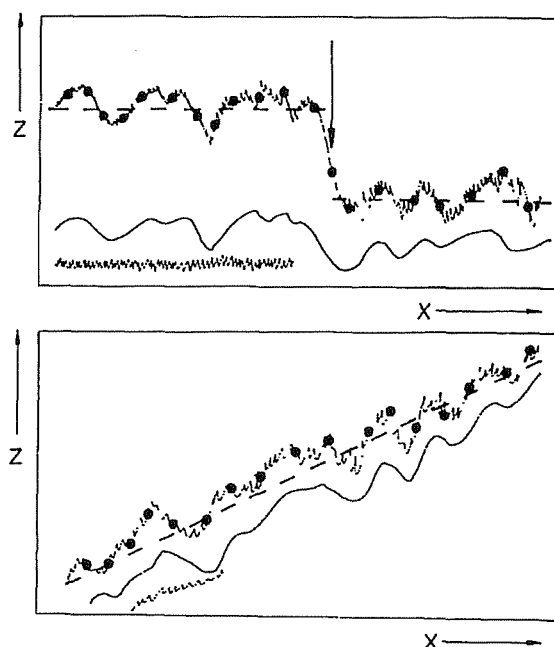
$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (9)$$

waarbij: $\gamma(h)$ semivariantie
 h lag
 z waarde van datapunt
 x x-coördinaat

Vervolgens worden de berekende semivarianties uitgezet tegen de lag in een variogram. Dan wordt er een model (meestal sferisch, exponentieel of gaussisch) door de geplote punten heengetrokken, waarna de 'range', 'sill' en 'nugget' uit het variogram kunnen worden afgeleid (figuur 8). De nugget (of ruis) is gelijk aan het intercept met de y-as. De waarde voor de sill is gelijk aan de maximale semivariantie in het model waarvan de nugget is afgetrokken. De range is de afstand tussen punten waarna de semivariantie niet verder toeneemt. Kriging



Figuur 8 Voorbeeld van een variogram. Door de datapunten worden de variogrammodellen getrokken.



Figuur 7 De waarde van een variabele is opgebouwd uit drie componenten; een structurele component (doorbroken lijn), een ruimtelijk afhankelijke component (ondoorbroke lijn) en een ruimtelijk onafhankelijke ruis of nugget (sterk fluctuerende lijn). De punten geven de meetpunten aan. De constante kan in het gehele gebied gradueel veranderen (b) of bij overgangen verspringen (a). Bron: Burrough (1986).

kan zowel worden toegepast op puntwaarden als op blokken van een bepaalde grootte waarbij een waarde voor een blok van een op te geven grootte wordt geïnterpoleerd. In het eerste geval spreekt men van 'ordinary point kriging', in het laatste geval van 'ordinary block kriging'. Voor meer informatie over de interpolatie methoden wordt verwezen naar Isaaks en Mohan Srivastava (1989) en Burrough (1986).

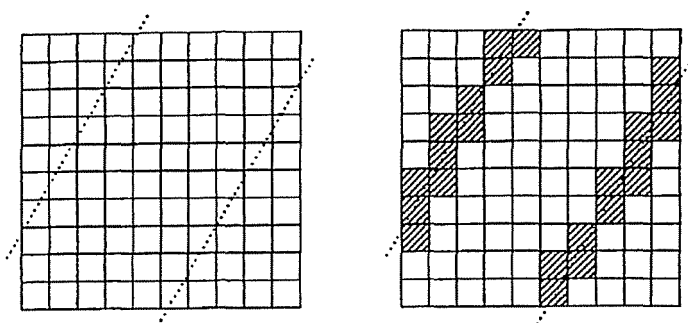
3 Gebruikte variabelen

3.1 Inleiding

Voor een deel van de Westerschelde (figuur 1) is een groeimogelijkhedenkaart voor de kokkel vervaardigd. Voor het bepalen van de relatieve groeimogelijkheid van de kokkel zijn de volgende variabelen gebruikt: een geomorfologische kaart van het intergetijdengebied, een dieptekaart, een slibgehaltekaart (percentage bodemmateriaal kleiner dan 63 μm) en een saliniteitkaart. In het volgende hoofdstukken wordt beschreven hoe de kaarten zijn vervaardigd en de bronnen van fouten in de variabelen.

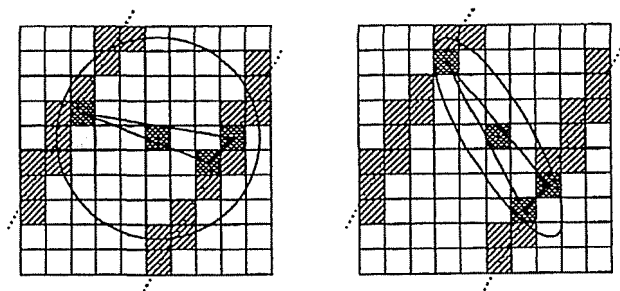
3.2 Diepte

Van de gehele Westerschelde zijn dieptemetingen beschikbaar. De metingen worden elk jaar gedaan door dieptelodingen vanaf schepen. De schepen varen in raaien ('soundings') zoveel mogelijk loodrecht op de dieptelijnen waarbij, afhankelijk van de snelheid van het schip, om de 30 tot 50 cm een dieptebeoordeling wordt gedaan. De afstand tussen de verschillende raaien is ongeveer 100 meter. De metingen worden gecorrigeerd voor getij-invloed. Plaatsbepaling vindt plaats door DGPS. De lodingen zijn met behulp van



Figuur 9 De waarde van de gridcellen waarin dieptemetingen zijn gedaan wordt bepaald door het berekenen van het rekenkundig gemiddelde van alle dieptemetingen in betreffende gridcel. De punten in (a) geven de meetpunten op de raaien aan. In de gearceerde pixels in (b) wordt de waarde bepaald door berekenen van het rekenkundig gemiddelde. Bron: Willems (1995).

interpolatieprogramma DIGIPOL geïnterpoleerd (Munster & Van Antwerpen, 1994). Bij DIGIPOL wordt de Westerschelde opgedeeld in gridcellen van 20 bij 20 meter. Allereerst wordt de diepte berekend in cellen waarin dieptelodingen zijn verricht door het rekenkundig gemiddelde van deze metingen te berekenen (figuur 9). Het interpoleren van de tussengelegen pixels gebeurt in twee stappen. Bij de eerste stap zoekt DIGIPOL voor de gridcellen waarin geen metingen zijn verricht in een cirkel met een op te geven straal naar de dichtst bij gelegen gridcel met een waarde. Vervolgens wordt de dichtsbijzijnde gridcel gezocht die op een



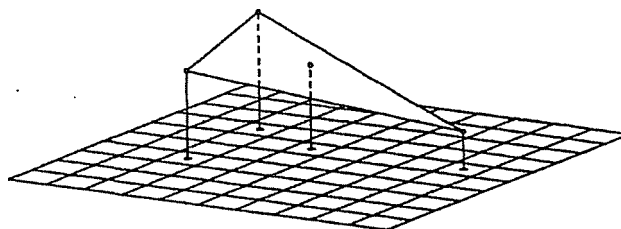
Figuur 10 Bij stap 1 worden drie punten gezocht binnen een cirkel (a) om het punt te interpoleren. Met de bij stap 1 geïnterpoleerde waarden worden de dieptelijnen geconstrueerd. Vervolgens worden in de richting van de dieptelijnen een ellips over het punt heen gelegd. Binnen de ellips worden drie punten geselecteerd waarmee de definitieve diepte wordt berekend (b).
Bron: Willems, 1995.

sounding ligt aan de andere zijde van het te interpoleren punt. De derde gridcel die wordt gebruikt om de waarde te schatten is de dichtstbijzijnde gridcel die met de andere twee gridcellen een driehoek vormt (figuur 10a). Vervolgens wordt de waarde berekend met inverse distance interpolatie (figuur 11).

Bij de tweede stap wordt gebruikt gemaakt van de bij stap 1 geïnterpoleerde waarden. Opnieuw zijn alle pixels waarin geen dieptemetingen zijn gedaan geïnterpoleerd. Nu wordt echter voor de te interpoleren cel

gekeken naar de bij de eerste stap geïnterpoleerde waarden van de omringende cellen. Uit deze waarden wordt het verloop van de dieptelijnen bepaald, waarna een ellips met zijn hoofdas evenwijdig aan de dieptelijnen om het punt wordt geconstrueerd (figuur 10b). Binnen deze ellips worden weer drie gridcellen geselecteerd op vergelijkbare wijze als is gedaan bij stap 1. Met de drie gridcellen wordt de definitieve waarde voor de gridcel berekend.

Nadeel van de interpolatiemethode DIGIPOL is dat er geen maat van betrouwbaarheid van de interpolatie wordt verkregen. Ook in de literatuur zijn geen waarden voor de



Figuur 11 Met behulp van de drie geselecteerde waarden wordt het punt geïnterpoleerd. Bron: Willems, 1995.

betrouwbaarheid van deze interpolatiemethode gevonden. Daarom is besloten om alleen te werken met de fout die in de dieptemetingen zelf zit. Deze zijn gebaseerd op rapporten van Nanninga (1985) en Jonkers (1991). De bronnen van de fouten voor de verschillende eenheden zijn weergegeven in tabel 3. De totale fout per eenheid is opgenomen in tabel 4.

Tabel 3 Overzicht van stochastische en systematische fouten bij dieptelodingen (in meters)

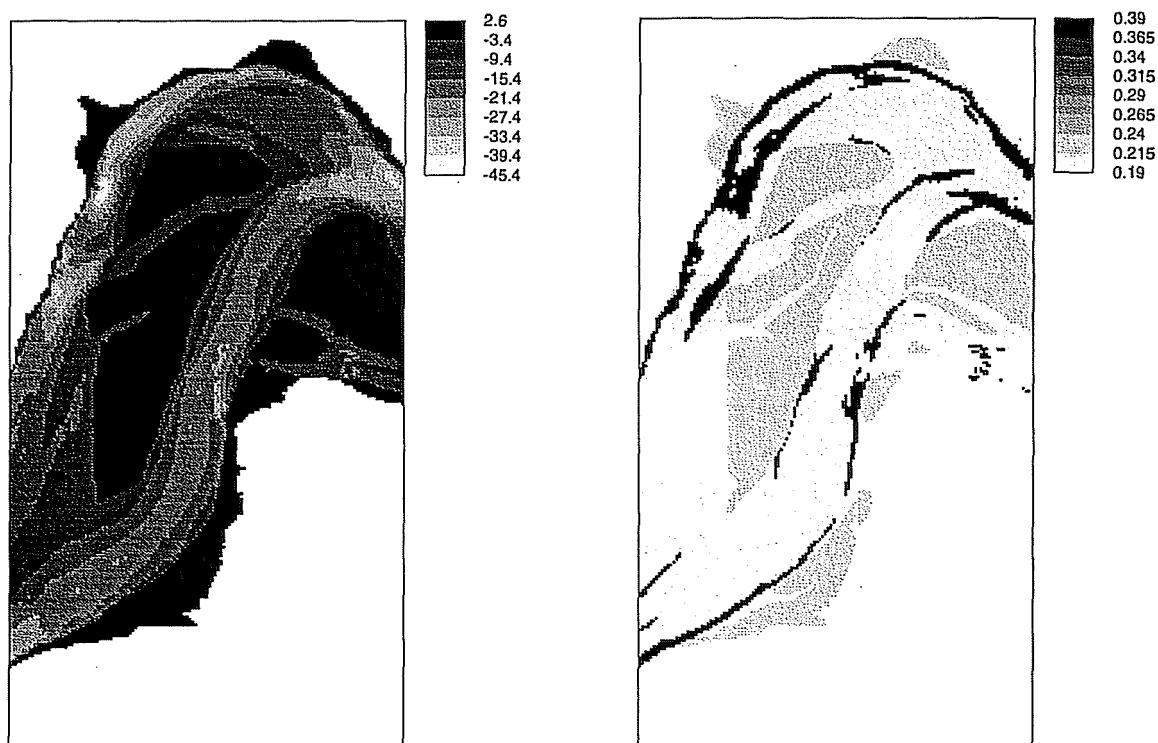
STOCHASTISCHE FOUTEN (1σ)	intergetijden	helling	geulbodem/ vlak gebied
echoloding	0.05	0.15	0.15
plaatsbepaling	0.20	0.35	0.10
waterstand	0.05	0.05	0.05
afrondding	0.03	0.03	0.03
totaal	0.23	0.39	0.19

SYSTEMATISCHE FOUTEN (1Σ)	squat intergetijdengebied ¹	- 0.20
	squat geulen/hellingen	- 0.10
	vlakke bodem	- 0.15
¹ gebieden boven GLW		

Tabel 4 De totale stochastische en systematische fout in de dieptelodingen

gebied	totale fout
intergetijden	-0.20 ± 0.23
hellingen plaat/geul (>5%)	-0.25 ± 0.39
geulbodems/vlakke gebieden (<5%)	-0.10 ± 0.19

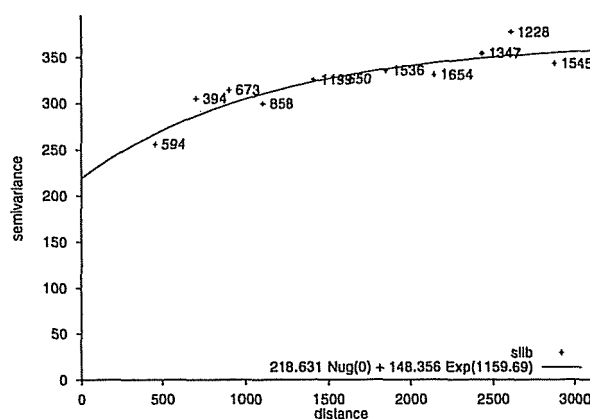
In figuur 12 is de kaart van de met DIGIPOL geïnterpoleerde dieptegegevens en de kaart met de stochastische fout in de dieptegegevens (gebaseerd op tabel 4) weergegeven. Deze kaarten hebben gediend als invoerwaarden bij de Monte Carlo simulatie.



Figuur 12 Dieptekaart gebruikt bij de Monte Carlo simulatie met bijbehorende standaarddeviatie (σ) in de diepte. De eenheid in beide kaarten is meters ten opzichte van N.A.P.

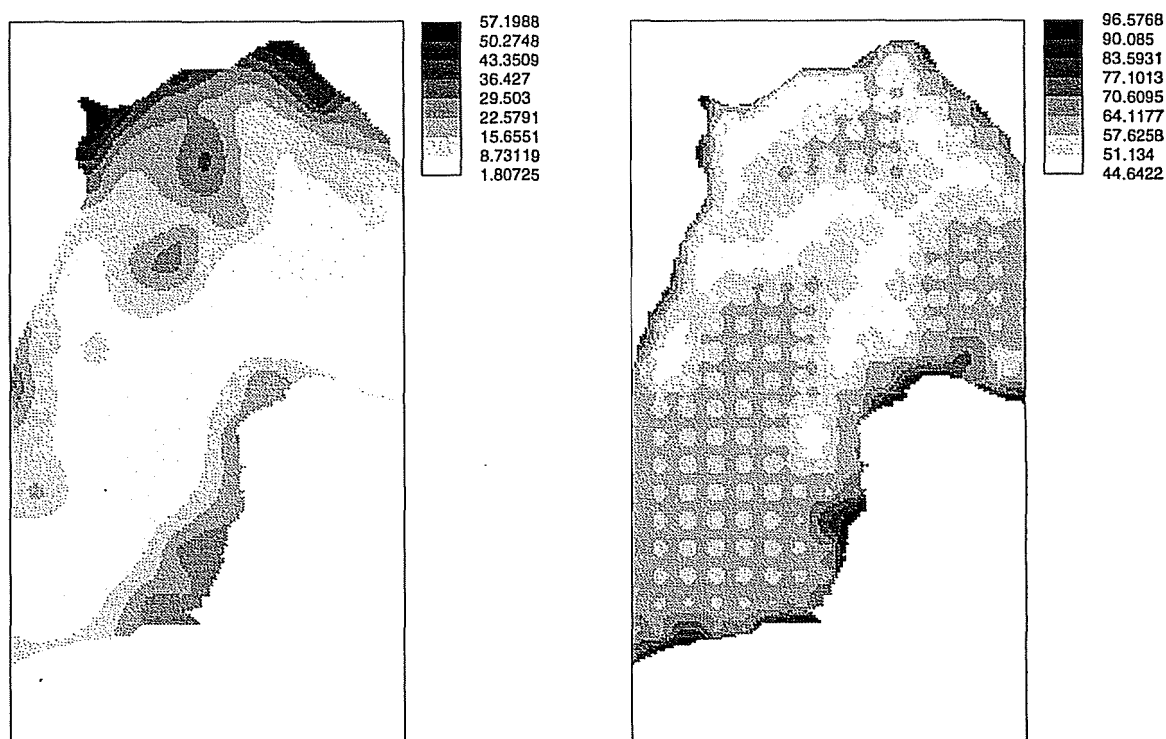
3.3 Slibgehalte

Voor de slibgehaltekaart zijn de puntdata gebruikt van de McLaren dataset uit 1993. Het slibgehalte (fractie $>4,5\phi$) wordt in de Westerschelde gemeten afhankelijk van de complexiteit van de bathymetrie om de 250 of 500 meter. De gegevens zijn in de diepere delen verzameld vanaf schepen met de 'Van Veen happer' en op de hoger gelegen delen zijn de grondmonsters handmatig genomen. Vervolgens zijn de monsters in het laboratorium geanalyseerd met de 'Malvern 2600L laser particle-size analyser'. Dit is een apparaat dat de korrelgrootteverdeling bepaald door de mate van afwijking van laserstralen met een bepaalde golflengte. De korrelgrootteverdeling wordt twee maal bepaald, waarna met het gemiddelde wordt verder gewerkt. De gebruikte metingen zijn gedaan door GeoSea volgens de McLaren methode. Bij de McLaren methode worden, in tegenstelling tot de meestal toegepaste methoden, de genomen bodemonsters niet voorbehandeld. Voor de korrelgrootteanalyse worden de monsters doorgaans voorbehandeld door het verwijderen van kalkdeeltjes met zoutzuur en het organisch materiaal met waterstofperoxyde, aangezien zowel kalk als organisch materiaal ervoor kunnen zorgen dat het slib en fijn zand aan elkaar gaan klonteren. Wanneer dit wordt verwijderd bij het voorbehandelen is het monster niet representatief voor het bodemmateriaal zoals dat in de natuur wordt aangetroffen (McLaren, 1994).



Figuur 13 Variogram gemaakt met slibgehaltenes McLaren.

De puntdata zijn geïnterpoleerd door ordinary block kriging toe te passen met de PCRaster software. Hiervoor is een variogram gemaakt, waarbij de nugget door GSTAT is berekend zo dat het model de meeste variantie verklaart (figuur 13). Uit dit model blijkt dat de onverklaarde ruis ('nugget') erg hoog is. De hoge nugget wijst op een grote variatie in het slibgehalte op korte afstand. Met dit variogram is een slibgehaltekaart geïnterpoleerd door ordinary block kriging met een blokgrootte van 50×50 meter toe te passen. Het ASCII-bestand dat is gebruikt bij de interpolatie is opgenomen in bijlage IIc. De in het model gebruikte slibkaart en bijbehorende variantiekaart zijn opgenomen in figuur 14. Opvallend is dat de onzekerheidsmarge zeer hoog is. Dit wordt veroorzaakt door de hoge nugget. In de toekomst zou de kwaliteit van de kaart verbeterd kunnen worden door te experimenteren met de toepassing van 'stratified kriging' of 'universal kriging'. Bij stratified kriging wordt in plaats van voor het gehele gebied één variogram voor elke te definiëren eenheid een variogram gemaakt. Hierbij zou gedacht kunnen worden aan (samengevoegde) geomorfologische eenheden. Wanneer voor het gehele gebied één variogram is gemaakt, wordt er vanuit gegaan dat binnen dit gebied het slibgehalte gradueel verloopt (figuur 7b). Het



Figuur 14 Slibgehaltekaart met bijbehorende variantiekaart gebruikt bij de Monte Carlo simulatie.

is echter mogelijk dat dit, aangezien er zowel schorren, platen als geulen in het gebied aanwezig zijn, geen juiste aanname is, en dat het slibgehalte bij overgangen van morfologische eenheden verspringt (figuur 7a).

Bij universal kriging (ook wel co-kriging genoemd) worden voor een variabele waar (te) weinig gegevens beschikbaar zijn, gecorreleerde hulpvariabelen geïnterpoleerd, waarna de geïnterpoleerde hulpkaarten met behulp van bekende correlaties worden omgezet naar een uiteindelijke kaart van de variabele (Isaaks & Mohan Srivastava, 1989).

Wanneer met universal kriging een slibgehaltekaart zou worden gemaakt zou allereerst moeten worden onderzocht welke variabelen goed met het slibgehalte zijn gecorreleerd. Gedacht zou kunnen worden aan gegevens als de diepte of de stroomsnelheid (aan deze kaart wordt momenteel gewerkt). Het is ook mogelijk dat het integreren van Landsat TM beelden de kwaliteit van de slibkaart voor de hoog gelegen gebieden kan verbeteren (Kokkel, 1996).

3.4 Geomorfologie intergetijdengebied

De geomorfologische kaart is gebaseerd op luchtfoto's die worden genomen op een schaal van 1:10.000 en 1:30.000. De kleinschalige luchtfoto's (1:30.000) worden met behulp van topografische kaarten geometrisch gecorrigeerd. De grootschalige luchtfoto's worden op hun beurt weer geometrisch gecorrigeerd aan de hand van de luchtfoto's op een schaal van 1:30.000. Vervolgens worden de luchtfoto's geïnterpreteerd. De eenheden die worden onderscheiden, de afkorting van deze eenheden en de codes waaronder de eenheden zijn

opgenomen in ArcInfo zijn weergegeven in de volgende tabel (Huijs, 1995).

Tabel 5 De eenheden die worden onderscheiden op de geomorfologische kaart uit 1994

Eenheid	Omschrijving	ArcInfo-code
VLAK		
P1a	Hoog dynamisch, relaties steile helling	1
P1b	Laag dynamisch, slibarm	2
P1c	Laag dynamisch, slibrijk	3
P1bc	Laag dynamisch, afwisselend slibarm en slibrijk	4
P1d	Laag dynamisch	5
MEGARIBBELS		
P2a1	2D (rechte kamlijn); hoog dynamisch; $L < 10$ m	7
P2a2	2D; hoog dynamisch; $10 \text{ m} < L < 25$ m	8
P2a3	2D; hoog dynamisch; $L > 25$ m	9
P2b1	3D (onregelmatig patroon kamlijn); hoog dynamisch; $L < 10$ m	11
P2b2	3D; hoog dynamisch; $10 \text{ m} < L < 25$ m	12
P2b3	3D; hoog dynamisch; $L > 25$ m	13
GEÏSOLEERDE RUG		
P3	geïsoleerde rug; slibarm	15
SCHORREN		
S1	schor met pioniervegetatie	16
S2	volwassen schor met oeverwallen en kommen	17
DUIN		
D	duinen, eolisch gevormd	18

Fouten in de geomorfologische kaart ontstaan vooral door het verkeerd classificeren van de verschillende eenheden. Dit kan worden uitgedrukt in een error matrix. Aangezien het voor 15 verschillende geomorfologische klassen lastig is om een error matrix op te stellen, zijn een aantal klassen samengevoegd. De nieuwe onderverdeling en de groeimogelijkheid voor de nieuwe klassen is weergegeven in tabel 6. In tabel 7 is de error matrix voor deze klassen opgenomen.

Tabel 6 Vereenvoudigde geomorfologische klassenindeling

omschrijving nieuwe eenheid	ArcInfo-code	nieuwe klasse-code	groeimogelijkheid
hoogdynamisch	1,7,8,9,11,12,13,15	1	0
laagdynamisch slibarm	2	2	100
laagdynamisch variabel slib	4	3	75
laagdynamisch, slibrijk	3,5	4	50
schor	16,17	5	0
geul	'MV' ²	6	0

Tabel 7 De error matrix voor de geomorfologische kaart

kaart \ werkelijkheid	1	2	3	4	5	6
1	100	0	0	0	0	0
2	0	80	20	0	0	0
3	0	20	60	20	0	0
4	0	0	20	70	10	0
5	0	0	0	0	100	0
6	0	0	0	0	0	100

² MV = Missing Value. Aangezien alleen het intergetijdegebied is gekarteerd, behoren de missing values vrijwel allemaal tot de geulen.



Figuur 15 De vereenvoudigde geomorfologische kaart gebruikt bij de Monte Carlo simulatie.

De geomorfologische kaart gebruikt bij de Monte Carlo simulatie is weergegeven in figuur 15.

3.5 Saliniteit

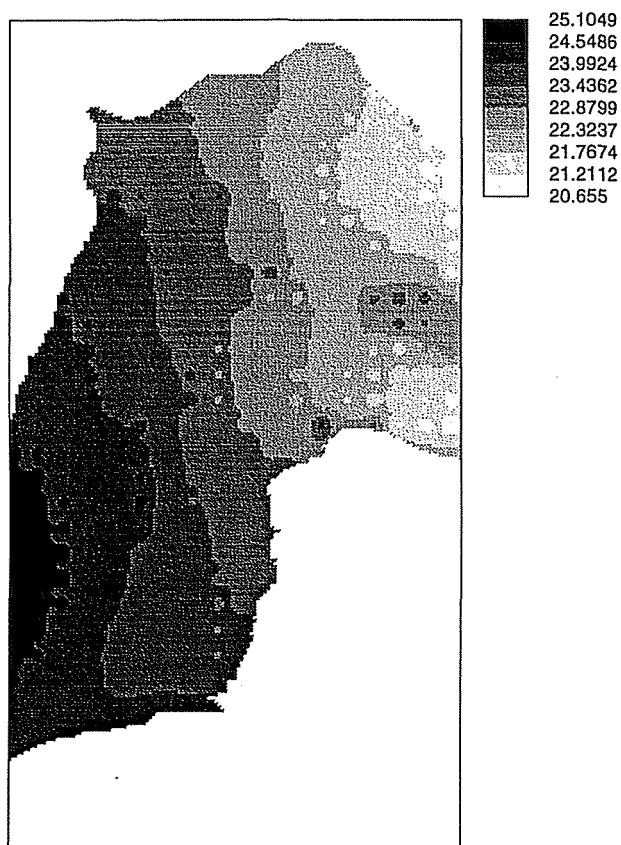
De saliniteit in de Westerschelde is afhankelijk van het debiet van de rivier de Schelde en het getij. Daardoor zijn in de zomer, wanneer de afvoer relatief laag is, de zoutgehalten hoger dan in de winter, wanneer de afvoer van de Schelde groter is. Aangezien het zoutgehalte afhankelijk is van de rivierafvoer, is het zoutgehalte bepaald door het modelleren van de waterbeweging met behulp van SCALDIS400 (variant van WAQUA) voor verschillende afvoeren. Door te modelleren met verschillende afvoeren is het mogelijk om de saliniteit voor een gemiddelde, een maximale en een minimale afvoer te bepalen. In het model is het zoutgehalte gebruikt bij een gemiddelde afvoer. De keuze voor een bepaalde afvoer heeft een grote invloed op de uitkomsten van het model.

De zoutgehalten zijn bepaald voor 400X400 meter gridcellen. In het model wordt echter gewerkt met cellen van 50X50 meter. Daarom zijn de waarden van de gridcellen omgezet naar puntwaarden en zijn vervolgens deze punten geïnterpoleerd met inverse distance interpolatie naar 50X50 meter cellen. Een redelijke benadering van de fout in het model is voor het gehele gebied een waarde van circa ± 3 gr/l als het 95% betrouwbaarheidsinterval (persoonlijke mededeling Van der Male). De zoutkaart is weergegeven in figuur 16. Aangezien de zoutkaart

is weergegeven in saliniteit (kg/m^3) en de kritische grens in chloride gehalte (‰), zijn de kritische waarden omgerekend naar saliniteit met behulp van de volgende formule:

$$Sal = (Chl * 1.8065) + 0.03 \quad (10)$$

waarbij: Sal Saliniteit (kg/m^3)
Chl Chloride gehalte (‰)



Figuur 16 De zoutkaart (uitgedrukt in saliniteit) die is gebruikt bij de Monte Carlo simulatie.

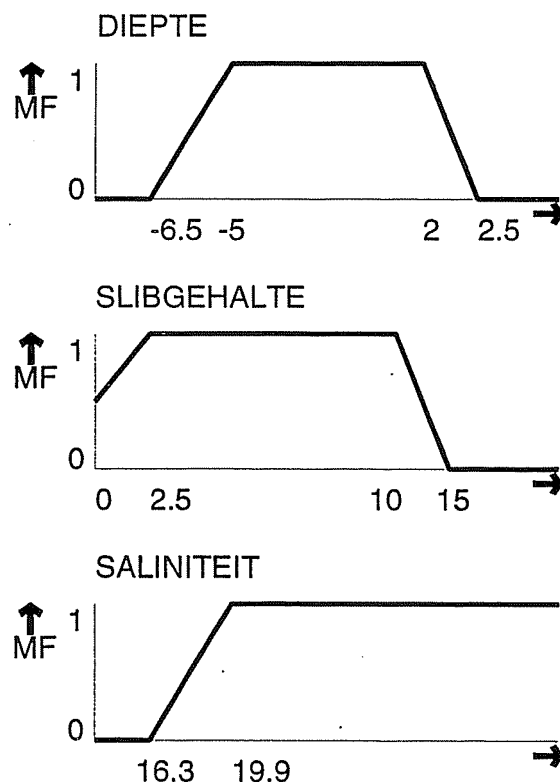
4 Modelleren groeimogelijkhedenkaart kokkel

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de theorie van het gemaakte model beschreven voor het construeren van een groeivoorwaardenkaart. Deze kaarten zijn vervaardigd door het runnen van het gemaakte rule-based model met de PCRaster Software (Van Deursen, Wesseling & Vakgroep Fysische Geografie, 1996). De syntaxis van de gebruikte modellen zijn opgenomen in de bijlagen IIa en IIb. Er is zowel een model gemaakt voor de Monte Carlo simulatie waarin rekening is gehouden met fouten in de data als een model volgens de conventionele methode. Het conventionele model is gemaakt om de uitkomsten van beide methoden met elkaar te kunnen vergelijken. In de volgende paragraaf volgen de uitkomsten van het conventionele model, in paragraaf 4.3 volgen de resultaten van het Monte Carlo model.

4.2 Conventionele model

Bij het conventionele model wordt bij het bepalen van de groeimogelijkheid van de kokkel geen rekening gehouden met een eventuele fout in de invoer-variabelen. Voor elke pixel wordt de waarde van de pixel in de invoerkaart omgerekend naar een Membership Function (waarde tussen 0 en 1) die de geschiktheid van de variabele voor de aanwezigheid van een bepaald organisme uitdrukt. De voor dit model gebruikte kritische waarden voor de diepte, het slibgehalte en de saliniteit zijn weergegeven in figuur 17. In dit model wordt gebruik gemaakt van lineaire transitiezones, maar het is ook mogelijk te werken met exponentiële transitiezones. Nadat voor alle variabelen de MF's zijn uitgerekend, worden de MF's gecombineerd tot een Joint Membership Function (JMF), die de totale groeimogelijkheid uitdrukt. De JMF kan op twee manieren worden berekend, namelijk door per pixel de minimale waarde van de vier MF's te berekenen of door de



Figuur 17 De bij het classificeren gebruikte kritische waarden voor de diepte, het slibgehalte en de saliniteit.

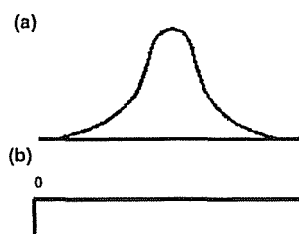
MF's met elkaar te vermenigvuldigen. Beide leveren overigens een vergelijkbaar beeld op (bijlage IIIa). De uitkomsten zijn opgenomen in bijlage IIIa (JMF's) en bijlage IIIb (MF's).

4.3 Monte Carlo model

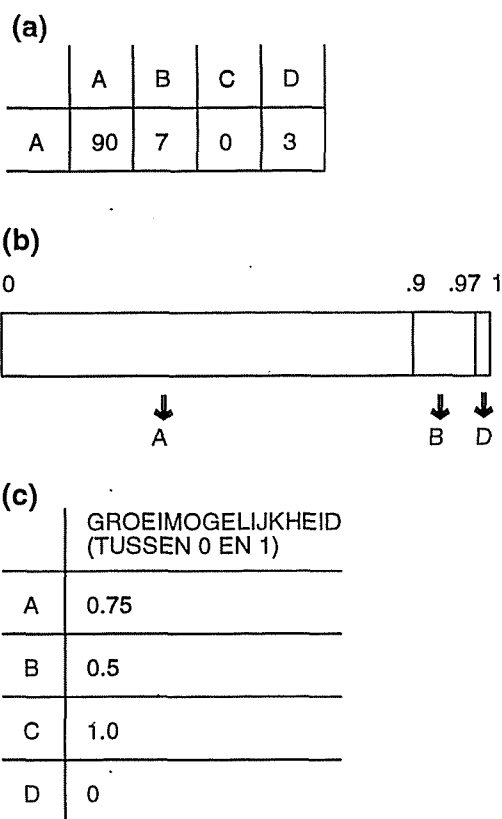
4.3.1 Standaard Monte Carlo model

Bij de Monte Carlo simulatie wordt bij elke run voor iedere pixel voor zowel de saliniteit, de diepte als het slibgehalte random een getal getrokken uit zijn normaal verdeelde distributie (figuur 18a). Met de getrokken waarde wordt de Membership Function berekend. Hierbij zijn dezelfde kritische waarden gebruikt als bij het conventionele model.

Bij de morfologie wordt aan de hand van de confusion matrix een waarde berekend door het trekken van een getal uit een uniforme verdeling (figuur 18b). Bij een



Figuur 18 Een normale (a) en een uniforme verdeling (b).



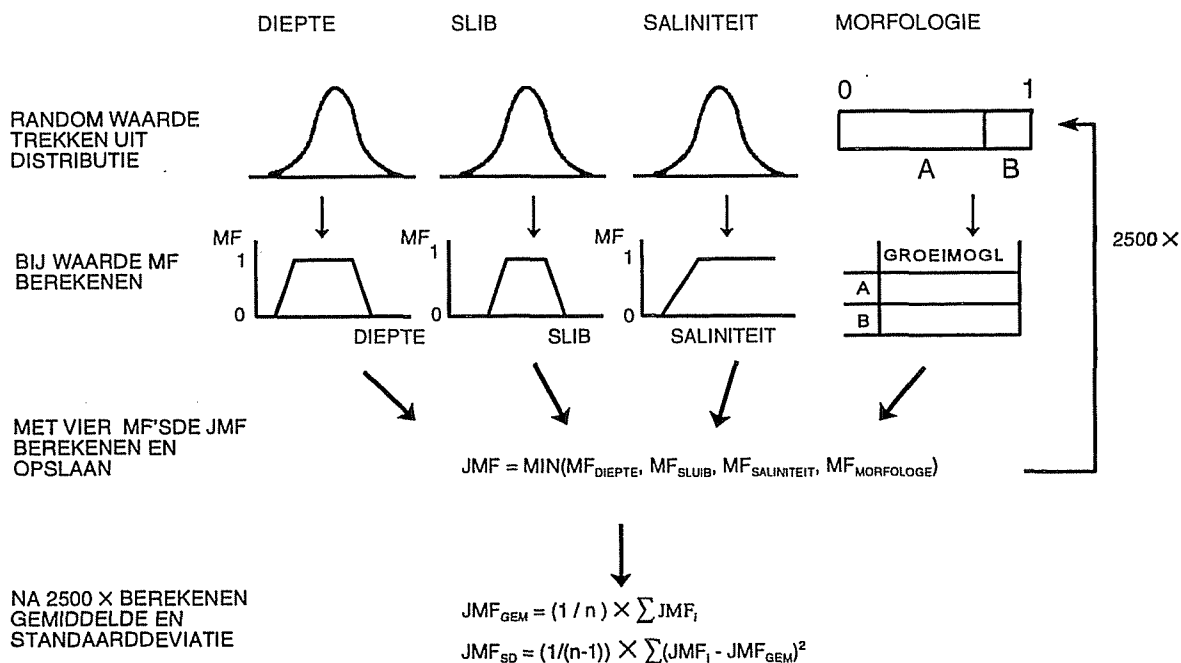
Figuur 19 De manier waarop de MF voor de morfologie wordt berekend. In (a) is een uniforme verdeling weergegeven, in (b) de error matrix en in (c) de tabel met de relatieve groeimogelijkheden per klasse. Afhankelijk van de trekking en de error matrix behoort de pixel tot een bepaalde klasse. Voor elke klasse is een maat voor de groeimogelijkheid bekend. Deze waarde tussen 0 en 1 wordt gebruikt bij het berekenen van de JMF in één run.

uniforme verdeling wordt een waarde genomen tussen 0 en 1, waarbij de kans dat een bepaalde waarde wordt getrokken in dit gehele bereik gelijk is. Op basis van de getrokken waarde en de error matrix wordt de pixel tot een bepaalde klasse gerekend. Dit is weergegeven in figuur 19. In figuur 19a is een deel van een denkbeeldige error matrix weergegeven, in figuur 19b een uniforme verdeling. Uit de error matrix is af te leiden dat 90% van de kaart waarop A staat aangegeven, in werkelijkheid ook A is. In 7% van de gevallen is A in werkelijkheid B, in 3% D en 0% C. Als voor een pixel in klasse A een waarde wordt getrokken tussen de 0.00 en 0.90 wordt verder gerekend met de groeimogelijkhedenwaarde voor klasse A. Is de waarde tussen de 0.90 en 0.97 dan wordt de waarde voor de groeimogelijkheid in klasse B genomen. Tenslotte wordt de waarde voor klasse D genomen wanneer de waarde tussen de 0.97 en 1.00 is.

De JMF's van de vier variabelen wordt bepaald door de minimale waarde van de MF's te nemen of de MF's met elkaar te vermenigvuldigen. In een volgende run worden opnieuw random waarden getrokken, waarna opnieuw de MF's en de JMF's worden berekend. Het principe van de uitgevoerde Monte Carlo analyse is weergegeven in figuur 20.

Dit model is 2500 keer gerund, waarna het

VOOR IEDERE PIXEL



Figuur 20 Het principe van de uitgevoerde Monte Carlo simulatie. Voor elke pixel wordt uit de distributie van de diepte, het slibgehalte, het zoutgehalte en de geomorfologie random een waarde gekozen. Voor deze waarde wordt de MF berekend, waarna de JMF wordt berekend. Dit wordt 2500 keer herhaald, waarbij het gemiddelde en de standaarddeviatie voor de JMF kan worden uitgerekend per pixel.

gemiddelde, de standaarddeviatie en de variatie coëfficiënt van de JMF en de vier MF's kunnen worden berekend. De uitkomsten van dit model zijn opgenomen in bijlage IVa tot en met IVf.

Het bij deze analyse gebruikte model is opgenomen in bijlage IIb. Opvallend aan de uitkomsten van de analyse zijn de lage waarden voor de gemiddelde JMF (maximaal 0.66). Dit wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door de grote variantie van de slibgehaltekaart en de hoge onzekerheden in de geomorfologische kaart. Door de grote variantie in deze kaarten zijn er geen pixels waarbij de gehele distributie in de zone ligt waar de MF gelijk is aan 1.

In de bijlagen zijn kaarten opgenomen met de gemiddelde groeimogelijkheid uitgedrukt tussen 0 en 1. De hoogte van deze waarde bepaalt de geschiktheid voor het voorkomen van kokkels, waarbij hogere waarden staan voor goede omstandigheden, terwijl de waarde 0 aanduidt dat de groeimogelijkheden nihil zijn.

De kaart van de standaarddeviatie geeft een maat voor de zekerheid van de gemaakte groeimogelijkhedenkaart. Een lage waarde voor de standaarddeviatie staat voor een nauwkeurige resultaat, hoge waarden betekenen dat de waarde voor de groeimogelijkheid ook een stuk lager of hoger zou kunnen zijn. Met een gemiddelde en een standaarddeviatie kan een 95% betrouwbaarheidsinterval worden bepaald door het berekenen van de minimale en maximale groeimogelijkheid met behulp van de volgende formules:

$$X_{\min} = X_{\text{gem}} - 1.96 \times \sigma \quad (11)$$

$$X_{\max} = X_{\text{gem}} + 1.96 \times \sigma \quad (12)$$

waarbij: X_{\min}	minimale groeimogelijkheid
X_{\max}	maximale groeimogelijkheid
X_{gem}	gemiddelde groeimogelijkheid (waarde in kaart met gemiddelde in bijlagen)
σ	standaarddeviatie (waarde in kaart met standaarddeviatie in bijlagen)

Uit de formules blijkt dat een grotere standaarddeviatie leidt tot een grotere onzekerheidsmarge.

In de bijlagen is ook een kaart opgenomen met de variatie coëfficiënt. Deze wordt volgens formule 5 berekend door het delen van de standaarddeviatie door de gemiddelde waarde. Deze waarde geeft dan ook een maat voor de grootte van de relatieve fout in de kaart. Hoge waarde staan voor grote relatieve fouten, bij kleine waarden is de relatieve nauwkeurigheid groot.

Uit de uitkomsten van dit model blijkt dat het zoutgehalte amper limiterend is voor het voorkomen van de kokkel. Voor het gehele gebied geldt een gemiddelde MF van boven de 0.9 met een lage standaarddeviatie. Aangezien de MF's van de overige variabelen veel lager zijn, heeft het zoutgehalte amper invloed op de JMF. Verder stroomopwaarts in de Westerschelde (buiten dit gebied) kan het zoutgehalte wel een limiterende factor zijn voor het voorkomen van de kokkel bij de gekozen kritische grenzen.

De dieptekaart levert voor grote gebieden een relatief kleine fout op; enerzijds is er een groot gebied (de geulen) waar de gemiddelde MF en de standaarddeviatie gelijk zijn aan 0. Anderzijds neemt de diepte rond de kritische grenzen zo sterk toe dat maar in een relatief klein gebied een onzekerheid in de data aanwezig is. De grootste onzekerheden in de dieptekaart treden op bij de kritische bovengrens van de diepte op hoger gelegen delen van de platen.

In de vervaardigde groeimogelijkhedenkaarten zijn veldwaarnemingen geplot betreffende het voorkomen van kokkels om de kwaliteit van het model te controleren. Het voorkomen van de kokkel is gebaseerd op de gegevens verzameld tijdens de Habitat campagne uit het najaar van 1996 (Stikvoort & Rueda, 1996; Stikvoort, 1997a; Stikvoort, 1997b). Kokkels leven circa 5 cm onder de oppervlakte en zijn hierdoor aan de oppervlakte (bijna) niet zichtbaar, daarom wordt voor elk meetpunt op een oppervlakte van circa 0.5 m² de bodem afgetast op de aanwezigheid van kokkels en worden het aantal volwassen ('adult') en jonge kokkels ('broed') apart geteld. In de kaarten zijn de hoeveelheden 'adults' en de 'broed' bij elkaar opgeteld. Er blijkt een aanzienlijk verschil te bestaan tussen de werkelijk aangetroffen kokkels en de groeimogelijkhedenkaart zoals die is gemaakt. Het is mogelijk dat dit verschil gedeeltelijk wordt veroorzaakt doordat bij de Habitat campagne alleen op een relatief klein oppervlak de bodemdieren zijn bemonsterd. Hierdoor is het mogelijk dat in de buurt van punten waar geen kokkels zijn aangetroffen wel kokkels worden gevonden. Een andere oorzaak voor de te optimistische uitkomsten van het model is dat de laatste jaren minder kokkels aanwezig zijn dan vijf tot tien jaar geleden (persoonlijke mededeling Stikvoort). Hierdoor neemt de kans om

kokkels aan te treffen af.

De uitkomsten van het model kunnen worden verbeterd door de op te geven kritische waarden in het model te variëren. Vooral de kritische grenzen voor het zout lijken niet in overeenstemming met de werkelijkheid; op de plaat van Ossensisse zou de saliniteit limiterend moeten zijn voor de kokkel (persoonlijke mededeling Stikvoort). In het model is de saliniteit echter amper limiterend. Ook is bij dit model gebruik gemaakt van het zoutgehalte bij een gemiddelde afvoer. De uitkomsten waren beter geweest wanneer gebruik wordt gemaakt van de extreme situaties, aangezien het voorkomen van organismen meer afhankelijk is van extreme situaties dan van een gemiddelde situatie.

4.3.2 Invloed van aantal runs

De hoeveelheid runs heeft een grote invloed op de uitkomsten van het Monte Carlo model omdat bij te weinig runs niet de gehele distributie van de variabele wordt benaderd. Om dit te laten zien is een model meerdere malen uitgevoerd met een verschillend aantal runs. Het model is gedraaid met 10, 50, 100, 250, 1.000, 2.500 en 10.000 runs. De uitkomsten zijn opgenomen in bijlage V.

Vooral bij een klein aantal runs is het beeld zeer onregelmatig; pixels naast elkaar gelegen met sterk variërende waarden. Bij een groter aantal runs neemt dit steeds verder af. Het is bij de Monte Carlo simulatie van belang om te onderzoeken of bij een toenemend aantal runs het beeld sterk verandert. Ondanks het feit dat bij een verdubbeling van het aantal runs de rekentijd recht evenredig toeneemt, is het zinnig om te experimenteren met het aantal runs. Te weinig runs leiden tot onregelmatige, en belangrijker, onbetrouwbare uitkomsten. Er moet dus naar een optimum worden gezocht tussen het aantal runs dat in afzienbare tijd kan worden berekend en goede uitkomsten.

4.3.3 Invloed van de verschillende variabelen

Om de invloed van de verschillende variabelen te kunnen analyseren op het eindresultaat is het Monte Carlo model herhaald waarbij één variabele niet is meegenomen in de simulatie. De uitkomsten hiervan zijn opgenomen in bijlage VI.

Wanneer de saliniteit niet wordt meegenomen in de berekening resulteert dat in vergelijkbaar beeld als de groeivoorwaardenkaart met saliniteit (bijlage VIa). Zoals eerder gezegd leiden de gekozen kritische waarden in dit model tot zeer hoge waarden voor de MF voor zout. Aangezien de andere variabelen veel sterker limiterend zijn, is saliniteit in dit model van verwaarloosbare invloed.

In bijlage VIb is de groeivoorwaardenkaart opgenomen waarbij geen rekening is gehouden met de geomorfologie. Aan deze kaart valt op dat in deze kaart veel grotere gebieden in mindere of meerdere mate geschikt zijn voor kokkels. Dit wordt veroorzaakt omdat alleen een

geomorfologische kaart bestaat van de intergetijdengebieden van de Westerschelde en missing values in de geomorfologische kaart, misschien onterecht, een waarde 0 zijn toegekend.

Er is tevens een groeimogelijkhedenkaart vervaardigd waarin geen rekening is gehouden met het slibgehalte (bijlage VIc). In deze kaart zijn de waarden voor de JMF opvallend hoger dan in de overige kaarten. Dit wordt zoals al eerder vermeld veroorzaakt door de hoge variantie in de slibkaart.

Tenslotte is een kaart geconstrueerd waarin de groeimogelijkheden zijn gebaseerd op het slibgehalte, de saliniteit en de geomorfologie en niet op dieptegegevens (bijlage VIId). Deze kaart vertoont grote overeenkomsten met de kaart vervaardigd met alle variabelen.

5 Conclusies en aanbevelingen

Tijdens de stage is een groeimogelijkhedenkaart voor de kokkel gemaakt in een deel van de Westerschelde op basis van gegevens betreffende de diepte, het slibgehalte, de geomorfologie en de saliniteit. Door het toepassen van de Monte Carlo simulatie is het mogelijk een kaart te vervaardigen waarbij rekening is gehouden met de foutenmarge in de basisgegevens. De vervaardigde kaarten blijken redelijk in overeenstemming te zijn met in werkelijkheid aangetroffen hoeveelheden kokkels.

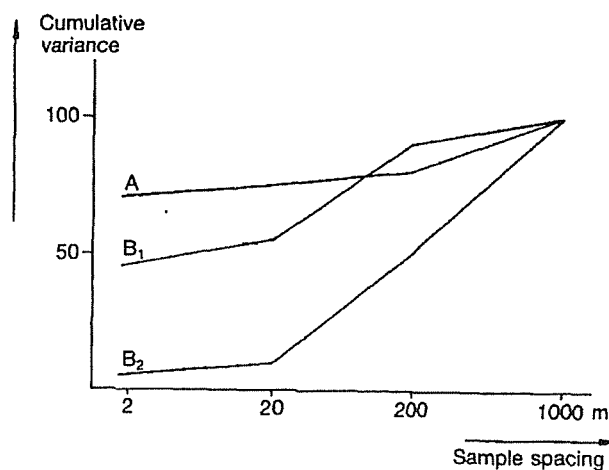
De uitkomsten van het Monte Carlo model zijn echter sterk afhankelijk van de aannamen die worden gedaan over de grootte van de fouten in de basisgegevens en de ligging van de kritische grenzen in het model. De ligging van de kritische grenzen zijn overgenomen uit de door het RIKZ vervaardigde ArcInfo applicatie ZEEGRAS. Tijdens dit onderzoek is de juistheid van deze kritische grenzen niet onderzocht. De grootte van de fouten in de variabelen is geschat op basis van literatuurgegevens (diepte), de variantiekaart verkregen door kriging (slibgehalte) en door grove schattingen (zoutgehalte en geomorfologie).

De kwaliteit van de groeimogelijkhedenkaart kan in de toekomst verbeterd worden door te experimenteren met de ligging van de kritische grenzen. Van groter belang is echter dat realistischere aannames over de grootte van de fouten in de variabelen worden gedaan. In principe zou bij elke dataset met metingen en elke vervaardigde kaart een maat van de betrouwbaarheid moet worden bijgeleverd. Het is mijns inzien niet aan te bevelen om gegevens te bewerken en te interpreteren zonder dat enige maat van de onzekerheid in de data bekend is. Bij kaarten op een nominaal schaalniveau zou (door degene die de kaart vervaardigt) een error matrix kunnen worden opgesteld. Bij gegevens op een interval of ratio meetniveau zou een maat van betrouwbaarheid kunnen worden bepaald door het nemen van monsters in duplo om een maat van de variabiliteit op zeer korte afstand te kunnen geven.

Ook is bij meetapparatuur en apparatuur voor plaatsbepaling door het ijken vaak een maat voor de betrouwbaarheid bekend. Gegevens betreffende deze onzekerheden zijn van belang bij het bepalen van de totale fout in een kaart.

Voor de variantie in de slibkaart zorgt voor een grote onzekerheid in de uitkomsten. Het experimenteren met universal kriging of stratified kriging kan de kwaliteit van de slibkaart waarschijnlijk aanzienlijk verbeteren

(hoofdstuk 3.3). Tenslotte kan het bij de slibkaart van belang zijn om met behulp van variantie analyse te onderzoeken wat



Figuur 21 Het bepalen van de optimale afstand tussen meetpunten door het uitzetten van de cumulatieve variantie tegen de afstand tussen meetpunten. Bron: Burrough (1983a) en Burrough (1983b) in Burrough (1986).

de optimale afstand tussen de meetpunten is. In figuur 21 is dit principe weergegeven: van drie variabelen zijn metingen verricht met een verschillende onderlinge afstand tussen de datapunten. Hierna is de cumulatieve variantie uitgezet tegen de afstand tussen de datapunten. Uit de figuur is af te leiden wanneer grote sprongen in de variantie plaatsvinden. Voor variabele A wordt de variantie amper af, wanneer de afstand tussen de datapunten wordt verminderd van 1000 naar 20 meter en zelfs 2 meter. Bij variabele B₁ neemt de variantie bij vermindering van de afstand tussen de datapunten van 1000 naar 200 meter amper af. Wanneer echter deze afstand wordt verkleind tot 20 meter neemt de variantie sterk af. Het nogmaals verkleinen naar 2 meter levert niet veel winst op. Bij variabele B₂ treedt een vergelijkbare situatie op als bij variabele B₁, alleen neemt de variantie sterker af.

Voor de waarde van een fout in de dieptegegevens is in dit model gewerkt met de onzekerheidsmarges beschreven in Storm et al. (1993). Probleem is dat deze onzekerheidsmarges waarschijnlijk gelden voor puntdata. In de analyse is gebruik gemaakt van de dieptegegevens per grid. Het kan zinnig zijn om met behulp van de originele puntdata van de dieptelodingen een schatting te geven van de variantie in dieptewaarden per gridcel. Deze geeft een veel betere schatting van de onzekerheid dan de fout in de puntdata.

De saliniteit van de Westerschelde is afhankelijk van de afvoer van de Schelde en het getij en hierdoor zeer variabel in de tijd. Bij de gedane analyse is uitgegaan van de saliniteit bij een gemiddelde afvoer. Uit het model blijkt dat in het onderzoeksgebied - in tegenstelling tot de werkelijkheid - de saliniteit nauwelijks limiterend is voor het voorkomen van de kokkel. Het toepassen van de winterafvoer (hogere afvoer) kan tot betere resultaten leiden.

Tenslotte een vooral praktische aanbeveling voor de toekomst. Tijdens de stage is met PCRaster op een PC gewerkt, dus gedraaid onder DOS. PCRaster kan echter ook vanuit UNIX werken. Gezien het grotere rekenvermogen van de UNIX-machines is het gebruik van PCRaster onder UNIX aan te bevelen. Ook is het dan niet langer noodzakelijk om de basisgegevens die zijn opgeslagen in ArcInfo om te zetten naar de PC en hoeven de met PCRaster vervaardigde kaarten niet meer te worden overgebracht naar de UNIX-machines.

Ondanks de gevoeligheid van de Monte Carlo simulatie voor aannames in het model en variabelen biedt het een goed perspectief voor het vervaardigen van makkelijk te interpreteren groeimogelijkhedenkaarten met betrouwbaarheidsmaat. Het doel van deze stage was meer gericht op het experimenteren met de mogelijkheden tot het vervaardigen van een groeimogelijkhedenkaart met een onzekerheidsmarge dan op het maken van een juiste groeimogelijkhedenkaart. In de toekomst is het echter aan te bevelen dat naar de juistheid van de aannames uitgebreider onderzoek wordt gedaan.

Literatuurlijst

- Burrough, P.A.** (1983a). Multiscale sources of spatial variation in soil I. The application of fractal concepts to nested levels of soil variation. *Journal of Soil Science* 34: 577-597.
- Burrough, P.A.** (1983b). Multiscale sources of spatial variation in soil II. A non-Brownian fractal model and its applications in soil survey. *Journal of Soil Science* 34: 599-620.
- Burrough, P.A.** (1986). *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford University Press, New York, 194 pp.
- Van Deursen, W.P.A. & C. G. Wesseling & Vakgroep Fysische Geografie.** (1996). Software pakket PCRaster.
- Heuvelink, G.B.M.** (1993). Error Propagation in quantitative spatial modelling. Application in Geographical Information Systems. Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap, Utrecht, 151 pp.
- Heuvelink, G.B.M. & P.A. Burrough** (1993). Error propagation in cartographic modelling using Boolean logic and continuous classification. *International Journal Geographical Information Systems*, vol. 7, no. 3, 231-246.
- Huijs, S.W.E.** (1995). Geomorfologische ontwikkeling van het intergetijdegebied in de Westerschelde 1935-1989, 57 pp.
- Isaaks, E.H. & R. Mohan Srivastava** (1989). *An introduction to applied geostatistics*. Oxford University Press, 561 pp.
- Jonkers, W.** (1991). De problematiek omtrent de basisgegevens voor morfologisch onderzoek naar geulveranderingen in de Oosterscheldebekken na 1987. RWS Notitie GWAO-91.13039.
- Karssenbergh, D.-J.** (1996). PCRaster manual. Vakgroep Fysische Geografie. Universiteit Utrecht.
- Kokke, J.M.M.** (1996). Kartering van het percentage slib op de droogvallende delen in de Westerschelde met Landsat Thematic Mapper. Rijkswaterstaat, Meetkundige Dienst. MD-GAT 9617/MD-GAR 9618.
- McLaren, P.** (1994). Sediment Transport in the Westerschelde between Baarland and Rupelmonde. Rijkswaterstaat. Rijksinstituut voor Kust en Zee. GeoSea Consulting (UK) Ltd. Cambridge, UK.
- Munster, R.J. & G. Van Antwerpen** (1994). Concept Handleiding DIGIPOL.
- Nanninga, M.** (1985). The accuracy of echo sounding. Description in a mathematical model. RWS Nota WWKZ 85.H016.
- Stikvoort, E.C. & J. Rueda.** (1996). Verslag van 'habitat'-campagne najaar 1996. Werkdocument RIKZ/AB-96.865x.
- Stikvoort, E.C.** (1997a). Verslag 'habitat-verkenningen slikken en platen Westerschelde'. Werkdocument. RIKZ/AB-97.806x.
- Stikvoort, E.C.** (1997b). Aanvullende gegevens. Werkdocument RIKZ/AB-97.818x
- Storm, C.** (1993). Nauwkeurigheid en optimalisatie Zandbalans Westerschelde.
- Willems, I.T.W.** (1995). Schattingsmethoden voor het Diepteverloop van de Zeebodem. Werkdocument RIKZ-IT.95.162X.

Bijlagen:

- I Stappen bij modelleren groeimogelijkhedenkaart
- II PCRaster bestanden:
 - a berekenen groeimogelijkheden met conventioneel model
 - b berekenen groeimogelijkheden met Monte Carlo model
 - c interpoleren van slibgehaltekaart en zoutgehaltekaart
- III Uitkomsten conventioneel model
 - a JMF
 - b MF van vier variabelen
- IV Uitkomst van standaard Monte Carlo model
 - a JMF minimale MF
 - b JMF vermenigvuldigen MF's
 - c MF diepte
 - d MF slibgehalte
 - e MF geomorfologie
 - f MF saliniteit
- V Uitkomsten van Monte Carlo model met variërend aantal runs:
 - a 10 runs
 - b 50 runs
 - c 100 runs
 - d 250 runs
 - e 500 runs
 - f 1.000 runs
 - g 2.500 runs
 - h 10.000 runs
- VI Uitkomsten Monte Carlo model met variërende variabelen:
 - a diepte, slibgehalte, geomorfologie
 - b diepte, geomorfologie, saliniteit
 - c diepte, slibgehalte, saliniteit
 - d slibgehalte, geomorfologie, saliniteit
- VII Aml (ArcInfo) voor plotten kaarten

Dieptekaart:

Inputgegevens: met DIGIPOL geïnterpoleerde kaart in ArcInfo. Er was zowel een kaart met pixels van 20×20 meter en een kaart met pixels van 50×50 meter. Deze laatste is gebruikt als input voor PCRaster. De volgende stappen zijn genomen om kaart van ArcInfo over te zetten in PCRaster-formaat.

● In ArcInfo:

- 1 arc: **gridclip** <input kaart> <naam nieuwe kaart> <xmin> <ymin> <xmax> <ymax>
- 2 arc: **gridascii** <input kaart stap 1> <naam ascii-bestand>

● In PCRaster¹:

- 1 Maken kaart (= 'clone'-kaart) met basisgegevens (coördinaten, pixelgrootte, aantal rijen/kolommen, etc.):
mapattr <naam te maken basiskaart>.
Vervolgens verschijnt menu dat moet worden ingevuld.
- 2 Invoeren van ascii-file uit ArcInfo:
asc2map -S --clone <naam basiskaart> -a <ascii-file> <nieuwe kaart>

Slibgehaltenes:

Inputgegevens: McLaren-dataset; puntgegevens van de coördinaten met percentages korrelgrootteklassen; (onder meer) beschikbaar bij Dirk van Maldegem.

De slibgehaltenes zijn geïnterpoleerd met behulp van GSTAT in PCRaster. Hieronder volgen de genomen stappen in het kort:

● In DOS en PCRaster

- 1 maken van ASCII-file met kolommen met coördinaten (x en y) en het slibgehalte (<63 µm → > 4,5 Θ)
- 2 In DOS (**edit**) invoegen van aantal regels boven kolommen:
1^e regel: titel, bijvoorbeeld beschrijving van dataset
2^e regel: aantal kolommen (aantal variabelen)
3^e t/m n^e regel: op de derde regel de naam van de eerste variabele, op de vierde regel de naam van de tweede variabele, etc.
- 3 Maken van bestand in DOS om gegevens te interpoleren, afhankelijk van interpolatiemethode; in bijlage IIc zijn bestanden opgenomen die zijn gebruikt bij interpolatie

PCRaster werkt onder DOS, commando's worden dan ook ingetypt op de DOS prompt. Voor meer informatie over de toepassing van de PCRaster-commando's wordt verwezen naar de 'PCRaster version 2 manual' door Karssenberg en de Vakgroep Fysische Geografie, Universiteit Utrecht.

slibgegevens.

4 In DOS intypen: **gstat** <ascii-bestand stap 3>

Stap 4 resulteert bij kriging in twee kaarten; een kaart met de geïnterpoleerde waarde en een variantie-kaart. Deze twee zijn gebruikt als invoerkaarten voor de Monte Carlo simulatie.

Geomorfologische kaart intergetijdengebied:

Input-gegevens: polygonenkaart in ArcInfo. Aangezien in PCRaster alleen gewerkt wordt met grid-kaarten, moet polygonenkaart omgezet worden naar grid-kaart.

● In ArcInfo:

1 arc: **polygrid** <naam input polygonen-kaart> <naam nieuwe grid-kaart> <item>

ArcInfo geeft hierbij de optie om gedeelte van de kaart om te zetten naar grid, wanneer maar met een deel van de Westerschelde wordt gewerkt, kan voor deze optie gekozen worden.

2 arc: **gridascii** <input kaart> <naam nieuwe ascii-bestand>

● In PCRaster:

1 Invoeren van ascii-file uit ArcInfo:

asc2map -N --clone <naam basiskaart> -a <ascii-file> <nieuwe kaart>

2 Generaliseren van een aantal klassen door maken van tabel met 'edit': twee kolommen (gescheiden door tab of spatie(s), waarbij in de linkerkolom de originele waarde staat en in de rechterkolom een nieuw cijfer voor de klasse (tabel #)).

3 Vervolgens wordt de bij 1) gemaakte morfologische kaart omgezet naar een nieuwe geomorfologische kaart (met in dit geval maar 6 klassen) met het volgende commando:

pcrcalc <output-kaart> = **lookupnominal**(<naam tabel>, <naam input kaart>)

Zoutgehaltekaart:

Input-gegevens: zoutgehaltekaart in PCRaster met gridcellen van 400X400 meter. Voor het middelpunt van de cel is de waarde van het zoutgehalte bepaald. Deze waarde en de coördinaten van dit punt (te krijgen bij Kees van der Male) zijn ingevoerd in PCRaster. Hierna zijn de waarden geïnterpoleerd met inverse distance interpolatie op een 50X50 meter grid. De daarvoor gebruikte file is opgenomen in bijlage IIc. De werkwijze is verder vergelijkbaar met het interpoleren van slibgegevens.

Groeimogelijkhedenkaart maken:

Voor het vervaardigen van een groeimogelijkhedenkaart moet een model worden geschreven (bijlage IIa en IIb). De groeimogelijkhedenkaart wordt gemaakt in PCRaster:

● In PCRaster:

1 **pcrcalc -f** <naam model>

Groeimogelijkhedenkaart exporteren en printen in ArcInfo:

De groeimogelijkhedenkaart kan worden geëxporteerd naar ArcInfo en daar worden geprint met krt.aml. Deze is opgenomen in bijlage VII. Om de kaarten te printen vanuit ArcInfo moeten de volgende stappen worden genomen:

- *In PCRaster:*

- 1 **map2asc** -a <naam te exporteren kaart> <ascii-file>

- *In ArcInfo:*

- 1 importeren van ascii-file naar grid:
arc: **asciigrid** <ascii-file> <nieuwe kaart> **float**
- 2 Op beeldscherm bekijken van groeimogelijkhedenkaart
arc (of arcplot): **&run** krt <kaart gemiddelde> <kaart standaarddeviatie> <variatie coëfficiënt>
- 3 Printen van gemiddelde groeimogelijkhedenkaart, standaarddeviatie, standaarddeviatie met gemaakte aml:
arc (of arcplot): **&run** krt <kaart gemiddelde> <kaart standaarddeviatie> <variatie coëfficiënt> <naam printfile>

Uitleg bij PCRaster bestanden

Hieronder volgt een zeer summiere uitleg van de gebruikte commando's in het model. Voor uitgebreidere uitleg over de verschillende commando's wordt verwezen naar Karssenberg (1996).

De modellen zijn opgebouwd uit vijf gedeelten; binding, areamap, timer, initial en dynamic.

binding	in dit gedeelte van het model worden de namen van de variabelen gedefinieerd; variabelen worden gecombineerd met zowel invoer- als uitvoerbestanden
areamap	het gebied waar de analyse plaatsvindt wordt vastgesteld.
timer	het aantal (tijd)stappen dat wordt genomen wordt gedefinieerd. Het eerste getal staat voor de beginwaarde, het tweede uit de eindwaarde en het derde getal staat voor de grootte van de (tijd)stap.
initial	dit gedeelte van het model bestaat uit de berekening die onafhankelijk van het aantal tijdstappen van het model één keer worden berekend.
dynamic	dit gedeelte van het model bestaat uit berekeningen die bij elke tijdstap worden uitgevoerd

Gebruikte PCRaster commando's:

/	delen
*	vermenigvuldigen
+	optellen
-	aftrekken
^	machtsverheffen
scalar(x)	kaart krijgt de waarde x; x is een variabele op ratio niveau.
normal(kaart)	voor elke pixel in (boolean!) kaart wordt random een waarde getrokken uit een normale verdeling waarbij het gemiddelde gelijk is aan nul en de standaarddeviatie aan één.
sqrt(x/kaart)	trekt de wortel uit variabele x of berekent de wortel voor alle pixels in kaart.
le	(less equal) kleiner of gelijk dan
lt	(less then) kleiner dan
gt	(greater then) groter dan
ge	(greater equal) groter dan of gelijk
==	gelijk aan
if (krt) then (krt2)	pixels met waarde 1 in krt (boolean) krijgen waarde krt2 (als dan ...)
if (krt) then (krt2) else (krt3)	pixels met waarde 1 in krt (boolean) krijgen waarde krt2, pixels met waarde 0 in krt krijgen waarde krt3
(krt) and (krt2)	selecteert pixels die zowel waarde 1 in krt (boolean) als waarde 1 in krt2 (boolean) hebben
(krt) or (krt2)	selecteert pixels die of waarde 1 in krt (boolean) hebben of waarde 1 in krt2 (boolean)
cover(krt,krt2)	kaart bestaat uit waarden van krt, voor de missing values worden waarden krt2 gebruikt
min(krt,krt2)	kaart bestaat uit minimale waarden van pixels in de kaarten krt en krt2
report (krt)	van kaart wordt uitvoerkaart gemaakt
#	tekst na dit teken wordt niet gelezen door model; wordt dus gebruikt om uitleg bij model te schrijven

Berekenen constantes voor transitiezones in model (zie figuur):

X1: $y = 0$ en D1: $y = 1$

$y = ax + b$

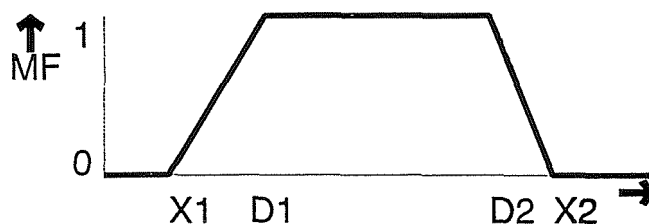
$0 = a(X1) + b$

$1 = a(D1) + b$

$-1 = a(X1 - D1)$

$\rightarrow a = -1/(X1 - D1) = 1/(D1 - X1)$

$\rightarrow b = -a(X1)$



CONVENT.MOD

```
# model voor berekenen JMF's en MF's voor kokkel
# conventionele methode: geen rekening gehouden met foutenmarge
# geschreven door W. van Vooren

binding
# inputkaarten: waarden (Pred)
DiepPred = diep.50;
SlibPred = slib_bk1.prd;
ZoutPred = id2_gem.prd;
Morf = mfmont.50;

# output: kaarten met resultaten
MfSbT = cosbt.map; # MF's gebaseerd op slibgehaltes
MfDpT = codpt.map; # MF's gebaseerd op diepte
MfZtT = cozt.map; # MF's gebaseerd op zoutgehalte
MfMfT = comft.map; # MF's gebaseerd op morfologie
JmfMaal = comaal.map; # JMF: MF's vermenigdvuldigd
JmfMin = comin.map; # JMF: laagste MF

## grenzen fuzzy klassen: x = snijpunten x-as (0), d = x-waardebovengrens (1)
# diepte
DpKrx1 = scalar(-6.5);
DpKrx2 = scalar(2.5);
DpKrd1 = scalar(-5);
DpKrd2 = scalar(2.0);
# slib
SbKrx1 = scalar(-2.5); # komt niet voor (om Const. te berekenen)
SbKrx2 = scalar(15);
SbKrd1 = scalar(2.5);
SbKrd2 = scalar(10);
# zout
ZtKrx1 = scalar(16.3);
ZtKrx2 = scalar(100); # komt nooit voor (onrealist. waarde)
ZtKrd1 = scalar(19.9);
ZtKrd2 = scalar(99); # komt nooit voor (onrealistische waarde)
# klassen morfologie
GroeiKlas1 = scalar(0);
GroeiKlas2 = scalar(1);
GroeiKlas3 = scalar(0.5);
GroeiKlas4 = scalar(0.75);
GroeiKlas5 = scalar(0);
GroeiKlas6 = scalar(0);

## gebied waar Monte Carlo wordt uitgevoerd
areamap
clomid.50;
## 1 keer waarden bepaald (deterministisch ==> altijd dezelfde waarde)
timer
1 1 1;

initial
## berekenen van constantes voor berekenen MF's transitiezones
# slib
```

```

ConstSb1 = 1/(SbKrd1 - SbKrx1);
ConstSb2 = -1 * ConstSb1 * SbKrx1;
ConstSb3 = 1/(SbKrd2 - SbKrx2);
ConstSb4 = -1 * ConstSb3 * SbKrx2;

# diepte
ConstDp1 = 1/(DpKrd1 - DpKrx1);
ConstDp2 = -1 * ConstDp1 * DpKrx1;
ConstDp3 = 1/(DpKrd2 - DpKrx2);
ConstDp4 = -1 * ConstDp3 * DpKrx2;

# zout
ConstZt1 = 1/(ZtKrd1 - ZtKrx1);
ConstZt2 = -1 * ConstZt1 * ZtKrx1;
ConstZt3 = 1/(ZtKrd2 - ZtKrx2);
ConstZt4 = -1 * ConstZt3 * ZtKrx2;

dynamic
## omrekenen van gesimuleerde waarde naar MF-waarde
# berekenen groeimogelijkheden diepte
MfDp1 = if (DiepPred lt DpKrx1 then scalar(0));
  TmpDp01 = DiepPred ge DpKrx1;
  TmpDp02 = DiepPred lt DpKrd1;
  TmpDp03 = TmpDp01 and TmpDp02;
  TmpDp04 = if (TmpDp03 then DiepPred);
MfDp2 = (TmpDp04 * ConstDp1) + ConstDp2;
  TmpDp05 = DiepPred ge DpKrd1;
  TmpDp06 = DiepPred lt DpKrd2;
  TmpDp07 = TmpDp05 and TmpDp06;
MfDp3 = if(TmpDp07 then scalar(1));
  TmpDp08 = DiepPred ge DpKrd2;
  TmpDp09 = DiepPred lt DpKrx2;
  TmpDp10 = TmpDp08 and TmpDp09;
  TmpDp11 = if (TmpDp10 then DiepPred);
MfDp4 = ConstDp4 + (TmpDp11 * ConstDp3);
MfDp5 = if(DiepPred ge DpKrx2 then scalar(0));
report MfDpT = cover(MfDp1,MfDp2,MfDp3,MfDp4,MfDp5);

# berekenen groeimogelijkhedenkaart slib
MfSb1 = if (SlibPred lt SbKrx1 then scalar(0));
  TmpSb01 = SlibPred ge SbKrx1;
  TmpSb02 = SlibPred lt SbKrd1;
  TmpSb03 = TmpSb01 and TmpSb02;
  TmpSb04 = if (TmpSb03 then SlibPred);
MfSb2 = ConstSb2 + (TmpSb04 * ConstSb1);
  TmpSb05 = SlibPred ge SbKrd1;
  TmpSb06 = SlibPred lt SbKrd2;
  TmpSb07 = TmpSb05 and TmpSb06;
MfSb3 = if(TmpSb07 then scalar(1));
  TmpSb08 = SlibPred ge SbKrd2;
  TmpSb09 = SlibPred lt SbKrx2;
  TmpSb10 = TmpSb08 and TmpSb09;
  TmpSb11 = if(TmpSb10 then SlibPred);
MfSb4 = ConstSb4 + (TmpSb11 * ConstSb3);
MfSb5 = if(SlibPred ge SbKrx2 then scalar(0));

```

```

report MfSbT = cover(MfSb1,MfSb2,MfSb3,MfSb4,MfSb5);

# berekenen groeimogelijkhedenkaart zout
MfZt1 = if (ZoutPred lt ZtKrx1 then scalar(0));
  TmpZt01 = ZoutPred ge ZtKrx1;
  TmpZt02 = ZoutPred lt ZtKrd1;
  TmpZt03 = TmpZt01 and TmpZt02;
  TmpZt04 = if (TmpZt03 then SlibPred);
MfZt2 = ConstZt2 + (TmpZt04 * ConstZt1);
  TmpZt05 = ZoutPred ge ZtKrd1;
  TmpZt06 = ZoutPred lt ZtKrd2;
  TmpZt07 = TmpZt05 and TmpZt06;
MfZt3 = if(TmpZt07 then scalar(1));
  TmpZt08 = ZoutPred ge ZtKrd2;
  TmpZt09 = ZoutPred lt ZtKrx2;
  TmpZt10 = TmpZt08 and TmpZt09;
  TmpZt11 = if (TmpZt10 then ZoutPred);
MfZt4 = ConstZt4 + (TmpZt11 * ConstZt3);
MfZt5 = if(ZoutPred ge ZtKrx2 then scalar(0));

report MfZtT = cover(MfZt1,MfZt2,MfZt3,MfZt4,MfZt5);

## morfologie
TmpMf01 = mfmont.50 eq 1;
MfMf1 = if(TmpMf01 then GroeiKlas1);
  TmpMf02 = mfmont.50 eq 2;
MfMf2 = if(TmpMf02 then GroeiKlas2);
  TmpMf03 = mfmont.50 eq 3;
MfMf3 = if(TmpMf03 then GroeiKlas3);
  TmpMf04 = mfmont.50 eq 4;
MfMf4 = if(TmpMf04 then GroeiKlas4);
  TmpMf05 = mfmont.50 eq 5;
MfMf5 = if(TmpMf05 then GroeiKlas5);
  TmpMf06 = mfmont.50 eq 6;
MfMf6 = if(TmpMf06 then GroeiKlas6);

report MfMfT = cover(MfMf1,MfMf2,MfMf3,MfMf4,MfMf5,MfMf6);

## berekenen van de Joint Memberships Function
report JmfMaal = MfDpT * MfSbT * MfZtT * MfMfT;
report JmfMin = min(MfDpT,MfSbT,MfZtT,MfMfT);

```


Voor Monte Carlo simulatie eerst runnen MONTE0.MOD, vervolgens CART0.MOD
Zowel monte0.mod en cart0.mod zijn ASCII-bestanden. Ze kunnen worden gemaakt met behulp van het DOS-commando 'EDIT'.

MONTE0.MOD:

```
# Model for calculating error by Monte Carlo Simulation
# Written by W. van Vooren & D. Karssenberg
# Voorkomen Kokkels in de Westerschelde

binding
# inputkaarten: waarden + fout
DiepPred = diep.50;
DiepVar = diepvar.50;                # standaarddeviatie
SlibPred = slib_bk2.prd;
SlibVar = slib_bk2.var;
ZoutPred = id2_gem.prd;
ZoutVar = scalar(1.5);              # standaarddeviatie
MorfMap = mfmont.50;

# 'hulpkaarten'
RandomMap = mask.50;                # boolean kaart gehele gebied
UniformMap = mask.50;

## grenzen van fuzzy klassen: x = snijpunten x-as (0), d = bovengrens (1)
# diepte
DpKrx1 = scalar(-6.5);
DpKrx2 = scalar(2.5);
DpKrd1 = scalar(-5);
DpKrd2 = scalar(2);
# slib
SbKrx1 = scalar(-2.5);              # komt niet voor (wel nodig om Const te berekenen)
SbKrx2 = scalar(15);
SbKrd1 = scalar(2.5);
SbKrd2 = scalar(10);
# zout
ZtKrx1 = scalar(16.6);
ZtKrx2 = scalar(100);              # komt nooit voor (onrealist. waarde)
ZtKrd1 = scalar(19.9);
ZtKrd2 = scalar(99);              # komt nooit voor (onrealistische waarde)
# morfologie
GroeiKlas1 = scalar(0);
GroeiKlas2 = scalar(1);
GroeiKlas3 = scalar(0.5);
GroeiKlas4 = scalar(0.75);
GroeiKlas5 = scalar(0);
GroeiKlas6 = scalar(0);

#####
#MONTE CARLO
##reports for cart. model
VarSumSqr=varsumsq.map;
VarSum=varsummm.map;
VarAboveCrit=abocriti.map;
```

```

##critical value for Variable
Crit=0.10;
#####

## gebied waar Monte Carlo wordt uitgevoerd
areamap
  clomid.50;

## aantal stappen Monte Carlo simulatie
timer
  1 2500 1;

initial
  ## berekenen van constantes voor berekenen MF's overgangszones
  # slib
  ConstSb1 = 1/(SbKrd1 - SbKrx1);
  ConstSb2 = -1 * ConstSb1 * SbKrx1;
  ConstSb3 = 1/(SbKrd2 - SbKrx2);
  ConstSb4 = -1 * ConstSb3 * SbKrx2;

  # diepte
  ConstDp1 = 1/(DpKrd1 - DpKrx1);
  ConstDp2 = -1 * ConstDp1 * DpKrx1;
  ConstDp3 = 1/(DpKrd2 - DpKrx2);
  ConstDp4 = -1 * ConstDp3 * DpKrx2;

  # zout
  ConstZt1 = 1/(ZtKrd1 - ZtKrx1);
  ConstZt2 = -1 * ConstZt1 * ZtKrx1;
  ConstZt3 = 1/(ZtKrd2 - ZtKrx2);
  ConstZt4 = -1 * ConstZt3 * ZtKrx2;

#####
#MONTE CARLO
#Initial values
VarSumSqr=0;
VarSum=0;
VarAboveCrit=0;
#####

dynamic
  # random trekken waarde uit distributie

  RandomNumber = normal(RandomMap);
  Sb = SlibPred + (RandomNumber * sqrt(SlibVar));

  RandomNumber = normal(RandomMap);
  Dp = DiepPred + (RandomNumber * DiepVar);

  RandomNumber = normal(RandomMap);
  Zt = ZoutPred + (RandomNumber * ZoutVar);

## omrekenen van getrokken waarde naar MF-waarde
# membership funktie diepte

```

```

MfDp1 = if (Dp le DpKrx1 then scalar(0));
  TmpDp01 = Dp gt DpKrx1;
  TmpDp02 = Dp lt DpKrd1;
  TmpDp03 = TmpDp01 and TmpDp02;
  TmpDp04 = if (TmpDp03 then Dp);
MfDp2 = (TmpDp04 * ConstDp1) + ConstDp2;
  TmpDp05 = Dp ge DpKrd1;
  TmpDp06 = Dp le DpKrd2;
  TmpDp07 = TmpDp05 and TmpDp06;
MfDp3 = if(TmpDp07 then scalar(1));
  TmpDp08 = Dp gt DpKrd2;
  TmpDp09 = Dp lt DpKrx2;
  TmpDp10 = TmpDp08 and TmpDp09;
  TmpDp11 = if (TmpDp10 then Dp);
MfDp4 = ConstDp4 + (TmpDp11 * ConstDp3);
MfDp5 = if(Dp ge DpKrx2 then scalar(0));
MfDpT = cover(MfDp1,MfDp2,MfDp3,MfDp4,MfDp5);

# membership functie slib
# MfSb1 niet standaard! Zo veranderd in verband met mogelijk trekken
# van negatieve slibgehaltenes!!!!
# Wanneer slibgehaltenes positief zijn en/of bij verandering instellingen:
# MfSb1 = if (Sb le SbKrx1 then scalar(0))
MfSb1 = if (Sb le 0 then 0.5);
  TmpSb01 = Sb gt SbKrx1;
  TmpSb02 = Sb lt SbKrd1;
  TmpSb03 = TmpSb01 and TmpSb02;
  TmpSb04 = if (TmpSb03 then Sb);
MfSb2 = ConstSb2 + (TmpSb04 * ConstSb1);
  TmpSb05 = Sb ge SbKrd1;
  TmpSb06 = Sb le SbKrd2;
  TmpSb07 = TmpSb05 and TmpSb06;
MfSb3 = if(TmpSb07 then scalar(1));
  TmpSb08 = Sb gt SbKrd2;
  TmpSb09 = Sb lt SbKrx2;
  TmpSb10 = TmpSb08 and TmpSb09;
  TmpSb11 = if(TmpSb10 then Sb);
MfSb4 = ConstSb4 + (TmpSb11 * ConstSb3);
MfSb5 = if(Sb ge SbKrx2 then scalar(0));

MfSbT = cover(MfSb1,MfSb2,MfSb3,MfSb4,MfSb5);

# membership functie zout
MfZt1 = if (Zt le ZtKrx1 then scalar(0));
  TmpZt01 = Zt gt ZtKrx1;
  TmpZt02 = Zt lt ZtKrd1;
  TmpZt03 = TmpZt01 and TmpZt02;
  TmpZt04 = if (TmpZt03 then Zt);
MfZt2 = ConstZt2 + (TmpZt04 * ConstZt1);
  TmpZt05 = Zt ge ZtKrd1;
  TmpZt06 = Zt le ZtKrd2;
  TmpZt07 = TmpZt05 and TmpZt06;
MfZt3 = if(TmpZt07 then scalar(1));
  TmpZt08 = Zt gt ZtKrd2;
  TmpZt09 = Zt lt ZtKrx2;

```

```

    TmpZt10 = TmpZt08 and TmpZt09;
    TmpZt11 = if (TmpZt10 then Zt);
    MfZt4 = ConstZt4 + (TmpZt11 * ConstZt3);
    MfZt5 = if(Zt ge ZtKrx2 then scalar(0));

    MfZtT = cover(MfZt1,MfZt2,MfZt3,MfZt4,MfZt5);

## berekenen groeimogelijkheden geomorfologie
UnifMap = uniform(UniformMap);
# klasse 1: 100% kans werkelijk ook klasse 1 --> groeimogelijkheden: 0%
Morf1 = MorfMap == 1;
MfMf1 = if (Morf1 then GroeiKlas1);
# klasse 2: 80% kans werkelijk klasse 2 --> groeimogelijkheden: 100% (a)
# 20% klasse 3 --> groeimogelijkheden: 75% (b)
Morf2 = MorfMap == 2;
TmpMf01 = UnifMap le 0.8;
TmpMf02 = Morf2 and TmpMf01;
MfMf2a = if(TmpMf02 then GroeiKlas2);
TmpMf03 = UnifMap gt 0.8;
TmpMf04 = TmpMf03 and Morf2;
MfMf2b = if(TmpMf04 then GroeiKlas3);
# klasse 3: 60% zekerheid in klasse 3 --> groeimogelijkheden: 75% (a)
# 20% klasse 2 --> groeimogelijkheden 100% (b)
# 20% klasse 4 --> groeimogelijkheden 50% (c)
Morf3 = MorfMap == 3;
TmpMf05 = UnifMap le 0.6;
TmpMf06 = Morf3 and TmpMf05;
MfMf3a = if (TmpMf06 then GroeiKlas3);
TmpMf07 = UnifMap gt 0.6;
TmpMf08 = UnifMap le 0.8;
TmpMf09 = TmpMf07 and TmpMf08;
TmpMf10 = Morf3 and TmpMf09;
MfMf3b = if(TmpMf10 then GroeiKlas2);
TmpMf11 = UnifMap gt 0.8;
TmpMf12 = TmpMf11 and Morf3;
MfMf3c = if(TmpMf12 then GroeiKlas4);
# klasse 4: 70% zekerheid in klasse 4 --> groeimogelijkheden: 50% (a)
# 20% klasse 3: --> groeimogelijkheden: 75% (b)
# 10% klasse 5: --> groeimogelijkheden: 0% (c)
Morf4 = MorfMap == 4;
TmpMf13 = UnifMap le 0.7;
TmpMf14 = TmpMf13 and Morf4;
MfMf4a = if(TmpMf14 then GroeiKlas4);
TmpMf15 = UnifMap gt 0.7;
TmpMf16 = UnifMap le 0.9;
TmpMf17 = TmpMf15 and TmpMf16;
TmpMf18 = TmpMf17 and Morf4;
MfMf4b = if(TmpMf18 then GroeiKlas3);
TmpMf19 = UnifMap gt 0.9;
TmpMf20 = TmpMf19 and Morf4;
MfMf4c = if(TmpMf20 then GroeiKlas5);
# klasse 5: 100% zekerheid klasse 5
Morf5 = MorfMap == 5;
MfMf5 = if(Morf5 then GroeiKlas5);
# klasse 6: 100% zekerheid klasse 6

```

```
Morf6 = MorfMap == 6;
MfMf6 = if(Morf6 then GroeiKlas6);

# uitrekenen groeimogelijkheden van geomorfologische kaart
MfMfT = cover(MfMf1,MfMf2a,MfMf2b,MfMf3a,MfMf3b,MfMf3c,MfMf4a,MfMf4b,MfMf4c,MfMf5,MfMf6);

## berekenen van de Joint Memberships Function
# Jmf = MfDpT * MfSbT * MfZtT * MfMfT;
Jmf = min(MfDpT,MfSbT,MfZtT,MfMfT);

#####
#MONTE CARLO
# variable for Monte Carlo simulation
Var=Jmf;
# reported statistics for mean, sd, cv, crit
# calculate sum of squares
report VarSumSqr=VarSumSqr+sqr(Var);
# calculate sum
report VarSum=VarSum+Var;
# calculate number of iterations with Var greater than critical value
report VarAboveCrit=if(Var gt Crit,VarAboveCrit+1,VarAboveCrit);
#####
```

CART0.MOD:

```
# cartographic model for error propagation
# use in combination with monte0.mod
# written by D. Karssenberg

# NOTE: N is the number of iterations

binding
SumVarSqr=varsumsq.map;
SumVar=varsummm.map;
VarAboveCr=abocriti.map;
N=2500;

SD=sd.map;
Av=ave.map;
CV=cv.map;
AvLog=avelog.map;
ProbAboveCrit=probcr.map;

initial
# calculate standard deviation
report SD= (sqrt(N*SumVarSqr-sqr(SumVar)))/N;
# calculate average
report Av= SumVar/N;
# calculate coefficient of variation
report CV=SD/Av;
# calculate log of cv
report AvLog=log10(Av);
# calculate probability that variable is above critical value
report ProbAboveCrit=VarAboveCr/N;
```

GSTAT bestanden voor interpoleren slibgehaltekaart en saliniteitskaart

SLIB BK2.CMD:

```
# gstat command file, dos/dpmi version 1.9j (January 1997)
# Mon Jul 14 15:50:19 1997
#
data(slib): 'slibnew.col', x=1, y=2, v=3;

variogram(slib): 218.631 Nug(0) + 148.356 Exp(1159.69);

mask: 'mask.50';                                # PCRaster boolean kaart; kan ook met gridascii-file (ArcInfo)
set cutoff = 3000;
set fit = 1;
set width = 250;

predictions(slib): 'slib_bk2.prd';
variances(slib): 'slib_bk2.var';
block: dx = 50, dy = 50;
```

ID2 GEM.CMD:

```
points(zout): 'win_gem.col', x=1, y=2, v=3;
mask: 'mask.50';
predictions(zout): 'id2_gem.prd';
set idp=2;
```

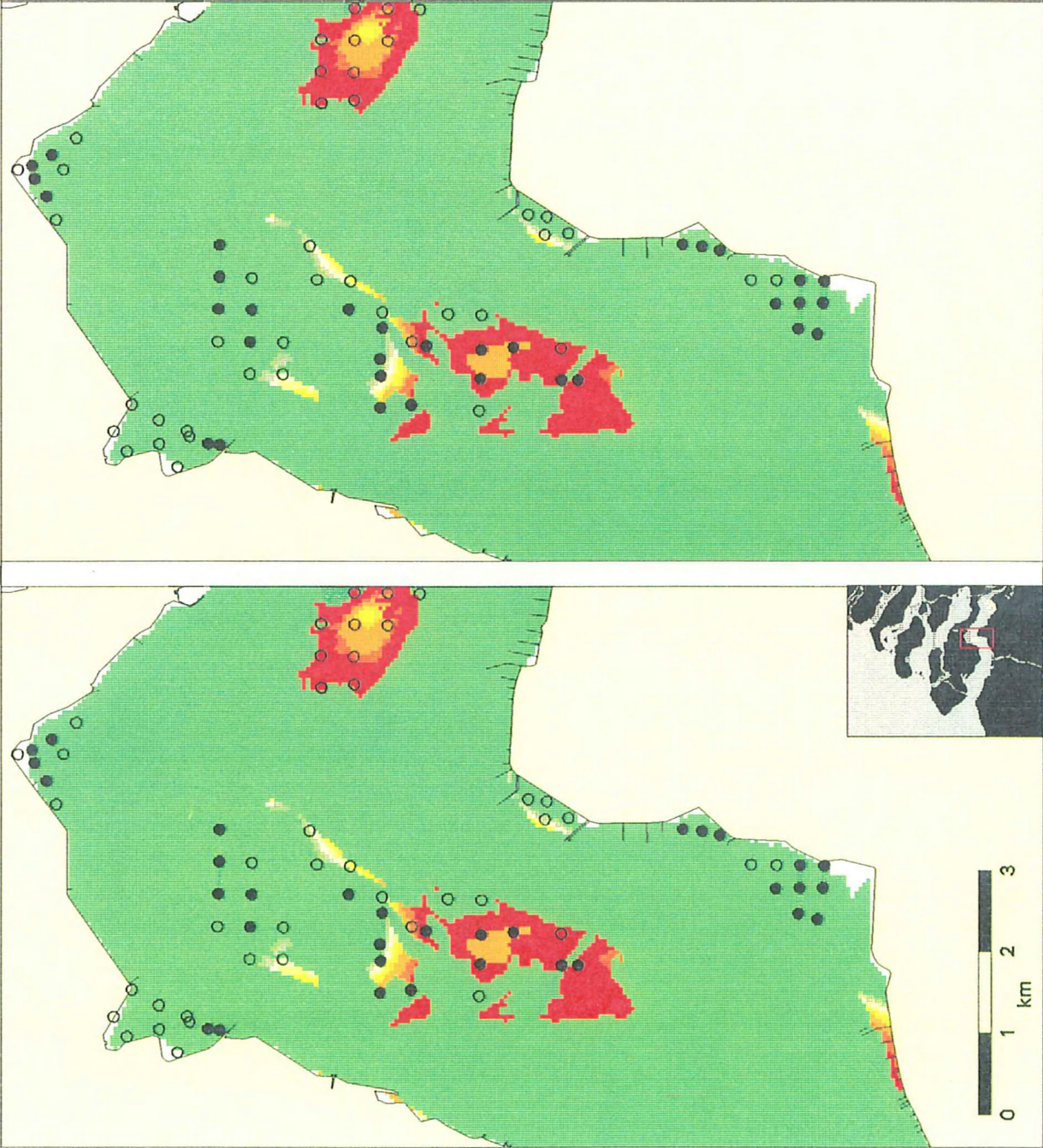
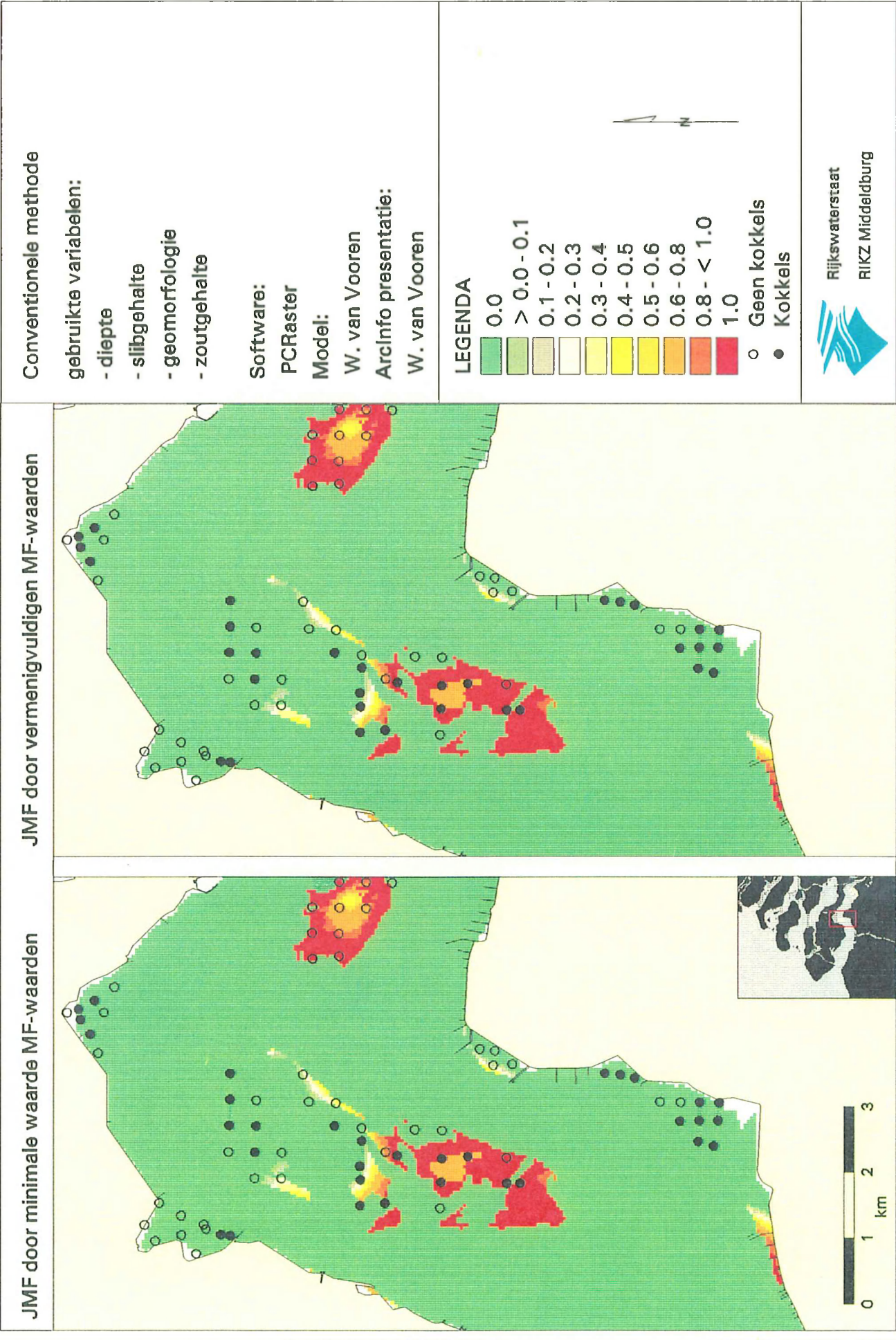
Uitleg bij bovenstaande bestanden:

points	commando geeft aan waar de gegevens staan nodig voor de interpolatie, waarbij:
	(var) naam te interpoleren variabele
	<bestand> naam ASCII-bestand met kolommen
	x=1 x-coördinaten in eerste kolom
	y=2 y-coördinaten in tweede kolom
	v=3 te interpoleren variabele in derde kolom
mask	geeft aan in welk gebied wordt geïnterpoleerd; 'mask.50' is kaart (boolean)
set cut-off ¹	commando om waarde voor cut-off op te geven
set width ¹	commando om waarde voor lag op te geven
predictions	commando om naam voor uitvoer-kaart op te geven met geïnterpoleerde waarden
variances ¹	commando om naam voor uitvoerkaart met variantie op te geven
block ¹	geeft grootte op van blok bij block kriging
set idp ²	geeft waarde aan voor inverse distance power

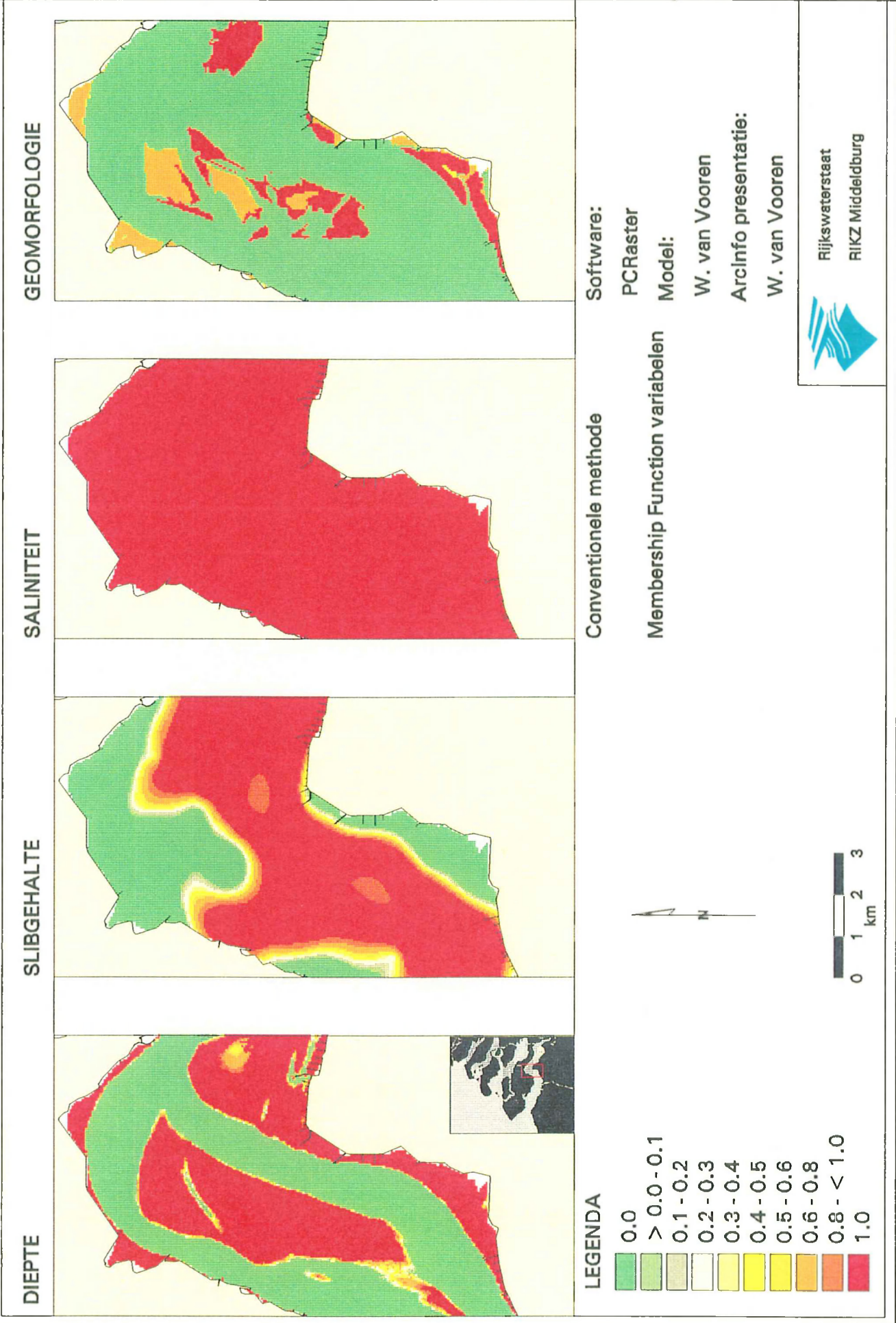
¹ Alleen bij kriging

² Alleen bij inverse distance interpolatie

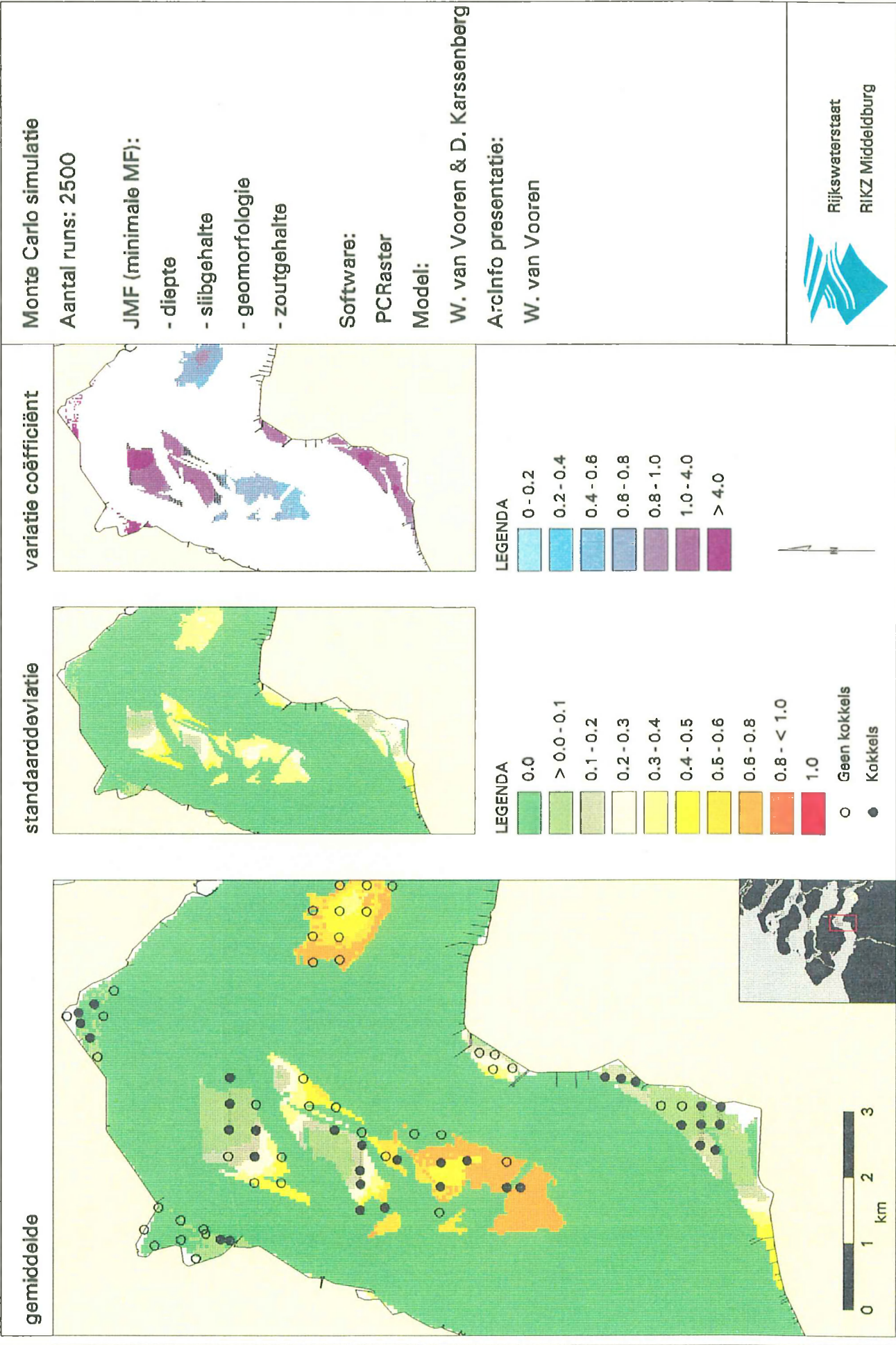
Groeimogelijkhedenkaart kokkel in deel van de Westerschelde



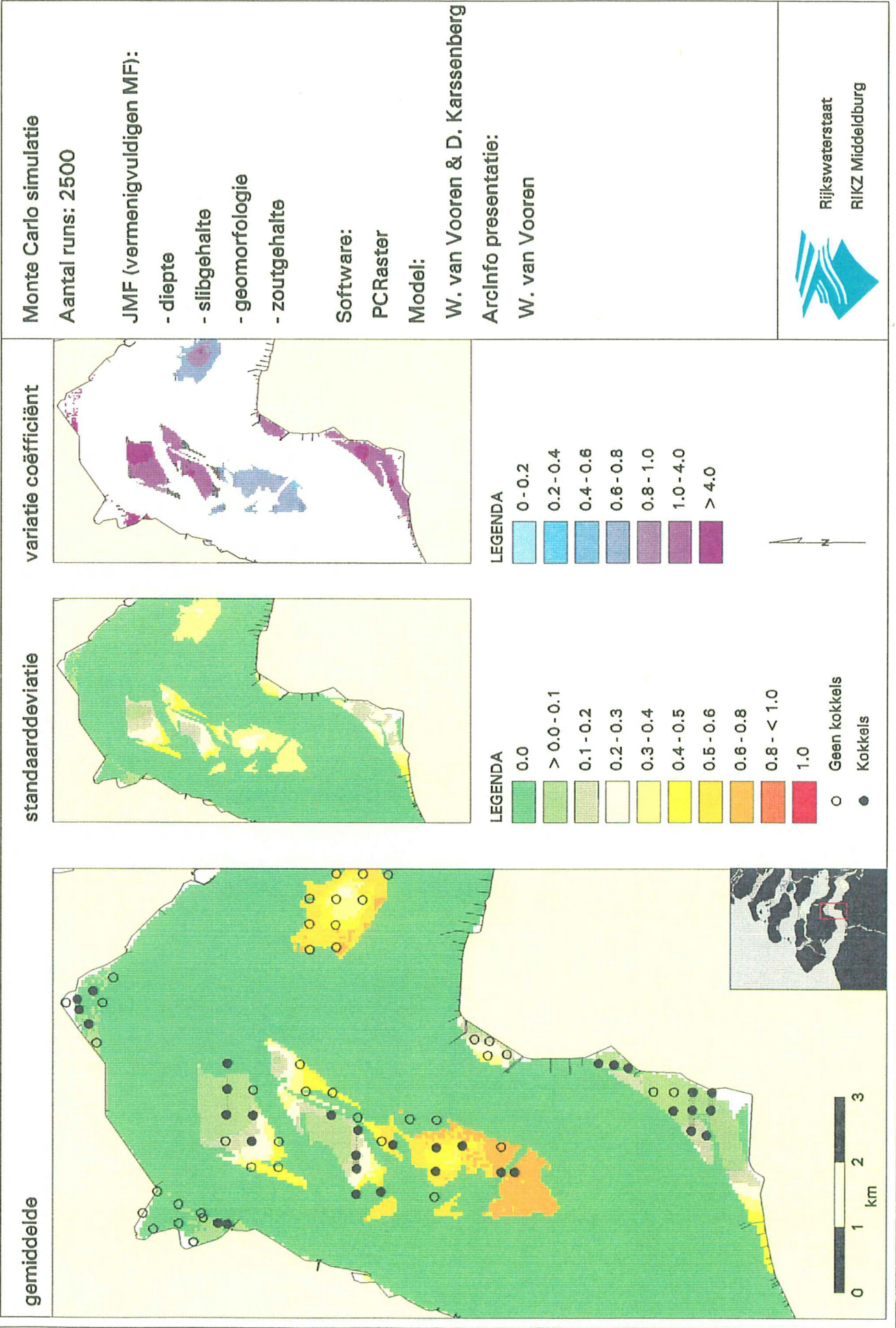
Groeimogelijkhedenkaart kokkel in deel van de Westerschelde



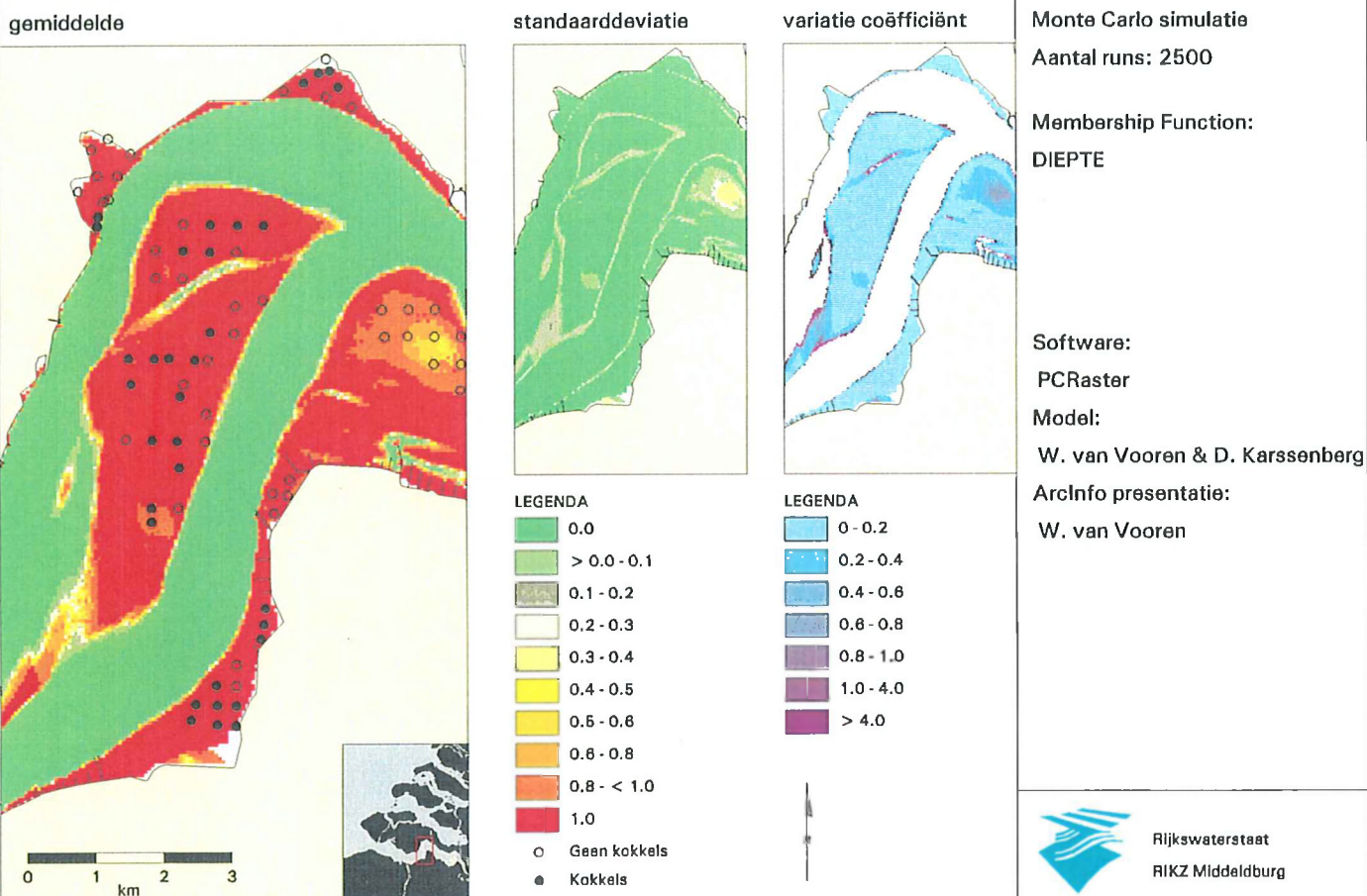
Groeimogelijkhedenkaart kokkel in deel van de Westerschelde



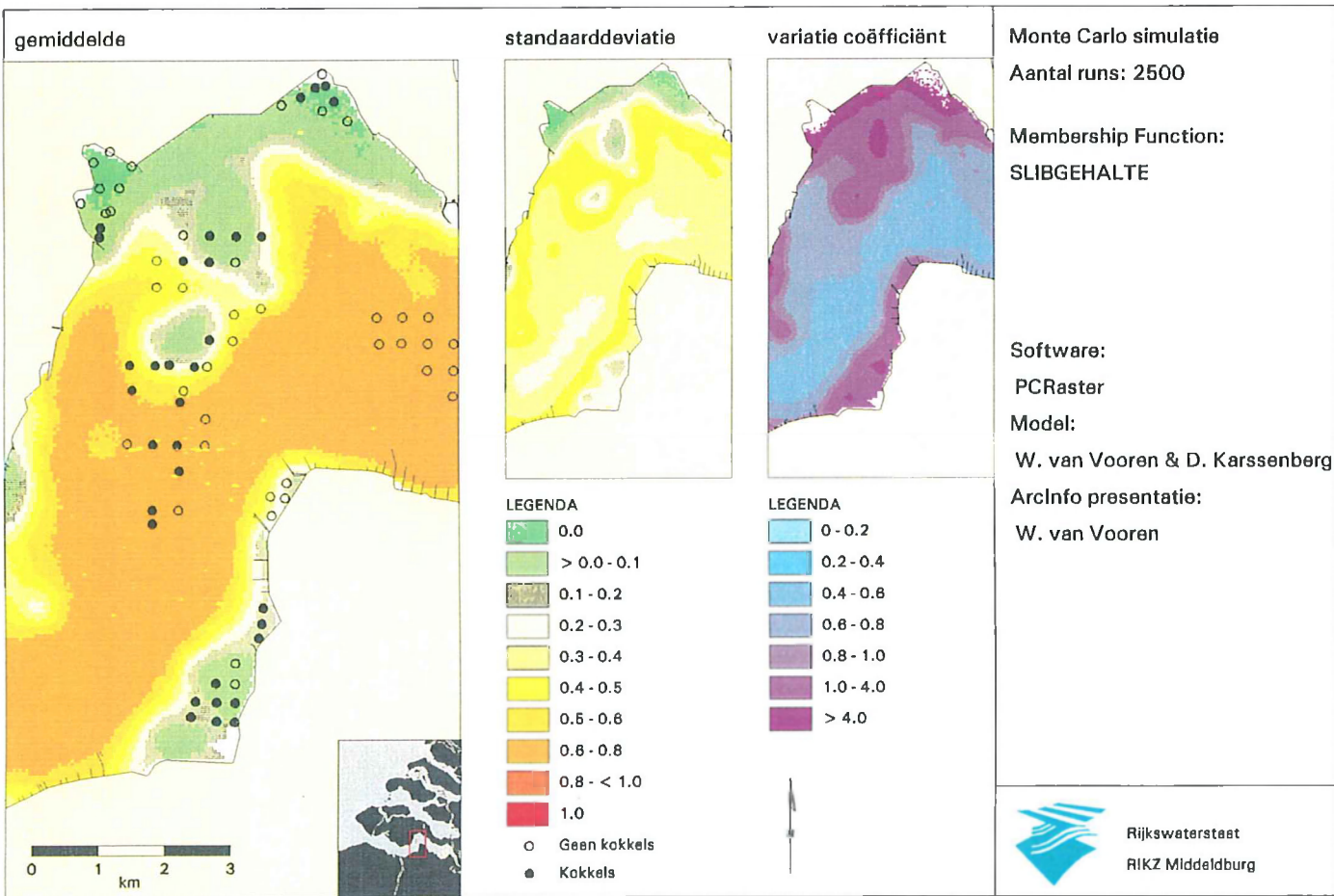
Groeimogelijkhedenkaart kokkel in deel van de Westerschelde



Groeimogelijkhedenkaart kokkel in deel van de Westerschelde

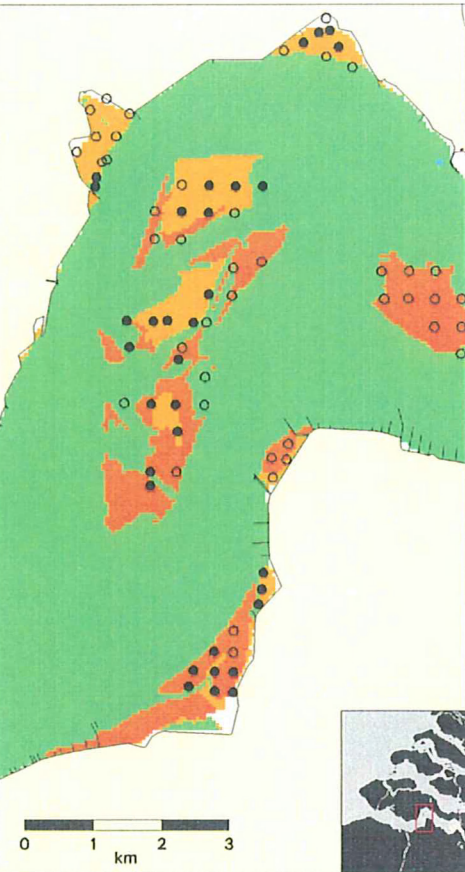


Groeimogelijkhedenkaart kokkel in deel van de Westerschelde

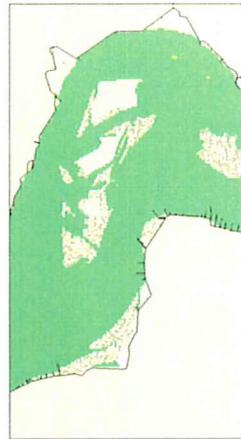


Groeimogelijkhedenkaart kokkel in deel van de Westerschelde

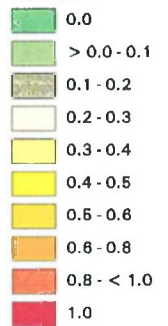
gemiddelde



standaarddeviatie



LEGENDA



○ Geen kokkels
● Kokkels

variatie coëfficiënt



LEGENDA



Monte Carlo simulatie

Aantal runs: 2500

Membership Function:

GEOMORFOLOGIE

Software:

PCRaster

Model:

W. van Vooren & D. Karssenber

ArcInfo presentatie:

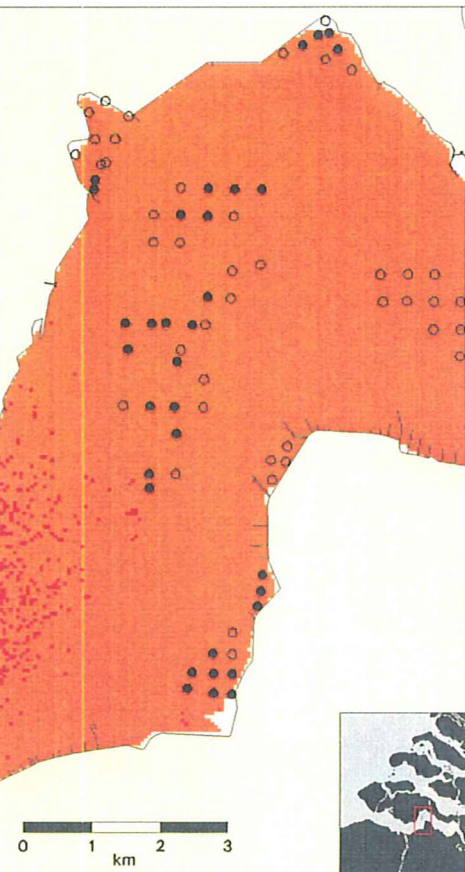
W. van Vooren



Rijkswaterstaat
RIKZ Middelburg

Groeimogelijkhedenkaart kokkel in deel van de Westerschelde

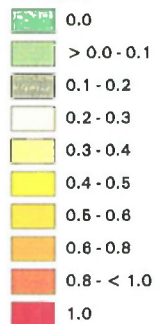
gemiddelde



standaarddeviatie



LEGENDA

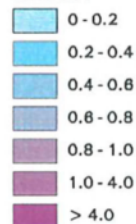


○ Geen kokkels
● Kokkels

variatie coëfficiënt



LEGENDA



Monte Carlo simulatie

Aantal runs: 2500

Membership Function:

ZOUTGEHALTE

Software:

PCRaster

Model:

W. van Vooren & D. Karssenber

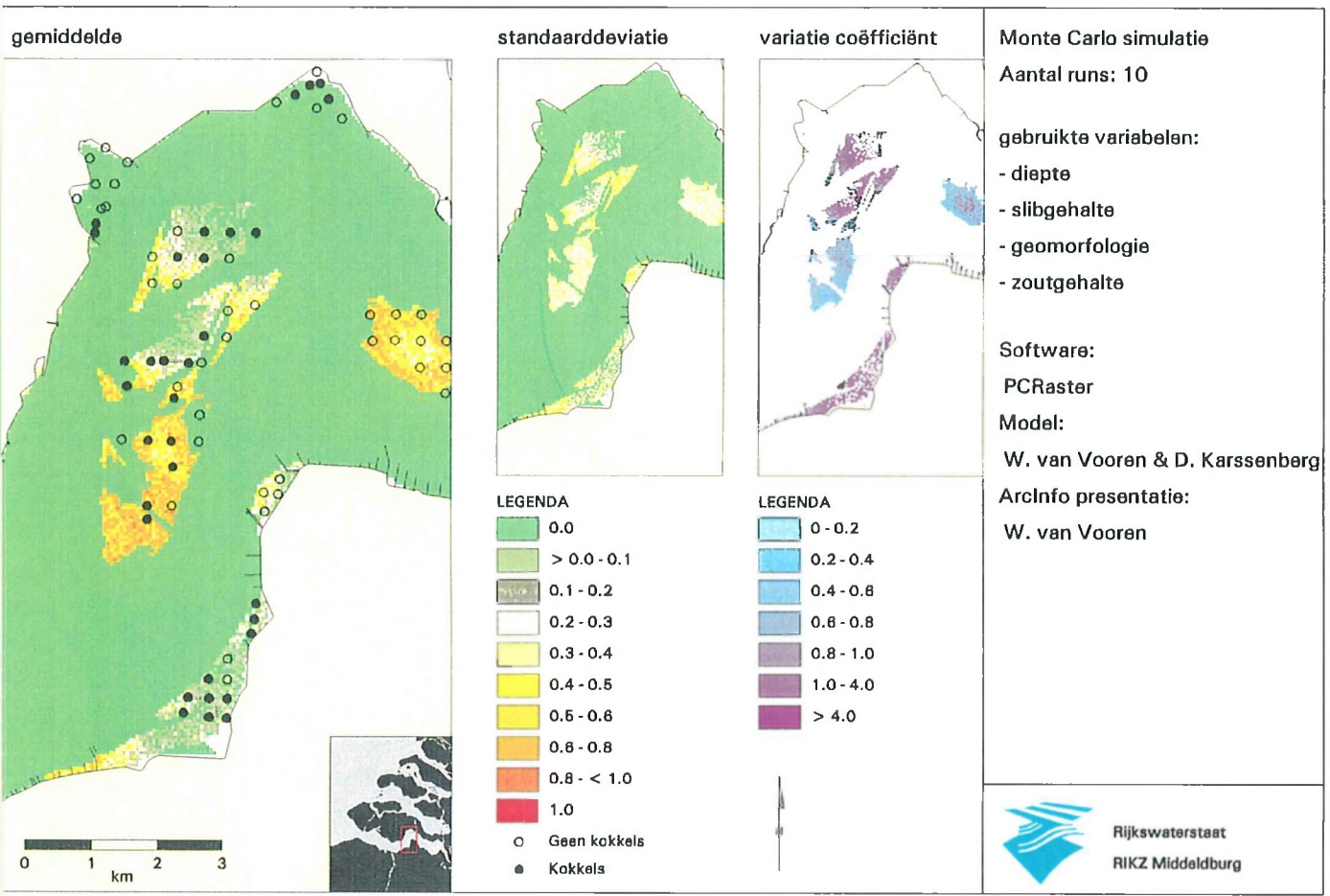
ArcInfo presentatie:

W. van Vooren

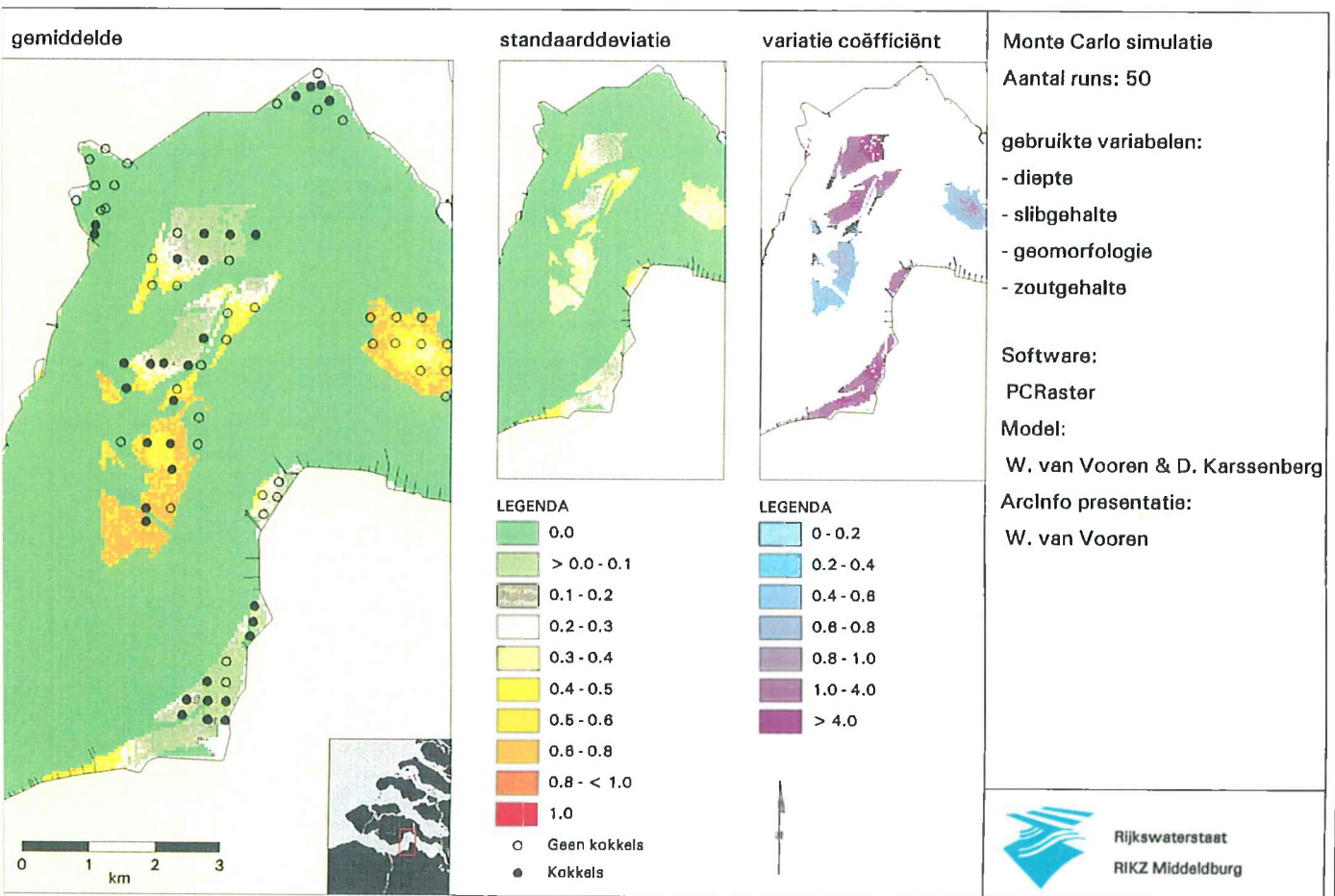


Rijkswaterstaat
RIKZ Middelburg

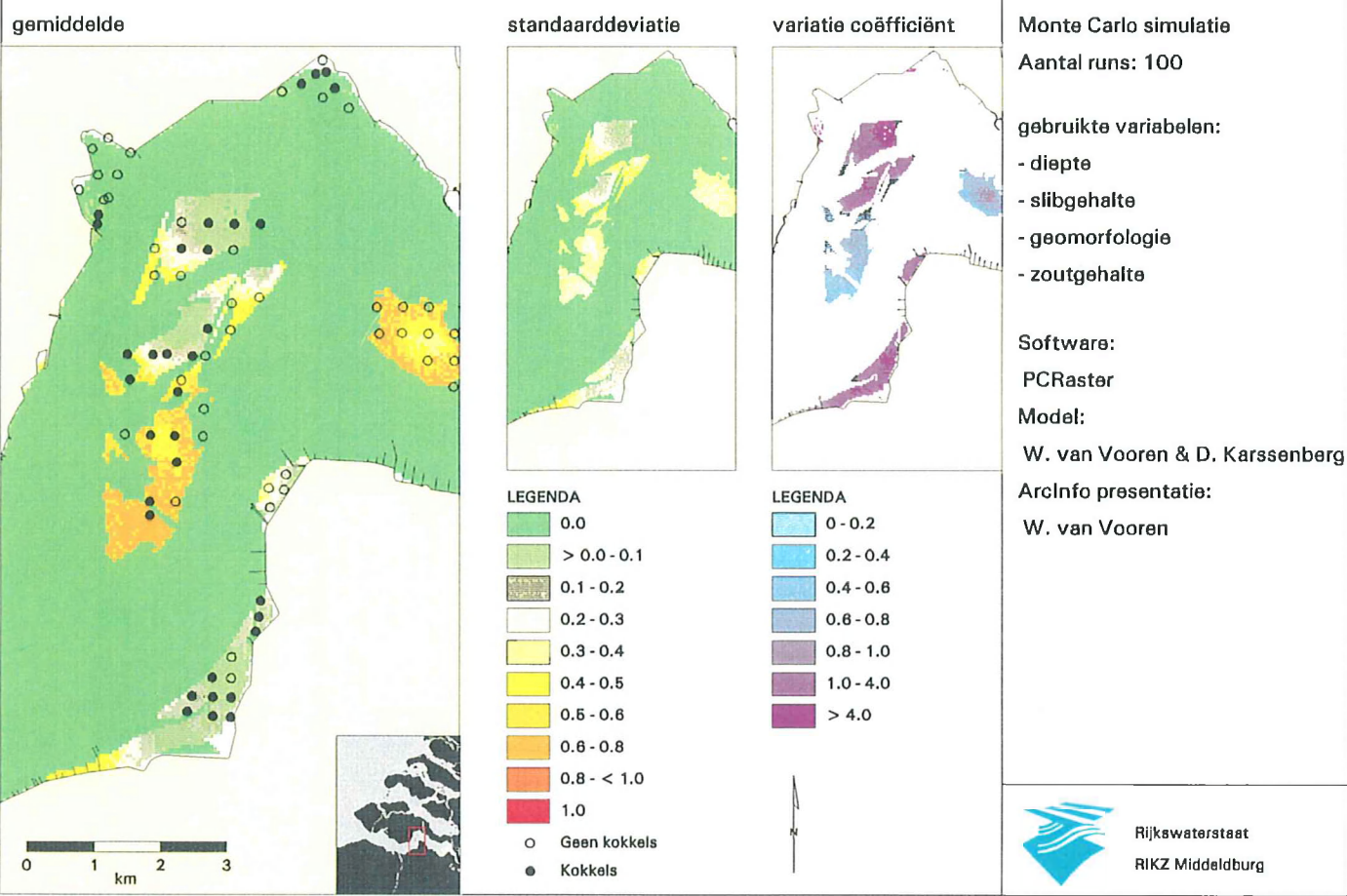
Groeimogelijkhedenkaart kokkel in deel van de Westerschelde



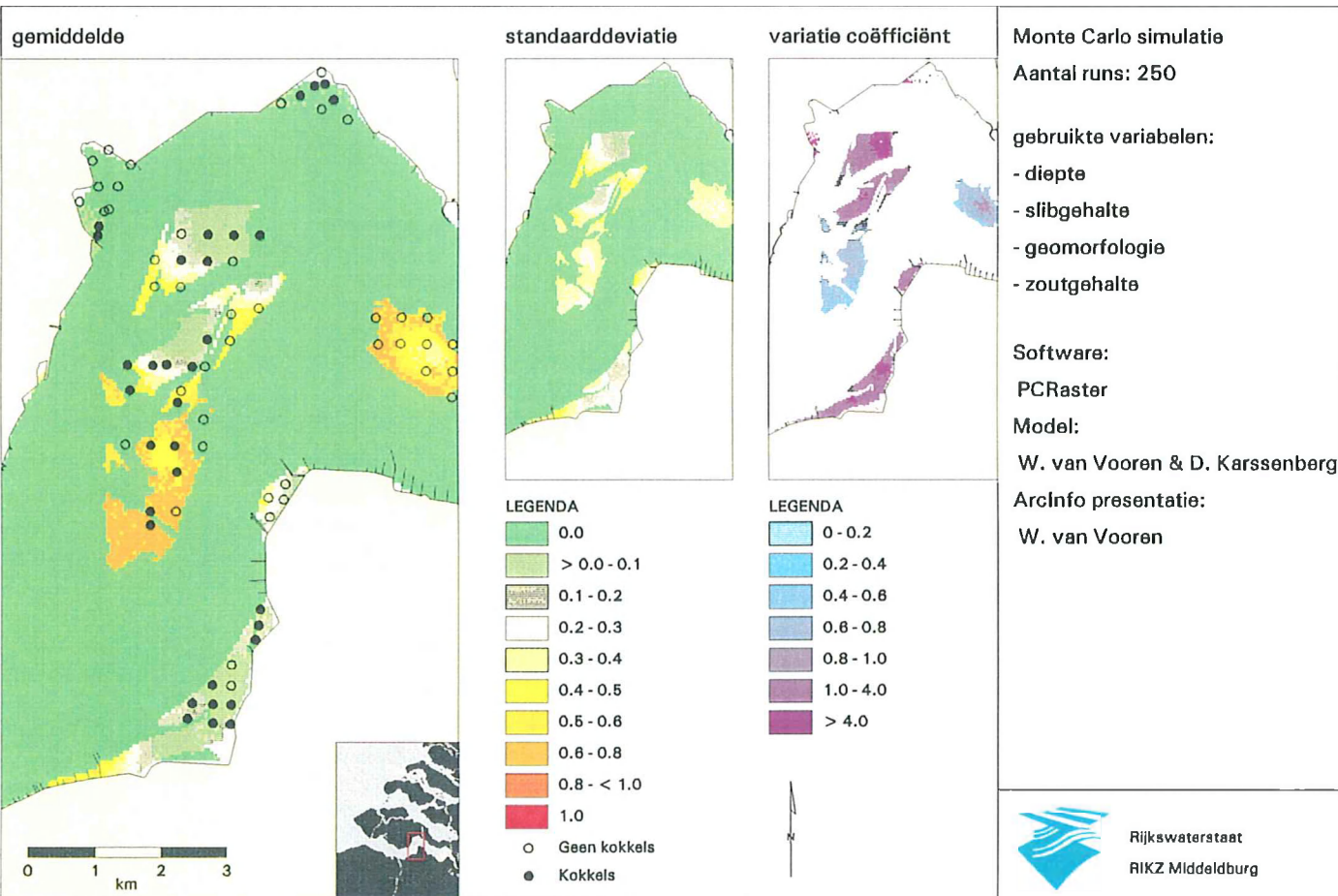
Groeimogelijkhedenkaart kokkel in deel van de Westerschelde



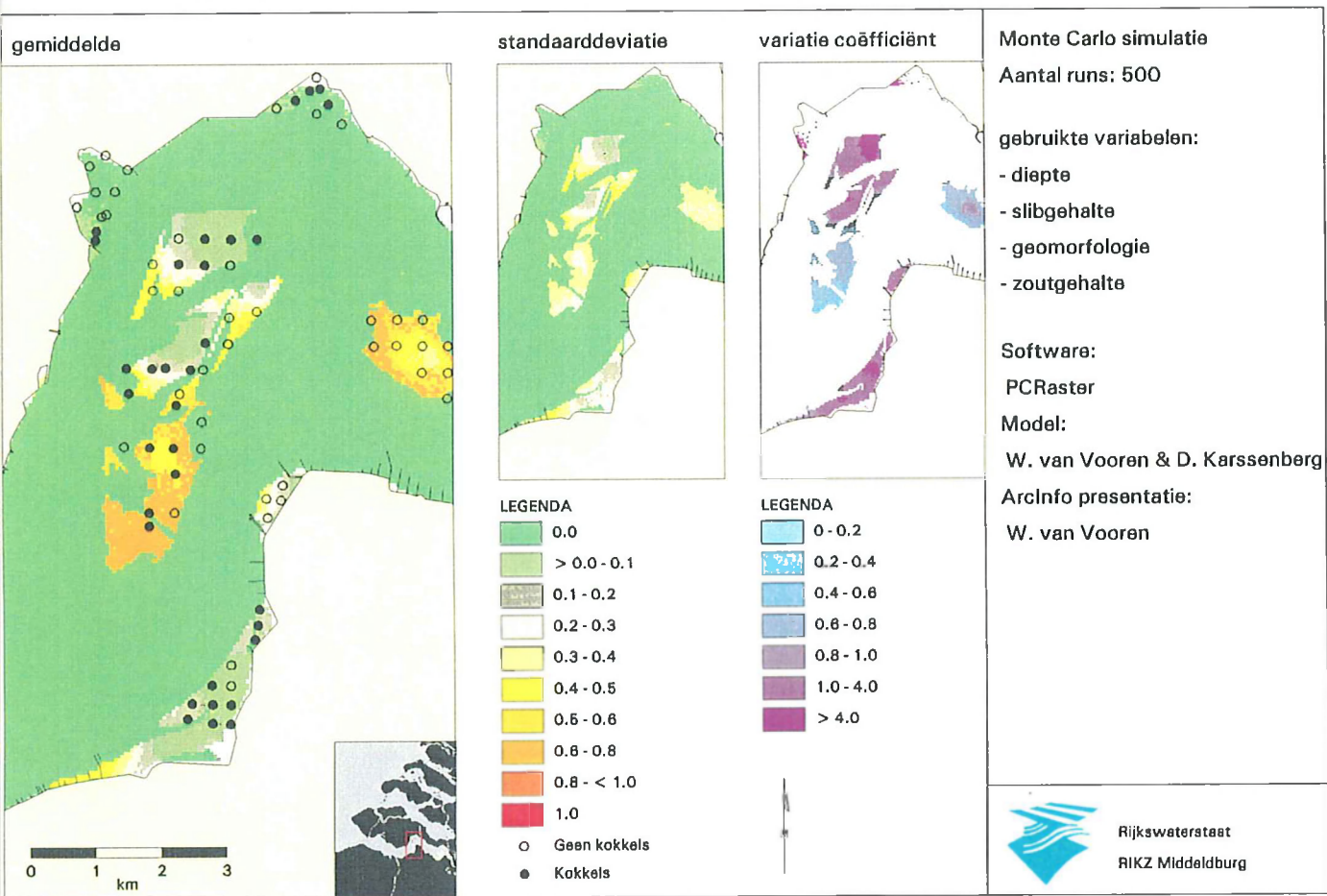
Groeimogelijkhedenkaart kokkel in deel van de Westerschelde



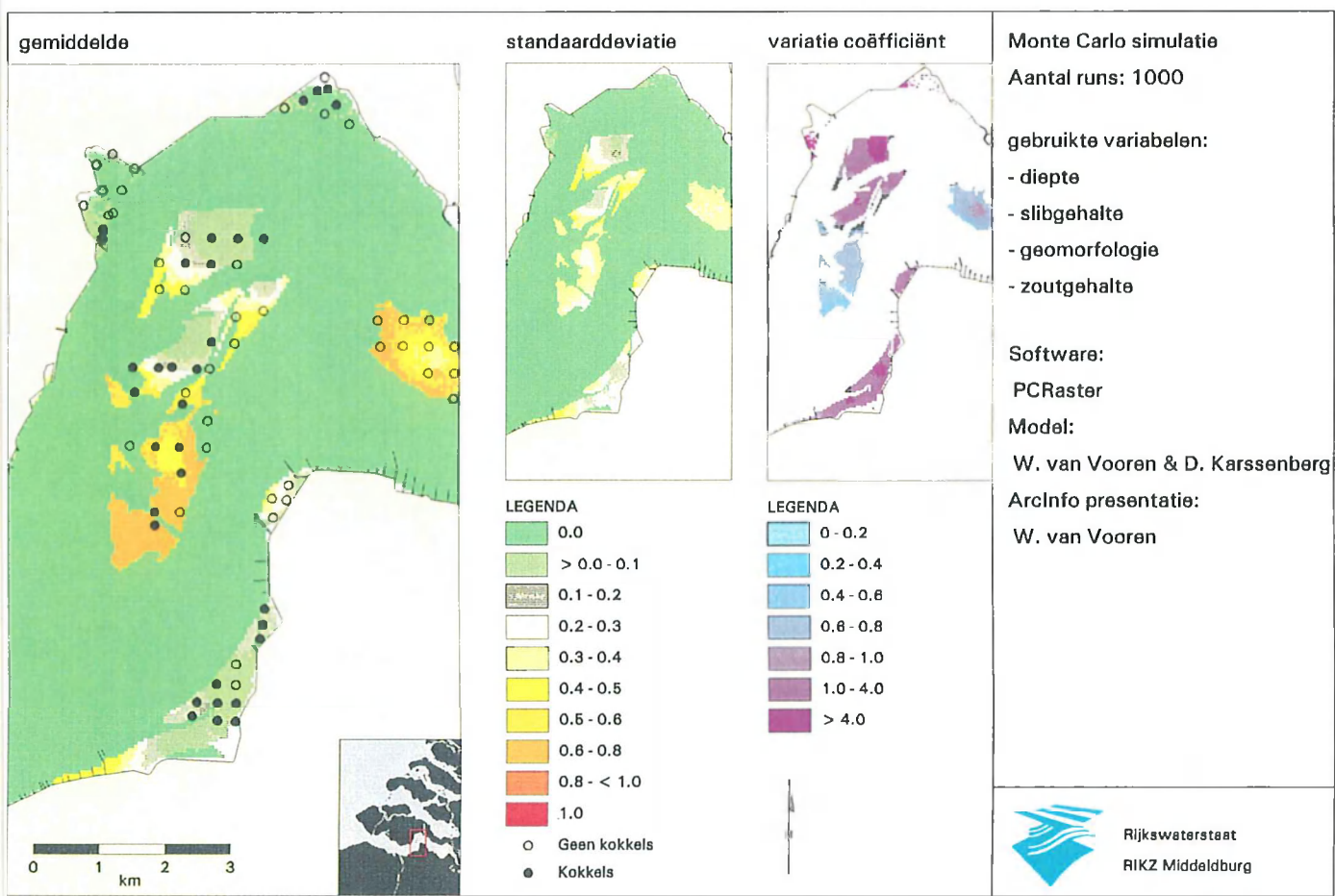
Groeimogelijkhedenkaart kokkel in deel van de Westerschelde



Groeimogelijkhedenkaart kokkel in deel van de Westerschelde

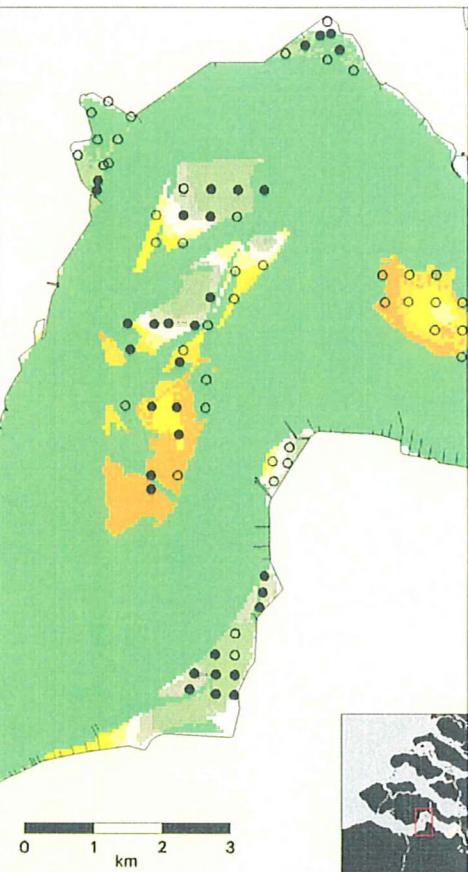


Groeimogelijkhedenkaart kokkel in deel van de Westerschelde

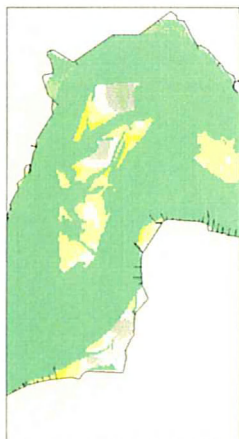


Groeimogelijkhedenkaart kokkel in deel van de Westerschelde

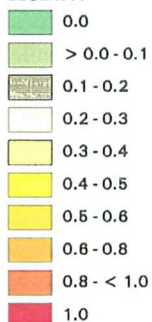
gemiddelde



standaarddeviatie



LEGENDA

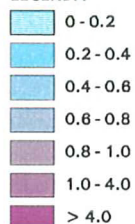


○ Geen kokkels
● Kokkels

variatie coëfficiënt



LEGENDA



Monte Carlo simulatie

Aantal runs: 2500

gebruikte variabelen:

- diepte
- slibgehalte
- geomorfologie
- zoutgehalte

Software:

PCRaster

Model:

W. van Vooren & D. Karssenberg

ArcInfo presentatie:

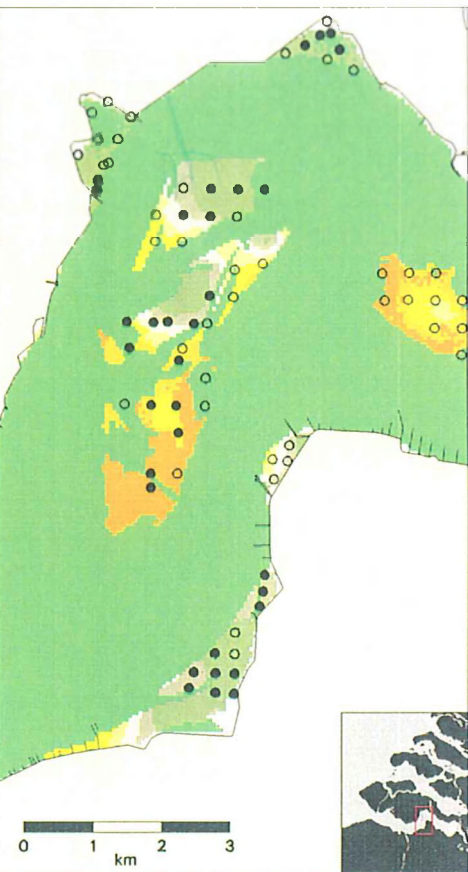
W. van Vooren



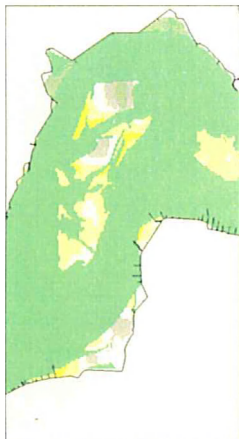
Rijkswaterstaat
RIKZ Middelburg

Groeimogelijkhedenkaart kokkel in deel van de Westerschelde

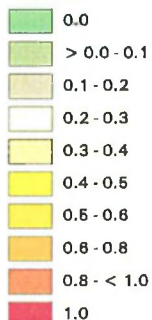
gemiddelde



standaarddeviatie



LEGENDA

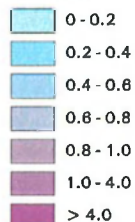


○ Geen kokkels
● Kokkels

variatie coëfficiënt



LEGENDA



Monte Carlo simulatie

Aantal runs: 10000

gebruikte variabelen:

- diepte
- slibgehalte
- geomorfologie
- zoutgehalte

Software:

PCRaster

Model:

W. van Vooren & D. Karssenberg

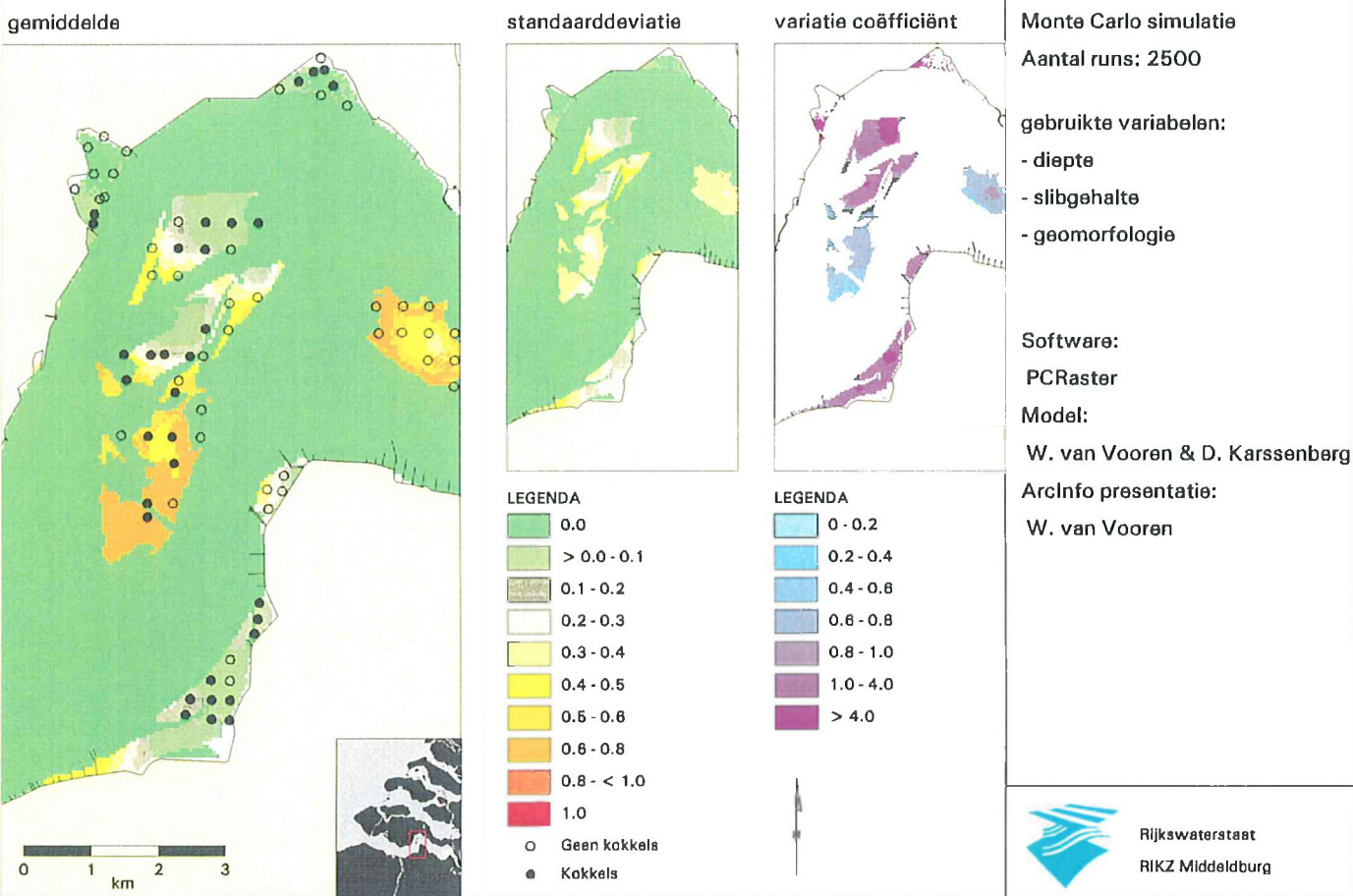
ArcInfo presentatie:

W. van Vooren

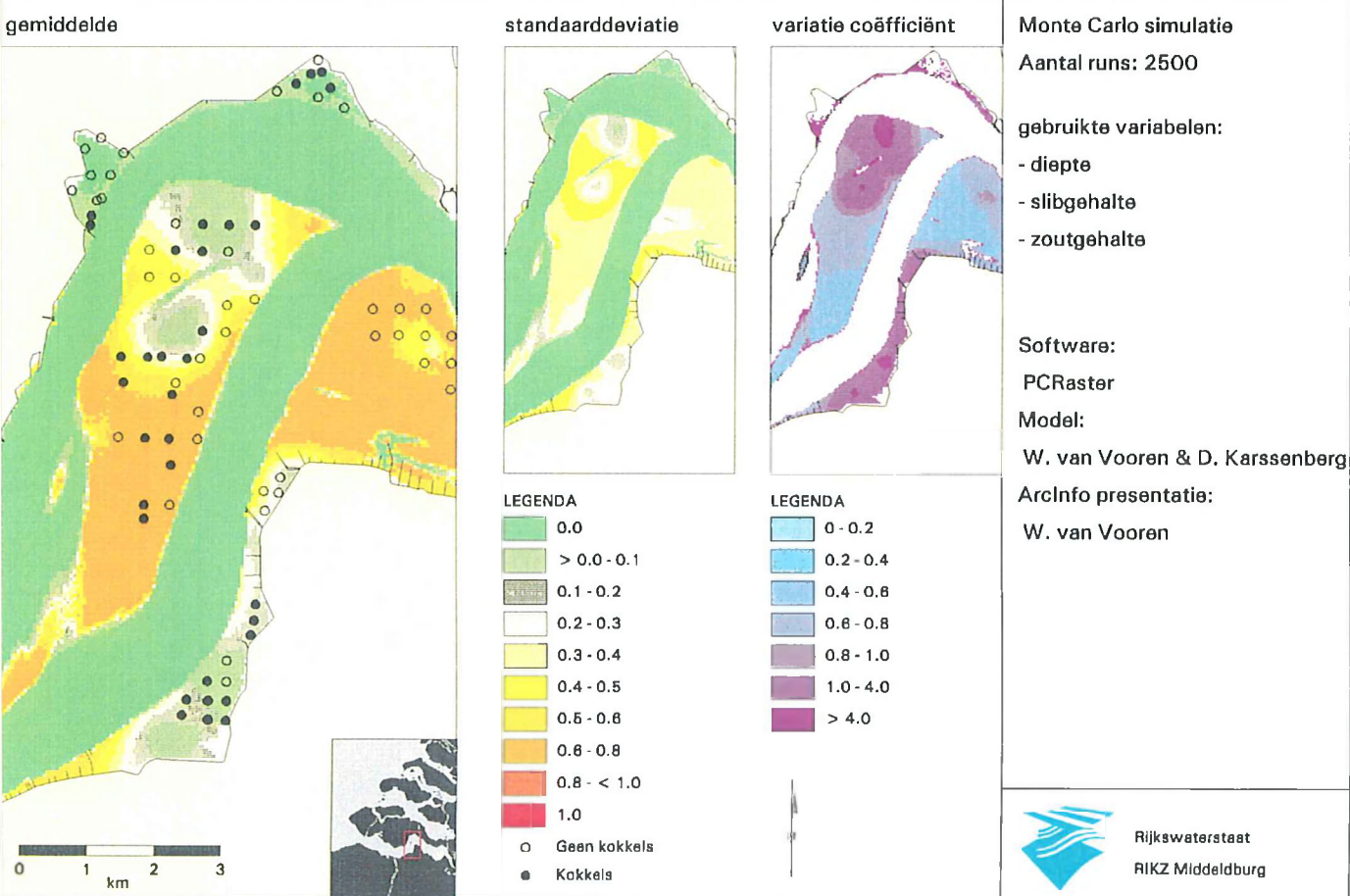


Rijkswaterstaat
RIKZ Middelburg

Groeimogelijkhedenkaart kokkel in deel van de Westerschelde

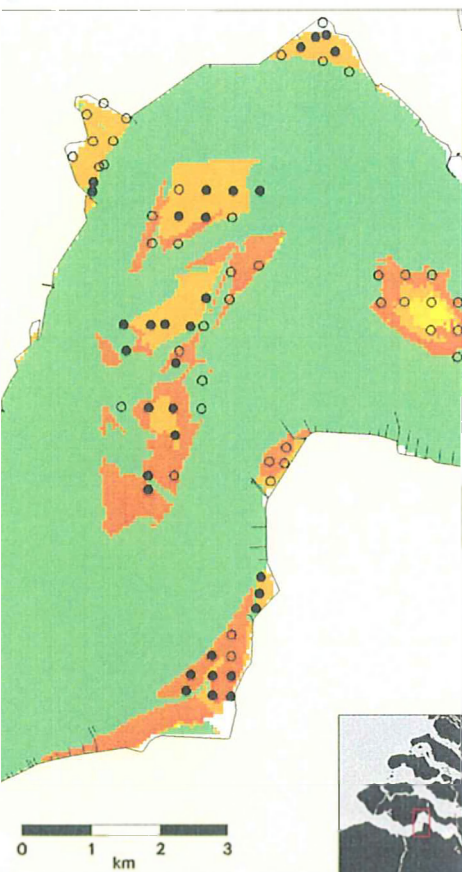


Groeimogelijkhedenkaart kokkel in deel van de Westerschelde



Groeimogelijkhedenkaart kokkel in deel van de Westerschelde

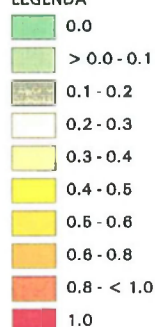
gemiddelde



standaarddeviatie

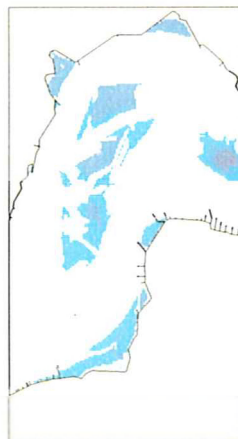


LEGENDA

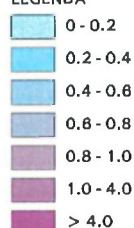


○ Geen kokkels
● Kokkels

variatie coëfficiënt



LEGENDA



Monte Carlo simulatie

Aantal runs: 2500

gebruikte variabelen:

- diepte
- geomorfologie
- zoutgehalte

Software:

PCRaster

Model:

W. van Vooren & D. Karssenberg

ArcInfo presentatie:

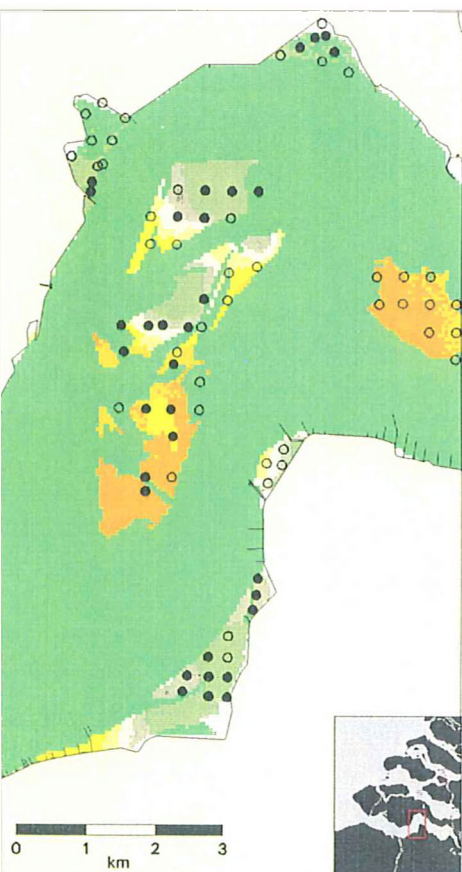
W. van Vooren



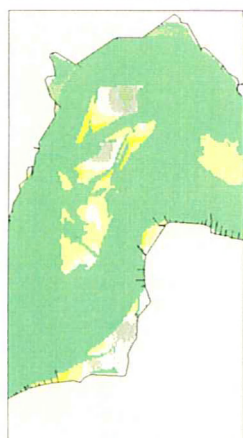
Rijkswaterstaat
RIKZ Middelburg

Groeimogelijkhedenkaart kokkel in deel van de Westerschelde

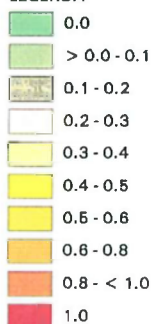
gemiddelde



standaarddeviatie

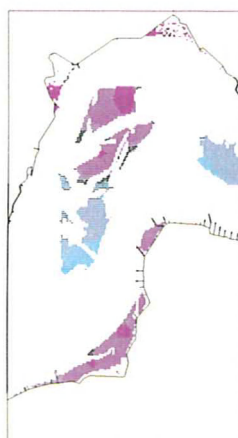


LEGENDA

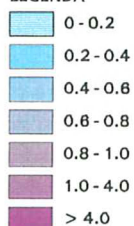


○ Geen kokkels
● Kokkels

variatie coëfficiënt



LEGENDA



Monte Carlo simulatie

Aantal runs: 2500

gebruikte variabelen:

- slibgehalte
- geomorfologie
- zoutgehalte

Software:

PCRaster

Model:

W. van Vooren & D. Karssenberg

ArcInfo presentatie:

W. van Vooren



Rijkswaterstaat
RIKZ Middelburg

KRT.AML:

```
&args kaart kaart2 kaart3 print_naam
&echo &on
&watch watch_file &commands

&r st_arcplot

clear
&if ^ [null %print_naam%] &then
&do
display 1040
%print_naam%
&end

&else
display 9999 2

&do

&workspace /gwmcae03/duurzaam/vooren/kaarten

/* tekenen gemiddelde kaart + omlijnningen
units page
pageunits cm
pagesize 29 21
shadeset /gwmcae02/oostwest/ridder/atlas/shd/atl.shd
maplimits 2 1 15 17

units map
mapunits meters
mape 52000 374000 59000 387000
patch 52000 374000 59000 387000
gridnodatasymbol white
gridshades %kaart% value ave2.remap #

&workspace /gwmcah03/autexploalg/arcbest/delta

/* polygonencoverage plotten over gemiddelde kaart
units map
clearselect
reselect deltabasis polys deltabasis-id eq 3
shadeset colornames.shd
polygonshades deltabasis 17
linecolor black
linesize 0.02
arcs deltabasis
linesize 0.02
box 52000 374000 59000 387000

&workspace /gwmcae03/duurzaam/vooren/kaarten
```

```
/* plotten kokkelwaarnemingen over gemiddelde kaart heen
```

```
units page
```

```
markerset glyph.mrk
```

```
markercolor 1
```

```
pointmarkers kokkelkaart kokkelkaart-id kokkel.lut
```

```
/* plotten van waarde bij punten
```

```
textfont 94027
```

```
textquality proportional
```

```
/*textcolor black
```

```
/*textsize 0.25
```

```
/*pointtext kokkelkaart kokkelkaart-id # 11
```

```
/* overzichtsplaatje
```

```
&workspace /gwmcah03/autexploalg/arcbest/delta
```

```
maplimits 8.3 1 10.7 4
```

```
mapunits meters
```

```
mape 10000 350000 80000 440000
```

```
/* mapscale 3450000
```

```
shadeset /gwmcae02/oostwest/ridder/atlas/shd/atl.shd
```

```
clearselect
```

```
reselect deltabasis polys deltabasis-id eq 3
```

```
polygonshades deltabasis 100
```

```
clearselect
```

```
reselect deltabasis polys deltabasis-id eq 4 and schelde eq 0
```

```
polygonshades deltabasis 800
```

```
clearselect
```

```
reselect deltabasis polys schelde eq 1
```

```
polygonshades deltabasis 800
```

```
clearselect
```

```
reselect deltabasis polys deltabasis-id eq 2
```

```
polygonshades deltabasis 100
```

```
clearselect
```

```
units map
```

```
mapunits meters
```

```
linecolor black
```

```
box 10000 350000 80000 440000
```

```
linesize 0.03
```

```
linecolor red
```

```
box 51000 373000 60000 388000
```

```
&workspace /gwmcae03/duurzaam/vooren/kaarten
```

```
/* tekenen kaart st. dev + omlijnningen
```

```
units page
```

```
maplimits 11.5 9 16.5 17
```

```
units map
mape 52000 374000 59000 387000
patch 52000 374000 59000 387000
gridnodatasymbol white
gridshades %kaart2% value ave2.remap #

&workspace /gwmcah03/autexploalg/arcbest/delta
```

```
/* polygonencoverage plotten over kaart st. dev.
```

```
units map
clearselect
reselect deltabasis polys deltabasis-id eq 3
shadeset colornames.shd
polygonshades deltabasis 17
linecolor black
linesize 0.02
arcs deltabasis
linecolor black
linesize 0.02
box 52000 374000 59000 387000
```

```
&workspace /gwmcae03/duurzaam/vooren/kaarten
```

```
/* tekenen kaart coeff. variatie + omlijnningen
```

```
units page
maplimits 16.5 9 21.5 17
```

```
units map
mapunits meters
mape 52000 374000 59000 387000
patch 52000 374000 59000 387000
gridnodatasymbol white
gridshades %kaart3% value cv.remap #
```

```
&workspace /gwmcah03/autexploalg/arcbest/delta
```

```
/* polygonencoverage plotten over kaart coeff. variatie
```

```
units map
clearselect
reselect deltabasis polys deltabasis-id eq 3
shadeset colornames.shd
polygonshades deltabasis 17
linecolor black
linesize 0.02
arcs deltabasis
linesize 0.01
box 52000 374000 59000 387000
```

```
&workspace /gwmcae03/duurzaam/vooren/kaarten
```

```
/* box maken
units page
linecolor 1
linesize 0.2
box 1.8 0.8 27.5 19.5
linesize 0.02
box 2 1 27.3 18
/* line 2,18 20.8,18
line 20.8 1 20.8 18
line 20.8 3.1 27.3 3.1

/* tekst (titels en randinformatie)
units page
textstyle typeset
textfont 94027
textjustification ll
textsize 0.8
textcolor 1
move 2.2 18.5
text 'Groeimogelijkhedenkaart kokkel in deel van de Westerschelde' ll
textfont 94021
textsize 0.6
textangle 270
move 27.8 19.5
text 'Bijlage III' ll
textsize 0.4
textangle 0
move 2.2 17.3
text 'gemiddelde' ll
move 11.5 17.3
text 'standaarddeviatie' ll
move 16.5 17.3
text 'variatie co!pat241;ffici!pat241;nt' ll

move 21.1 17.3
text 'Monte Carlo simulatie' ll
move 21.1 16.6
text 'Aantal runs: 2500' ll
move 21.1 15.4
text 'gebruikte variabelen:' ll
move 21.1 14.7
text '- diepte' ll
move 21.1 14.0
text '- slibgehalte' ll
move 21.1 13.3
text '- geomorfologie' ll
move 21.1 12.6
text '- zoutgehalte' ll

move 21.1 11.3
```

```
text 'Software:' ll
move 21.1 10.6
text 'PCRaster' ll
move 21.1 9.9
text 'Model:'
move 21.1 9.2
text 'W. van Vooren & D. Karssenberg' ll
move 21.1 8.5
text 'ArcInfo presentatie:' ll
move 21.1 7.8
text 'W. van Vooren' ll
```

```
/* legenda gemiddelde en standaarddeviatie
shadeset /gwmcae02/oostwest/ridder/atlas/shd/atl.shd
keyarea 11.5 1.1 16 8.2
textsize 0.3
keybox 0.8 0.45
keyseparation 0.2 0.15
keyshade ave2.key
markerset glyph.mrk
keyseparation 0.2 0.08
keymarker kokkel.lut info symbol description nobox
move 11.5 8.4
text 'LEGENDA' ll
```

```
/* legenda variatie coefficient
keyarea 16.5 1.1 21 8.2
keybox 0.8 0.45
keyseparation 0.2 0.15
keyshade cv.key
move 16.5 8.4
text 'LEGENDA' ll
```

```
/* noordpijl
markerset north.mrk
markersymbol 1
markersize 2.3
markercolor 1
marker 16.9 2.2
```

```
/* schaalstok
units page
shadetype color
shadecolor black
linecolor black
textcolor black
patch 2.5,1.8 3.75,2.0
box 3.75 1.8 5.0 2.0
patch 5.0,1.8 6.25, 2.0
```

```
box 2.5 1.8 6.25 2.0
move 2.5 1.45
textsize 0.3
text '0' lc
move 3.75 1.45
text '1' lc
move 5.0 1.45
text '2' lc
move 6.25 1.45
text '3' lc
move 4.35 1.2
text 'km' lc

/* rijkswaterstaatlogo
textcolor 1
maplimits 21.1 1.1 23 3.5
mapscale auto
shadeset rainbow
mapex /gwmcah03/autexploalg/arcbest/diversen/rwslogo
polygonshades /gwmcah03/autexploalg/arcbest/diversen/rwslogo 140
move 23.3 2.1
text 'Rijkswaterstaat' ll
move 23.3 1.5
text 'RIKZ Middelburg' ll

&workspace /gwmcae03/duurzaam/vooren/kaarten

&end

&if ^ [null %print_naam%] &then
&do
&r st_arc
&m print
&end

&return
```