

Opdrachtgever:

RIKZ

GEM, Fase 4

Calibratie pilottoepassingen en uitbreiding functionaliteit

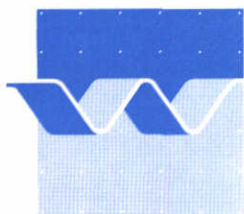
oktober 1998

wl | delft hydraulics

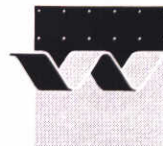
GEM, Fase 4

Calibratie pilottoepassingen en uitbreiding functionaliteit

A. Blauw
M. Bokhorst
F.J. Los



wl | delft hydraulics



OPDRACHTGEVER DG Rijkswaterstaat
 Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ)
 Kortenaerkade 1
 Den Haag

TITEL: GEM, fase 4
 Calibratie pilottoepassingen en uitbreiding functionaliteit

SAMENVATTING:

In het kader van het GEM-project (Generiek Estuarium Model) wordt in samenwerking met NIOZ, NIOO-CEMO, RIVO-DLO, RIKZ en WL|Delft Hydraulics een generiek model ontwikkeld voor de Nederlandse estuaria. In eerdere fasen van het project zijn een functioneel ontwerp, een technisch ontwerp en twee pilottoepassingen gemaakt. In deze fase van het GEM-project zijn deze pilottoepassingen gecalibreerd en is de functionaliteit van GEM uitgebreid met een alternatieve fytoplanktonmodule (BLOOM II), disaggregatie in ruimte en tijd en de modellering van primaire consumenten. Van deze fase zijn drie deelrapporten verschenen, die in dit rapport gebundeld zijn.

REFERENTIES: Contract nr. RKZ-463A
 brief: RIKZ/OS 986005 (19 juni 1998)

REV.	AUTEUR	DATUM	OPMERKINGEN	REVIEW	GOEDKEURING
	M. Bokhorst	nov. 1997	PL ipv auteur		
	A. N. Blauw	juli 1998			
	A. N. Blauw	okt. 1998			
	A. N. Blauw	okt. 1998		J. C. G. Smits	T. Schilperoort

TREFWOORDEN	INHOUD	STATUS
fytoplankton, estuarium, primaire productie, primaire consumptie, detritus, nutriënten, model, Westerschelde, zandzee	TEKST: 63 TABELLEN: 12 FIGUREN: 21 APPENDICES: 3 PROJECTNUMMER: Z2337	<input type="checkbox"/> VOORLOPIG <input type="checkbox"/> CONCEPT <input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF

Samenvatting

Het voorliggende rapport geeft verslag van de werkzaamheden die zijn uitgevoerd in het kader van het vierde GEM-project. De GEM-projecten betreffen de ontwikkeling van een Generiek Estuarium Model voor de Nederlandse brakke en zoute watersystemen. Eerdere GEM-projecten betroffen de realisatie van een functioneel ontwerp voor GEM (fase 1), gevolgd door een technisch ontwerp (fase 2) en een pilotversie voor twee watersystemen (fase 3). In deze vierde fase van het project zijn twee eerste pilottoepassingen geoperationaliseerd en ingeregeld en is gewerkt aan verdere uitbreidingen van de functionaliteit. Deze uitbreidingen betreffen disaggregatie in ruimte en tijd en de modellering van primaire consumenten.

De werkzaamheden zijn verdeeld over drie fasen, waarvan deelrapporten zijn verschenen. In dit definitieve verslag van het gehele project zijn de drie deelrapportages gebundeld.

De eerste fase bestond uit drie onderdelen. Het eerste was het calibreren van de pilottoepassingen voor de westelijke Waddenzee en de Westerschelde met de MONOD-module voor fytoplankton en de module 'eenvoudige bodem' voor de uitwisseling tussen het water en het sediment. Een tweede onderdeel was het uitvoeren van een literatuurstudie naar modelleermogelijkheden voor primaire consumenten door het NIOZ en RIVO-DLO. Het derde onderdeel betrof het opstellen van een technisch ontwerp voor de disaggregatie in ruimte en tijd van transport en processen.

Tijdens de tweede fase zijn de beide pilottoepassingen gecalibreerd met de alternatieve module voor fytoplankton: BLOOM. De resultaten van deze module waren duidelijk verschillend van de calibratie met de MONOD-module. Met name de gevoeligheid voor licht lijkt hierbij een grote rol te spelen.

In de derde fase is tenslotte een technisch ontwerp opgesteld voor de modellering van primaire consumenten in GEM en is de disaggregatie geïmplementeerd. Het technisch ontwerp is opgesteld op basis van de literatuurstudie in de eerste fase en een workshop met de deelnemende instituten aan het GEM-project.

In dit verslag zijn de rapportages van de drie deelprojecten achter elkaar gebundeld. Van de eerste fase zijn echter twee rapporten verschenen: één van de calibratie en één van het technisch ontwerp voor de disaggregatie. Dit laatste rapport is niet apart bijgevoegd maar is als hoofdstuk van de rapportage van deelrapport 3 opgenomen, bij de implementatie van de disaggregatie.

**Calibratie pilot GEM Westerschelde en
westelijke Waddenzee**

Inhoud

1	Inleiding	1-1
2	Modelbeschrijving.....	2-1
2.1	Procesformuleringen	2-1
2.2	Toepassing westelijke Waddenzee	2-1
2.2.1	Schematisatie en stoftransport	2-1
2.2.2	Belastingen.....	2-2
2.2.3	Randvoorwaarden	2-2
2.3	Toepassing Westerschelde.....	2-2
2.3.1	Schematisatie en stoftransport	2-2
2.3.2	Belastingen.....	2-5
2.3.3	Randvoorwaarden	2-5
2.4	Modelsturing	2-5
2.4.1	Zwevend stof.....	2-5
2.4.2	Instraling	2-5
2.4.3	Temperatuur	2-6
3	Aanpak van de calibratie.....	3-1
3.1	Uitgangspunten	3-1
3.2	Modellering fytoplankton.....	3-1
3.3	Aanpassing formuleringen	3-1
3.4	Calibratietraject.....	3-1
3.4.1	Afregeling westelijke Waddenzee.....	3-1
3.4.2	Afregeling Westerschelde	3-2
4	Resultaten.....	4-1
4.1	Westelijke Waddenzee.....	4-1
4.2	Westerschelde.....	4-3
5	Discussie	5-1
5.1	Westelijke Waddenzee.....	5-1
5.2	Westerschelde.....	5-2

6	Conclusies en aanbevelingen	6-1
7	Referenties	7-1
8	Figuren	8-1

Appendices

A Aangepaste formuleringen

I Inleiding

In 1993 werd door RIKZ het initiatief voor de ontwikkeling van het Generiek Estuarium Model (GEM) genomen. Deze ontwikkeling heeft de volgende doelstellingen:

- de realisatie van een breed gedragen en algemeen toepasbaar (generiek) ecosysteem model van estuaria ten behoeve van beleidsanalyse en beheer van estuaria,
- de realisatie van een kennisplatform in de vorm van het GEM, van waaruit toekomstige samenwerking in modelontwikkeling aangestuurd kan worden,
- en versterking van de samenwerking tussen Nederlandse kennisinstellingen (NIOZ, IBN-DLO, NIOO-CEMO, RIKZ en WL).

Aan de hand van het programma van eisen werd in 1994 de daadwerkelijke ontwikkeling gestart met als eerste stap de realisatie van het functionele ontwerp (overeenkomst RKZ-096). Daaropvolgend is het technisch ontwerp gerealiseerd (opdrachtbonnummer 22952177). Vervolgens is besloten een pilot implementatie van het GEM realiseren (overeenkomst RKZ-329). Deze pilotversie is medio juli 1997 beschikbaar gekomen (pilot GEM). Dit pilot GEM is voor een tweetal watersystemen geoperationaliseerd: de Westerschelde (onderdeel van overeenkomst RKZ-329) en de westelijke Waddenzee (opdrachtbonnummer 22971057).

Op basis van een inventarisatie van de wensen van de afzonderlijke partners, zijn er een viertal ontwikkelingslijnen vastgesteld, die met prioriteit worden aangepakt:

- Calibratie van het pilot-GEM,
- Ontwikkeling en implementatie van dynamische modules voor primaire consumenten,
- Implementatie van voorzieningen voor (dis)aggregatie van transport en processen,
- Incorporatie van macrofyten in het GEM.

RIKZ heeft WL opdracht gegeven in samenwerking met de betrokken instellingen de pilot versie van het GEM te calibreren voor de Westerschelde en de westelijke Waddenzee (overeenkomst RKZ-463). Dit rapport doet verslag van deze calibratie.

2 Modelbeschrijving

2.1 Procesformuleringen

Het pilot GEM is opgebouwd uit modules waarbij een aantal (alternatieve) modules dezelfde functionaliteit verzorgen: er zijn twee modules die de dynamica van het fytoplankton beschrijven en er zijn drie modules die de interactie tussen de waterkolom en het sediment beschrijven. Deze toepassing van het pilot GEM betreft de toepassing van de Monod type fytoplanktonmodule in combinatie met de sedimentmodule "eenvoudige bodem". Er is gerekend met twee algengroepen: diatomeeën en niet-diatomeeën. De modules voor microfytobenthos en primaire consumenten zijn niet ingezet. Voor een gedetailleerde beschrijving van de formuleringen van het pilot GEM wordt verwezen naar (WL, 1997a).

2.2 Toepassing westelijke Waddenzee

2.2.1 Schematisatie en stoftransport

De berekening van het stoftransport vindt plaats op basis van de schematisatie van het model ECOWASP (Brinkman, 1993). Figuur 8.1 geeft de ECOWASP schematisatie van de westelijke Waddenzee. De schematisatie kent twee open randen: Marsdiep en Vliestroom. Tabel 2.1 geeft de oppervlaktes, dieptes en volumina van de compartimenten. De volumina zijn niet gelijk aan de oppervlakte maal de diepte omdat het oppervlak een gemiddelde is over het getij, waarbij gedeelten van het compartiment tijdelijk droogvallen. Tabel 2.2 geeft de transporten tussen de compartimenten. De advectieve transporttermen staan voor de reststroming door het systeem. De dispersieve transporttermen staan voor de menging ten gevolge van het in- en uitgaande getij. Dit transport treedt op in beide richtingen.

<i>Compartiment</i>	<i>Oppervlakte (m²)</i>	<i>Diepte (m)</i>	<i>Volume (m³)</i>
1	1.63E+08	6.0	1.28E+09
2	2.22E+08	3.0	4.51E+08
3	2.12E+08	4.2	7.29E+08
4	2.48E+08	3.4	7.32E+08
5	2.58E+08	4.9	4.92E+08
6	2.59E+08	3.6	4.08E+08

Tabel 2.1 Dimensies ECOWASP schematisatie (Brinkman, 1993).

<i>Uitwisseling</i>	<i>Van</i>	<i>Naar</i>	<i>Advectief transport</i>	<i>Dispersief transport</i>
	<i>compartiment</i>	<i>compartiment</i>	<i>(m³/s)</i>	<i>(m³/s)</i>
1	1	2	405	4483
2	1	3	410	3232
3	2	3	405	570
4	3	4	815	831
5	4	5	981	644
6	5	6	166	1466
7	6	4	166	1216
8	-1	1	815	3144
9	-2	5	-815	4011

Tabel 2.2 Transporten ECOWASP schematisatie (Brinkman, 1993).

2.2.2 Belastingen

Regelmatig worden door de spuisluisen ter hoogte van Kornwerderzand en Den Oever grote hoeveelheden zoet water op de westelijke Waddenzee geloosd. Dit heeft tot gevolg dat er een grote aanvoer van nutriënten vanuit het IJsselmeer plaatsvindt. Deze aanvoer is geschat in het kader van het RIKZ project INPUT (Wulffraat et al., 1993). Op basis van deze gegevens is voor de periode 1987 t/m 1993 de meerjarig decadegemiddelde nutriëntbelasting berekend en ingevoerd in het model. Kleinere belastingen zoals effluentlozingen van RWZI's en polderlozingen zijn verwaarloosd. In figuur 8.3 worden de decadegemiddelde spuidebieten gegeven. In figuur 8.4 en figuur 8.5 wordt voor de beide spuisluisen het verloop van de nutriëntbelasting in de tijd gegeven. Deze belasting staat op de compartimenten 2 (Den Oever) en 4 (Kornwerderzand).

2.2.3 Randvoorwaarden

Met het in- en uitgaande getij wordt door de zeegaten Marsdiep en Vliestroom grote hoeveelheden nutriënten en detritus vanuit de Noordzee aangevoerd. Deze aanvoer is geschat op basis van berekeningen met het MANSeutro kuststrookmodel (WL, 1996b).

2.3 Toepassing Westerschelde

2.3.1 Schematisatie en stoftransport

De berekening van het stoftransport vindt plaats op basis van de schematisatie van het SAWES model (WL, 1995d). Dit model verdeelt het Belgische gedeelte van de Schelde tot aan Rupelmonde in 5 compartimenten. De indeling van het Nederlandse gedeelte van het estuarium bovenstreams van Vlissingen kent 9 compartimenten. Voor de kustzone worden 7 compartimenten onderscheiden (zie figuur 8.2). De schematisatie kent 9 open randen (Tabel 2.3). Tabel 2.4 geeft de oppervlaktes, dieptes en volumina van de compartimenten. Tabel 2.5 geeft de verbindingen tussen de compartimenten. De gegevens zijn ontleend aan de Jong, (1988) voor compartiment 1 tot en met 14 en aan de nautische kaart "Noordzee Vlaamse Banken - Hydrografische Dienst der Kust" voor de overige compartimenten.

De waterbeweging in het estuarium is gebaseerd op een 1-dimensionale zoetwaterbalans voor het jaar 1987. Tabel 2.6 geeft de afvoer van de Schelde te Rupelmonde in 1987.

Als gevolg van het in en uitgaande getij vindt er een intensieve menging plaats in het estuarium. Deze menging wordt beschreven middels dispersieve transporttermen. De grootte van de dispersie is geschat op basis van optredende chloridegehalten. De hierbij gehanteerde methodiek staat beschreven in WL (1995d). Tabel 2.7 geeft de grootte van het dispersief transport. Op basis van het optredende transport is de chloriniteit van het water gemodelleerd.

<i>Compartiment</i>	<i>Omschrijving</i>
1	bovenstroomse modelrand Rupelmonde
18	instroomrand Duinkerken, kustvak
19	instroomrand Duinkerken, zeevak
21	uitstroomrand Noordzee
15	uitstroomrand bij Walcheren

Tabel 2.3 Overzicht van de open modelranden (WL, 1995d).

<i>Compartiment</i>	<i>Volume</i> <i>[10⁶ m³]</i>	<i>Horizontaal oppervlak</i> <i>[10⁶ m²]</i>	<i>Diepte</i> <i>[m]</i>
1	27	3.0	9.0
2	32	3.1	10.4
3	59	6.4	9.3
4	29	2.9	10.1
5	70	7.8	9.0
6	74	9.8	7.5
7	58	6.6	8.7
8	87	14.4	6.0
9	106	14.4	7.4
10	158	13.4	11.9
11	313	34.7	9.0
12	300	30.3	9.9
13	594	49.4	12.0
14	873	63.6	13.7

Tabel 2.4 Dimensies SAWES schematisatie (excl. kustzone) (WL, 1995d).

<i>Van- compartiment</i>	<i>Naar- compartiment</i>	<i>Contact- oppervlak</i> <i>[10³ m²]</i>	<i>Afstand van- compartiment tot grensvlak</i> <i>[m]</i>	<i>Afstand naar- compartiment tot grensvlak</i> <i>[m]</i>
-1	1	4.0	3975	3975
1	2	4.0	3975	4150
2	3	5.0	4150	4800
3	4	7.0	4800	2550
4	5	11.0	2550	4850
5	6	14.5	4850	1175
6	7	16.5	1175	1800
7	8	25.0	1800	2850
8	9	33.5	2850	2650
9	10	37.0	2650	2950
10	11	42.0	2950	3450
11	12	47.5	3450	3100
12	13	67.5	3100	6050
13	14	77.5	6050	6650

Tabel 2.5 Verbindingen SAWES schematisatie (excl. kustzone) (WL, 1995d).

<i>Dag</i>	<i>Afvoer</i> <i>[m³/s]</i>
0	176
30	164
60	268
91	112
121	100
152	156
182	124
212	116
243	84
273	128
304	224
334	140
365	308

Tabel 2.6 Afvoer Schelde te Rupelmonde in 1987 (WL, 1995d).

<i>Van- compartiment</i>	<i>Naar- compartiment</i>	<i>Dispersief transport</i> [m ² /s]
-1	1	0
1	2	50
2	3	50
3	4	50
4	5	133
5	6	202
6	7	199
7	8	134
8	9	132
9	10	162
10	11	195
11	12	209
12	13	168
13	14	329

Tabel 2.7 Dispersief transport SAWES schematisatie (excl. kustzone) (WL, 1995d).

2.3.2 Belastingen

De belastingen zijn overgenomen van het SAWES model. Voor een uitgebreid overzicht wordt verwezen naar (WL, 1995d).

2.3.3 Randvoorwaarden

De belastingen zijn overgenomen van het SAWES model. Voor een uitgebreid overzicht wordt verwezen naar (WL, 1995d)..

2.4 Modelsturing

2.4.1 Zwevend stof

Het verloop van de zwevend stof concentratie is geschat op basis van metingen van Rijkswaterstaat in de westelijke Waddenzee en de Westerschelde (zie verder hoofdstuk 4).

2.4.2 Instraling

De instraling van licht aan het oppervlak van de waterkolom is op uurbasis berekend op basis van navolgende vergelijkingen (WL, 1997a). In de vergelijkingen is een lichtuur gedefinieerd als een uur waarin de instraling gemiddeld groter is dan $1 \mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. (E = Einstein, een kwantumeenheid voor licht. $1 \mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ komt overeen met circa 0.215 Watt/m^2 voor direct zonlicht.) De daglengte is gedefinieerd als het aantal ichturen per dag.

Deze wordt berekend als:

$$dl = 13.22 + 4.25 \sin(2\pi t / 365 - 1.396) \quad (1)$$

Waarbij:

$$\begin{array}{lll} dl & : & \text{daglengte} & [\text{uur}] \\ t & : & \text{tijd} & [\text{dag}] \end{array}$$

De gemiddelde instralingsflux tijdens de lichturen wordt berekend als:

$$I_{avg} = 405.0657 + 267.3135 \sin(2\pi t / 365 - 1.396) \quad (2)$$

Waarbij:

$$I_{avg} \quad : \quad \text{gemiddelde instralingsflux tijdens de lichturen} \quad [\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$$

Vervolgens wordt de uurgemiddelde instraling berekend volgens:

$$I_{hr} = I_{avg} (0.405 \sin(\pi t') + 1.493 \sin^2(\pi t')) \quad (3)$$

Waarbij:

$$I_{hr} \quad : \quad \text{uurgemiddelde instralingsflux} \quad [\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$$

en

$$t' = \frac{t - t_m}{dl} \quad (4)$$

Waarbij:

$$\begin{array}{lll} t & : & \text{tijd} & [\text{uur}] \\ t_{am} & : & \text{tijdstip eerste lichtuur} & [\text{uur}] \end{array}$$

2.4.3 Temperatuur

Op basis van metingen van Rijkswaterstaat voor de Noordzee is een meerjarig maandgemiddelde watertemperatuur berekend. Deze temperaturen zijn voor de westelijke Waddenzee overgenomen. Op basis van metingen van Rijkswaterstaat voor de Westerschelde is een meerjarig maandgemiddelde watertemperatuur berekend en gebruikt voor de Westerschelde toepassing.

3 Aanpak van de calibratie

3.1 Uitgangspunten

Een belangrijke doelstelling bij de ontwikkeling van het GEM is dat het model algemeen toepasbaar is voor estuariene watersystemen (genericiteit). Om dit aspect met betrekking tot de pilot GEM toepassing voor de westelijke Waddenzee en de Westerschelde te kunnen beoordelen moet worden onderzocht in hoeverre voor beide watersystemen middels calibratie een goede overeenkomst met veldgegevens kan worden gerealiseerd op basis van een identieke set van parameterwaarden. De calibratie heeft zich hier dan ook nadrukkelijk op gericht.

3.2 Modellerings fytoplankton

Voor de modellering van het fytoplankton is gebruik gemaakt van de Monod-module. Er zijn 4 algengroepen gemodelleerd: zoete diatomeeën, zoete flagellaten, marine diatomeeën en marine flagellaten.

3.3 Aanpassing formuleringen

De formuleringen zoals gerapporteerd in WL (1997a), zijn tijdens de calibratie op een aantal punten gewijzigd. De oude formuleringen bleken problematisch voor de calibratie. Deze betreffen de formuleringen voor primaire productie, lichtefficiëntie en mortaliteit. In Bijlage A worden de aangepaste formuleringen gegeven.

3.4 Calibratietraject

3.4.1 Afregeling westelijke Waddenzee

Startpunt voor de calibratie waren de resultaten van het project "Toepassing pilot GEM westelijke Waddenzee". Tijdens dit project is op basis van een initiële schatting van de modelparameters een berekening uitgevoerd waarvan de resultaten met meegegevens zijn vergeleken (WL, 1997b).

Uit de resultaten bleek dat de Noordzee randvoorwaarden voor nutriënten onvoldoende de berekende winterconcentraties beschreven. Deze zijn tijdens dit project aangepast.

Vervolgens heeft RIKZ een eerste afregeling van de Monod module gerealiseerd.

3.4.2 Afregeling Westerschelde

De parameterwaarden zoals gebruikt voor de westelijke Waddenzee zijn ongewijzigd overgenomen voor de Westerschelde toepassing. Vervolgens zijn twee parameters aangepast: de specifieke extinctie van zwevend stof en de mortaliteit van het fytoplankton.

Lichtklimaat

Voor de Westerschelde waren metingen van het doorzicht beschikbaar (zie verder hoofdstuk 4). Beeton (1958), Sverdrup et al. (1942) en vele anderen hebben een empirische relatie tussen doorzicht (gemeten met een Secchi-disk) en de extinctie van licht in de waterkolom opgesteld gegeven door:

$$K_d = \frac{1.7 \text{ tot } 1.9}{z_s}$$

Waarin :

K_d	=	Extinctiecoëfficiënt	$[m^{-1}]$
z_s	=	Doorzicht	$[m]$

Volgens deze formulering (met factor 1.8) is zijn metingen van doorzicht omgerekend naar extinctiecoëfficiënten.

Het model berekent de totale extinctie als:

$$K_d = K_b + k_{zs} \cdot c_{zs} + k_{det} \cdot c_{det} + k_{phyt} \cdot c_{phyt}$$

Waarin :

K_d	=	Extinctiecoëfficiënt	$[m^{-1}]$
K_b	=	Achtergrondsextinctie	$[m^{-1}]$
k_{zs}	=	Specifieke extinctie zwevend stof	$[m^2 \cdot g]$
k_{det}	=	Specifieke extinctie detritus	$[m^2 \cdot g]$
k_{phyt}	=	Specifieke extinctie fytoplankton	$[m^2 \cdot g]$
c_{zs}	=	Concentratie zwevend stof	$[g \cdot m^3]$
c_{det}	=	Concentratie detritus	$[gC \cdot m^3]$
c_{phyt}	=	Concentratie fytoplankton	$[gC \cdot m^3]$

Door de specifieke extinctie voor zwevend stof te variëren is getracht de op basis van doorzicht de geschatte lichtextinctie te reproduceren. Hiermee is de specifieke lichtextinctie van zwevend stof verhoogd van $0.06 m^{-1}$ naar $0.08 m^{-1}$. De resultaten worden besproken in hoofdstuk 0.

Primaire produktie

Door een modelberekening zonder fytoplanktongroei te vergelijken met metingen is vastgesteld in welke mate opgelost silicium in het estuarium wordt vastgelegd in diatomeeën. Aangezien de fytoplanktonpopulatie van de Westerschelde voor 80% en vaak voor meer dan 99% uit diatomeeën bestaat (de Pauw, 1974) is dit gegeven indirect een schatter voor de primaire produktie. Vervolgens is op basis van een vergelijking tussen gemeten en berekende chlorofylgehalten de mortaliteit van het fytoplankton afgeregeld. Deze is afhankelijk gemaakt van de chloriniteit gegeven de zoutstress die het fytoplankton in het bovenstroomse deel van het beneden-estuarium ondervindt (zie voor de formuleringen bijlage A).

Modelparameters

De modelresultaten worden besproken in het hoofdstuk 4. Deze resultaten zijn berekend op basis van de parameterwaarden in tabel 3.9 (voor fytoplanktongroei) en 3.10 (voor waterkwaliteitsprocessen). Voor beide watersystemen is met dezelfde set van parameters gerekend.

<i>Parameter</i>	<i>Omschrijving</i>	<i>Eenheid</i>
Iopt	optimum light intensity at which $P = P_{m_{algi}}$	$[W \cdot m^{-2}]$
schl	initial slope of production function	$[gC \cdot gChl \cdot m^{-2} \cdot hr^{-1} \cdot W^{-1}]$
Pm10	maximal gross production rate at 10 degrees Celsius	$[d^{-1}]$
Kni	nitrate based limitation	$[g \cdot m^{-3}]$
Kam	ammonium based limitation	$[g \cdot m^{-3}]$
Kpho	phosphorus based limitation	$[g \cdot m^{-3}]$
Ksi	silicate based limitation	$[g \cdot m^{-3}]$
am,chl	minimum carbon chlorophyll ratio	$[C \cdot Chl^{-1}]$
b,chl	scaling exponent for growth limitation effect carbon chlorophyll ratio	[-]
ktgp	temperature effect gross production	[-]
rmt10	maintenance respiration rate	$[d^{-1}]$
rpr	growth respiration fraction	[-]
rt	temperature coefficient for respiration	[-]
bexc	maximum excretion fraction	[-]
mtmp10	temperature driven mortality rate at 10 degrees celsius	$[d^{-1}]$
mtmp	temperature coefficient for mortality	[-]

Tabel 3.8 Parameters Monod type fytoplanktonmodule.

<i>Parameter</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>	<i>Waarde</i>	<i>Eenheid</i>	<i>Bron</i>
lopt	100	120		[W·m ⁻²]	Scholten en van der Tol, 1994
schl	0.05	0.60		[gC·gChl·m ² ·hr ⁻¹ ·W ⁻¹]	Scholten en van der Tol, 1994
Pm10	1.75	10		[d ⁻¹]	MESOCOSM
Kni	0.1	0.2		[g·m ⁻³]	MESOCOSM
Kam	0.001	0.01		[g·m ⁻³]	MESOCOSM
Kpho	0.001	0.01		[g·m ⁻³]	MESOCOSM
Ksi	0.005	0.1		[g·m ⁻³]	MESOCOSM
am,chl	7.5	25		[C·Chl ⁻¹]	MESOCOSM
b,chl	0.4	1			Scholten en van der Tol, 1994
ktgp	1.05	1.09		[-]	Scholten en van der Tol, 1994
rmt10	0.03	0.05		[d ⁻¹]	MESOCOSM
rpr	0.2	0.45		[-]	MESOCOSM
rt	1.07	1.12		[-]	wL, 1995c
bexc	0.2	0.55		[-]	MESOCOSM
mtmp10	0.25	0.35		[d ⁻¹]	wL, 1995c
mtmp	1.07	1.12		[-]	wL, 1995c

Tabel 3.9 Parameterwaarden Monod type fytoplanktonmodule.

<i>Parameter</i>	<i>waarde</i>	<i>Omschrijving</i>	<i>eenheid</i>
SWRear	1	The appropriate formula for reaeration is chosen by a switch .	(-)
KLRear	1.074	mass transport coefficient for reaeration	(m.d-1)
TCRear	1	temperature coefficient reaeration	(-)
RCBODC	0.163	reaction rate BOD (first pool) at 20°C	(d-1)
TCBODC	1.07	temperature coefficient BOD	(-)
OOXBODC	10	optimum oxygen concentration: above this value the oxygen function becomes 1.0	(g.m-3)
COXBODC	0	critical oxygen concentration:	(g.m-3)
RCNit	0.1712	reaction rate constant at 20°C	(d-1)
TCNit	1.1	temperature coefficient for nitrification	(-)
OOXNit	10	optimum oxygen concentration: above this value the oxygen function becomes 1.0	(g.m-3)
COXNit	0	critical oxygen concentration:	(g.m-3)
CTNit	0	temperature coefficient	(-)
CFLNit	0.21	value of the oxygen function for oxygen levels below the critical oxygen concentration	(-)
CurvNit	-0.8651	factor that determines curvature between COXNit and OOXNit (-1 < Curv < 0)	(-)
RCDenSed	0.0545	first-order denitrification rate constant in sediment	(m.d-1)
TCDen	1	temperature coefficient for denitrification	(-)
CTDen	0	critical temperature for denitrification	(°C)
RCDenWat	0.0269	first-order denitrification rate constant water column	(d-1)
TCDenWat	1.07	temperature coefficient for denitrification	(-)
OOXDen	0	optimal oxygen concentration for denitrification	(g.m-3)
COXDen	3	critical oxygen concentration for denitrification	(g.m-3)
Curvat	2.1804	curvature factor for O2Func between OOXDEN and COXDEN	(-)
VSedIM	0	sedimentation velocity of inorganic matter	(m.d-1)
VSedPOC	0.5	sedimentation velocity of particular organic carbon	(m.d-1)
VSedAlg	0.5	sedimentation velocity of algae	(m.d-1)
DifCoef	1.00E-04	Diffusion coefficient	(m ² .s-1)
TIM	10	Concentration total inorganic matter	(g.m-3)
Poros	1	Porosity of sediment	(-)
ExtVIBak	0	Background extinction	(m-1)
ExtVIIM1	0.08	specific extinction coefficient IM1	(m ² .gDW-1)
SWAdsP	2	The appropriate formula for adsorption of phosphorus is chosen by a switch	(-)

Tabel 3.10 parameterwaarden voor waterkwaliteitsprocessen.

4 Resultaten

4.1 Westelijke Waddenzee

De resultaten worden vergeleken met meetgegevens voor twee locaties: Doove Balg West, (figuur 8.6, WZ110) en Blauwe Slenk Oost (figuur 8.7, WZ230). Van de metingen uit de periode 1987 t/m 1993 zijn het gemiddelde, de mediaan en de 12.5 en 87.5 percentiel waarden berekend. Locatie Doove Balg West wordt vergeleken met het gemiddelde van de modelresultaten voor de compartimenten 1, 2 en 3 en locatie Blauwe Slenk Oost wordt vergeleken met het gemiddelde van de modelresultaten voor de compartimenten 4, 5 en 6.

Zwevend stof

Zwevend stof is een "forcing function". Voor zwevend stof wordt het gemiddelde verloop middels sinus functies goed beschreven. Aan het eind van het jaar wordt de zwevend stof concentratie voor de locatie Blauwe Slenk Oost overschat.

Nutriënten Doove Balg West

Nitrat bereikt in februari een maximum van $1.5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. Vervolgens daalt de concentratie waarbij nitrat regelmatig limiterende concentraties bereikt ($< 0.15 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$) gedurende de periode mei tot september. Na september zet een stijging in naar het winterniveau van februari. Ammonium heeft een maximum in de maanden oktober en november van $0.2 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. Vervolgens daalt de concentratie naar een minimum in april van $0.02 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. Gedurende de zomer neemt de concentratie gemiddeld genomen iets toe. Gedurende de zomerperiode zijn regelmatig limiterende concentraties ($< 0.005 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$) gemeten. Vanaf augustus stijgt de concentratie naar het najaarsmaximum.

Ortho-fosfaat bereikt een maximum van $0.06 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ in januari/februari. Vervolgens daalt de concentratie naar een minimum in mei van $0.01 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. Alleen in mei zijn heel incidenteel limiterende concentraties gemeten ($< 0.005 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$). Vanaf mei stijgt de concentratie naar een niveau van $0.04 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ rond augustus. Dit niveau blijft gehandhaafd gedurende rest van het jaar.

Opgelost silicium kent een maximum van $1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ in de maand februari. Vervolgens daalt de concentratie naar een minimum van ca. $0.05 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ in april. T/m augustus blijven de concentraties ongeveer op dit niveau. Er zijn regelmatig limiterende concentraties gemeten ($< 0.07 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$) gedurende de periode april tot augustus. Na augustus stijgen de concentraties naar het maximum van februari.

Het verloop van de nitratconcentratie wordt door het model redelijk gereproduceerd, zij het dat het winterniveau iets aan de lage kant is. Het berekende winterniveau van ortho-fosfaat is overeenkomstig de waarnemingen. De berekende zomerniveaus zijn echter veel

te laag: het model berekent een langdurige uitputting. Het jaargemiddelde niveau van ammonium wordt door het model goed beschreven. Echter de toename aan het eind van het jaar wordt in het geheel niet gereproduceerd. Het verloop van de opgelost siliciumconcentratie wordt door het model goed berekend. De berekende uitputting zet aan het eind van de zomer iets te lang door.

Nutriënten Blauwe Slenk Oost

Nitraat bereikt in februari een maximum van $1.2 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. Vervolgens daalt de concentratie gevolgd door een periode van mei t/m september waarin de concentraties regelmatig limiterend zijn ($<0.15 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$). Ammonium heeft een maximum concentratie in november van $0.2 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. Vervolgens daalt de concentratie waarbij gedurende de zomer regelmatig limiterende concentraties zijn gemeten ($<0.005 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$).

Ortho-fosfaat bereikt een maximum van $0.05 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ in januari. Vervolgens daalt de concentratie naar een niet limiterend minimum in april van $0.015 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. Vanaf april stijgen de concentraties naar een maximum niveau van $0.04 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ tijdens juli, augustus en september. Vervolgens daalt de concentratie enigszins waarna een stijging naar het wintermaximum inzet.

Opgelost silicium kent een maximum van $1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ gedurende de maanden januari en februari. Vervolgens daalt de concentratie waarbij gedurende de periode april t/m augustus regelmatig limiterende concentraties zijn gemeten ($<0.07 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$). Vervolgens stijgt de concentratie vanaf augustus naar het winterniveau.

Het winterniveau van nitraat wordt correct berekent. Gedurende de periode mei tot juli is de berekende concentratie te hoog. Het verloop van de siliciumconcentratie wordt goed gereproduceerd. Voor ammonium en ortho-fosfaat worden in grote lijnen dezelfde afwijkingen gevonden als voor station Doove Balg West.

Chlorofyl Doove Balg West

Chlorofyl kent een winterconcentratie van $3 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. In de loop van het voorjaar neemt de concentratie toe naar een niveau van $20 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ in mei. Gedurende de zomer en het najaar daalt de chlorofylconcentratie naar het winterniveau. De variabiliteit is erg groot.

Het model berekent tijdens het groeiseizoen een chlorofylniveau dat gemiddeld genomen goed overeenkomt met de metingen. Het tijdstip waarop de groei start komt eveneens redelijk overeen met de waarnemingen. Het model berekent een twee-toppig verloop met maxima in het voorjaar en het najaar. Dit verloop wordt in de metingen niet teruggevonden. De chlorofylniveaus zijn tijdens de zomermaanden te laag.

Chlorofyl Blauwe Slenk Oost

Chlorofyl kent een winterconcentratie van $3 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. Gedurende het groeiseizoen loopt deze langzaam op naar ca. $20 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Het model berekent tijdens de zomer een chlorofylniveau die gemiddeld genomen lager is dan de metingen. Het tijdstip waarop de groei start komt redelijk overeen met de waarnemingen.

4.2 Westerschelde

NIOO-CEMO heeft in de periode van 1982 t/m 1987 een aantal waterkwaliteitsparameters routinematig bemonsterd. Deze betreffen temperatuur, doorzicht, chloride, nutriënten (ammonium, nitraat, opgelost silicium en ortho-fosfaat), zuurstofverzadiging en chlorofyl-I. De monsterfrequentie was (in principe) maandelijks. Monsternamen vond plaats op een 11-tal locaties (zie figuur 8.8). De meetgegevens worden in Bokhorst (1988) besproken. Van de metingen het gemiddelde, de mediaan en de 12.5 en 87.5 percentiel waarden berekend. Deze gegevens staan in de navolgende figuren samen met de individuele metingen voor 1987 en de modelresultaten gepresenteerd (figuur 8.9)

Extinctie

Van de Belgische grens naar de monding vertoont de extinctie een gradiënt van ca. 4 m^{-1} naar ca. 2.5 m^{-1} . De variabiliteit is hoog. Tijdens de zomer is de extinctie gemiddeld genomen lager dan gedurende de winter. Opvallend zijn de lage extincties tijdens 1987. De modelresultaten laten zien dat met name gedurende het groeiseizoen van het fytoplankton de geschatte extinctie goed wordt gereproduceerd (zie figuur 8.9).

Chloride

In de metingen vertoont chloride een gradiënt van ca. $2000 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ op het meest bovenstroomse meetpunt naar ca. $15000 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ aan de monding. De variabiliteit in de tijd neemt richting monding af. Bij de monding in zee blijft de chlorideconcentratie gedurende het gehele jaar constant op ca. $14000 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. Aan de monding wordt de concentratie sterk beïnvloed door de rivierafvoeren en de menging met het brakke water dat vanuit zee binnendringt. In 1987 was het aandeel zoet water groter in vergelijking tot het gemiddelde van de gehele periode.

Het model reproduceert de gradiënt in chloride goed met name in de eerste helft van het jaar (figuur 8.10). In de eerste helft van het jaar liggen de metingen uit 1987 nog redelijk dicht bij het gemiddelde. In de tweede helft van het jaar tonen zowel de metingen van 1987 als de modelresultaten lagere chlorideconcentraties dan het meerjarig gemiddelde. Het gebruik van de relatief hoge rivierafvoeren van 1987 maakt het model in de tweede helft van het jaar dus te zoet ten opzichte van het meerjarig gemiddelde.

Nutriënten

Ammonium en nitraat

Ammonium en nitraat vertonen beide een duidelijke seizoensdynamiek. Voor beide nutriënten zijn gedurende de winter de concentraties het hoogst. Voor ammonium neemt gedurende het voorjaar de concentratie af en blijft gedurende de zomer en herfst op een

lager niveau. Pas aan het eind van het jaar nemen de concentraties weer toe. Nitraat vertoont een andere seizoensdynamiek. In vergelijking tot ammonium nemen de concentraties op een later tijdstip af en eerder in het seizoen weer toe. Uitgaande van de winterconcentraties van de Belgische grens naar de monding vertoont ammonium een gradiënt van ca. $4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ naar ca. $0.5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ en nitraat een gradiënt van $4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ naar $2 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. Uitgaande van een beperking van de maximale groei met 50 % bij concentraties lager dan $0.15 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ voor nitraat en $0.005 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ zijn de stikstofconcentraties nooit limiterend voor de groei van het fytoplankton.

Het model reproduceert de ammoniumconcentraties gedurende de winter goed (zie figuur 8.11). De winterconcentratie van nitraat wordt vanaf Waarde richting monding eveneens goed gereproduceerd (zie figuur 8.12). Meer stroomopwaarts wordt deze overschat. Tijdens het groeiseizoen wordt nitraat onderschat en ammonium overschat.

Ortho-fosfaat

Ook ortho-fosfaat vertoont seizoensdynamiek. Aan het begin van het jaar zijn de concentraties het hoogst. In de loop van het voorjaar dalen de concentraties naar een minimum in mei. Vanaf mei stijgen de concentraties geleidelijk terug naar het winterniveau. De seizoensdynamiek is meest geprononceerd voor de individuele metingen van 1987. In mei worden minimumconcentraties gemeten die veelal een factor 2 lager liggen dan het gemiddelde. Uitgaande van de winterconcentraties vertoont ortho-fosfaat tussen de Belgische grens en de monding een gradiënt van ca. $0.4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ naar ca. $0.25 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. Uitgaande van een beperking van de maximale groei met 50 % bij concentraties lager dan $0.005 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ is ortho-fosfaat nooit limiterend voor de groei van fytoplankton.

Het winterniveau wordt door het model goed gereproduceerd (zie figuur 8.13). Ook de berekende seizoensdynamiek kent eenzelfde verloop als de metingen. Het minimum van mei 1987 wordt niet gehaald.

Opgelost silicium

Opgelost silicium vertoont een geprononceerde seizoensdynamiek. Maximum concentraties worden gemeten in tijdens de winter en vanaf maart zet een daling waarbij een minimum wordt bereikt in juni. Vervolgens stijgen de concentraties terug naar de winterconcentratie. De individuele metingen van 1987 laten daling zien die sneller inzet en waarbij lagere niveaus worden bereikt. Uitgaande van de winterconcentraties vertoont opgelost silicium tussen de Belgische grens en de monding van het estuarium een daling van ca. $6 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ naar ca. $2 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. Uitgaande van een beperking van 50 % van de maximale groei bij een concentratie van $0.07 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ bereikt silicium vanaf station Hoedekenskerke regelmatig niveaus waarbij de groei van diatomeeën is gelimiteerd.

Het winterniveau wordt door het model uitstekend gereproduceerd (zie figuur 8.14). Eveneens in overeenstemming met metingen wordt vanaf Hoedekenskerke stroomopwaarts siliciumlimitatie berekend. In de tweede helft van het jaar wordt de siliciumconcentratie door het model overschat.

Chlorofyl

De metingen van chlorofyl van het jaar 1987 zijn in het groeiseizoen hoger dan het meerjarig gemiddelde. Het verloop van de chlorofylpiek vertoont in 1987 een gradiënt van het bovenstroomse deel richting de monding. In het bovenstroomse deel worden de hoogste chlorofylconcentraties gemeten in mei en juni. In het middendeel van het estuarium is er in mei een steile piek te zien, waarna de concentraties in juni alweer bijna op het meerjarig gemiddelde liggen. Bij de monding worden de hoogste concentraties gemeten in het voorjaar: april en mei.

Het model berekent in het bovenstroomse deel te lage concentraties ten opzichte van de metingen van 1987 (zie figuur 8.15). In het middendeel van het estuarium worden de hoge concentraties in mei redelijk gereproduceerd. In de maanden daarna neemt de piek echter niet voldoende snel af, waardoor het model systematisch te hoge concentraties berekent. Bij de monding is het model in het voorjaar redelijk in overeenkomst met het meerjarig gemiddelde, maar worden de hoge metingen van 1987 niet gereproduceerd. De piek wordt te laat berekend en houdt te lang aan.

5 Discussie

5.1 Westelijke Waddenzee

Externe belasting

De winterconcentraties van de nutriënten worden vooral bepaald door de uitwisseling met de Noordzee als gevolg van het in- en uitgaande getij en de aanvoer vanuit het IJsselmeer. Gegeven de overeenkomst tussen berekende en gemeten winterconcentraties geeft het model een goede schatting van de aanvoer van opgeloste nutriënten gedurende de winter.

Gedurende de zomer vindt een netto aanvoer van nutriënten plaats in de vorm van detritus dat bezinkt op de rustiger delen van het wad. De concentraties van detritus aan de randen met de Noordzee zijn geschat op basis van modelresultaten. De aanvoer vanuit het IJsselmeer is geschat op basis van metingen. Echter in hoeverre deze externe belasting goed wordt geschat kan niet worden geverifieerd op basis van de thans beschikbare metingen.

Voor wat betreft de aanvoer vanuit het IJsselmeer zou een uitbreiding van het model met chloride hieromtrent meer zekerheid kunnen geven. Het spuiregime kent een seizoensverloop die in de metingen van chloride terug wordt gevonden. Verder laten de metingen een duidelijke ruimtelijke gradiënt zien.

Primaire produktie

Gedurende het voorjaar is de hoeveelheid beschikbaar licht de belangrijkste factor voor de fytoplanktongroei. Vanaf mei is dit niet meer het geval en wordt de groei voornamelijk nutriëntgestuurd met stikstof als de belangrijkste groeibeperkende factor voor het fytoplankton. Fosfaat is daarentegen bijna nooit groeibeperkend (heel soms in mei). Vanaf april is de groei van diatomeeën beperkt door een gebrek aan silicium. In het voorjaar bereikt ortho-fosfaat in samenhang met de opkomst van de voorjaarsbloei een minimum. Omdat de fytoplanktongroei voornamelijk door de beschikbaarheid van stikstof wordt gestuurd neemt gedurende de zomer de concentratie van het ortho-fosfaat gestaag toe als gevolg van de regeneratie vanuit organische stof in het sediment en de versterkte nalevering vanuit de gereduceerde bodem.

In tegenstelling tot bovenstaande waarnemingen berekent het model gedurende de zomer een langdurige uitputting van ortho-fosfaat. De fytoplanktongroei in het model is hiermee fosfaat gestuurd waardoor ammonium aanvankelijk wordt overschat. Opgelost silicium als potentieel limiterende factor voor de groei van diatomeeën wordt heel redelijk gemodelleerd.

Het feit dat de fytoplanktongroei in het model fosfaat-gestuurd is duidt erop dat de belasting van het systeem met fosfaat te laag wordt geschat. We zagen reeds dat de winterconcentraties van ortho-fosfaat adequaat worden beschreven. De afwijking moet dan ook worden gezocht in een te lage externe belasting met organisch materiaal gedurende de zomer en een te lage interne belasting door regeneratie van organische stof in het sediment.

Chlorofyl, als indicator voor de hoeveelheid biomassa van het fytoplankton, wordt routinematig gemeten en wordt daarom in GEM expliciet gemodelleerd. Het moge duidelijk zijn dat wanneer bovengenoemde afwijking in het model wordt gecompenseerd, de modelresultaten met betrekking tot chlorofyl hiermee behoorlijk kunnen veranderen. Verder is een belangrijk verliesproces voor fytoplankton, graas door zoöplankton en benthische filterfeeders nog niet in het model meegenomen. Dit geldt tevens voor een ander belangrijk onderdeel van het Waddenzee-ecosysteem, de primaire produktie door het microfytobenthos. Deze wordt geschat als ruwweg gelijk aan de primaire produktie van het fytoplankton. Dit alles maakt dat het in dit stadium weinig zinvol is de berekende chlorofylgehalten verder te bespreken.

5.2 Westerschelde

Transport

In 1987 is de afvoer van de Schelde relatief hoog: extreem hoge afvoeren in maart en november en de afvoeren tijdens de zomer zijn 2 keer zo hoog dan normaal. Dit uit zich in de metingen van chloride die met name in de tweede helft van het jaar regelmatig lager zijn dan de 15-percentiel waarden. Voor de Westerschelde is chloride gemodelleerd. Deze modellering gaf een goede overeenkomst tussen de berekende en gemeten gehalten voor 1987 voor de gehele lengte van het beneden-estuarium (ca. 75 km van monding tot aan Belgische grens). Dit geeft aan dat de bovenstroomse aanvoer van zoet water en de menging hiervan met zout water vanuit de kustzone als gevolg van het in- en uitgaande getij goed wordt beschreven. Dit wordt verder ondersteund door de goede overeenkomst tussen de gemeten en berekende nutriëntconcentraties tijdens de winterperiode, een periode waarin deze concentraties voornamelijk door transport worden bepaald.

Externe belasting

De Westerschelde kent een hoge externe belasting als gevolg van een complex van lozingen van RWZI effluent in het estuarium zelf en bovenstrooms. Verder wordt een groot deel van de rioolafwatering ongezuiverd geloosd waarmee een grote aanspraak wordt gedaan op het zelfreinigend vermogen van het watersysteem. Hierdoor treden over de lengte van het estuarium grote gradiënten in macro-nutriënten en detritus op.

Primaire produktie

Hierdoor wordt de primaire produktie in de Westerschelde voornamelijk bepaald door de hoeveelheid beschikbaar licht en de zoutstress die de algen ondervinden door variaties in zoutgehalte. Nutriënten zijn van ondergeschikt belang, deze zijn altijd in overmaat

beschikbaar. Uitzondering hierop is opgelost silicium waarvoor van de monding tot halverwege het beneden-estuarium met enige regelmaat groeibeperkende concentraties zijn gemeten.

De door het model berekende lichtextinctie is afgeregeld op basis van gemeten Secchi-disk dieptes. Hieruit blijkt dat het lichtklimaat in de Westerschelde gemiddeld ongunstig is voor fytoplanktongroei. Dit in combinatie met extra mortaliteit ten gevolge van zoutstress geeft dat de netto produktie in het systeem laag is.

De chlorofylgehalten worden overschat. Blijkbaar zijn de belangrijkste sturende factoren voor de primaire produktie in de Westerschelde nog niet goed genoeg gemodelleerd: de zoutstress en de relatie tussen de groei en het lichtklimaat. Het lichtklimaat zelf komt in het groeiseizoen goed overeen met de metingen.

Andere mogelijkheden voor verbetering liggen in de koolstof-chlorofyl-ratio en bezinking. In het model is de koolstof-chlorofyl ratio een functie van lichtlimitatie en nutriëntlimitatie. Met name doordat er geen nutriëntlimitatie optreedt, berekend het model het gehele groeiseizoen een minimale ratio. Verder is verlies van fytoplankton als gevolg van bezinking niet gemodelleerd. Dit proces leidt tot een aanzienlijke verlaging van de fytoplanktonbiomassa in de waterkolom.

6 Conclusies en aanbevelingen

Op basis van het voorgaande kunnen de volgende conclusies worden getrokken en aanbevelingen worden gedaan;

- In vergelijking tot de modelresultaten op basis van een eerste schatting van de modelparameters, randvoorwaarden en belastingen is de performance van het model aanzienlijk verbeterd.
- Het pilot GEM is toegepast op een licht en een nutriënt-gestuurd systeem op basis van een identieke set van parameterwaarden (met als uitzondering de specifieke extinctie van zwevend stof). Dit om zoveel mogelijk aan de doelstelling van genericiteit te voldoen.
- Gegeven de doelstelling door actieve betrokkenheid van de deelnemende instituten een breed gedragen ecosysteem te ontwikkelen wordt aanbevolen een verdere calibratie in samenwerking met de betrokken instituten uit te voeren. Gegeven de huidige resultaten van het model kan middels een aantal “hands on” sessies een constructieve samenwerking worden gerealiseerd.
- Er wordt aanbevolen het model verder uit te breiden met (bestaande) modules voor primaire produktie van microfytobenthos en graas door zoöplankton en benthische filterfeeders (als forcing function).
- De sediment-water uitwisseling is op sterk vereenvoudigde wijze gemodelleerd. Hiermee wordt de interne teruglevering waarschijnlijk onvoldoende realistisch beschreven. Het pilot GEM kent alternatieve sedimentmodules die een realistischer beschrijving van de terugleveringsfluxen kunnen geven.

7 Referenties

Beeton, A.M., 1958.

Relationship between Secchi disk readings and light penetration in Lake Huron.
American Fisheries Society Trans. 87: 73-79.

Bokhorst, M., 1988.

Inventarisatie van een aantal a-biotische factoren in de Westerschelde..
Studentenverslag D6-1988

Brinkman, A.G., 1993.

Biological processes in the ECOWASP ecosystem model.
IBN Research report 93/6.

de Jong, H., 1988.

Berekening van inhouden en oppervlakten van de Schelde en de Westerschelde t.b.v. SAWES
Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, notitie GWAO-88.1314, september 1988.

Klepper, O., Tol, W.M. van der, Scholten, H. and Herman, P.M.J., 1994.

SMOES: a simulation model for the Oosterschelde ecosystem Part 1: Description and uncertainty analysis.
Hydrobiologia, 282/283: 437-451.

Pauw, N. de, 1974.

Bijdrage aan milieu en plankton in het Westerschelde-estuarium.
Doktoraalverslag Rijksuniversiteit Gent.

Scholten, H., Tol, W.M. van der, 1994.

SMOES: a simulation model for the Oosterschelde ecosystem Part 2: Calibration and validation.
Hydrobiologia, 282/283: 453-474.

Sverdrup, H.U., Johnson, M.W., Fleming, R.H., 1942.

The oceans.
Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1087 p.

WL, 1995a.

Verfijning schematisatie kuststrook in MANS modellen
WL rapport T1222.

WL, 1995b.

KSENOS, Aanpassing en uitbreiding van het modelinstrumentarium MANS voor toxische stoffen en eutrofiëring in de Noordzee en de Nederlandse kustwateren.
WL rapport, T1236.

WL, 1995c.

DELWAQ technical reference of the process library (version 4.2).
WL rapport, november 1995.

WL, 1995d.

Beleidsondersteunend systeem voor het waterkwaliteitsbeheer van het estuarium van de schelde en de kustzone.

WL rapport, december 1995.

WL, 1996a.

Meetstrategie 2000+

WL rapport Z2066.

WL, 1996b.

Pilot toepassing vernieuwde MANSeutro.

WL rapport T1629

WL, 1997a.

GEM, a generic Ecological Model for Estuaries (pilot version 1.00).

WL rapport T2087

WL, 1997b.

Toepassing pilot GEM westelijke Waddenzee.

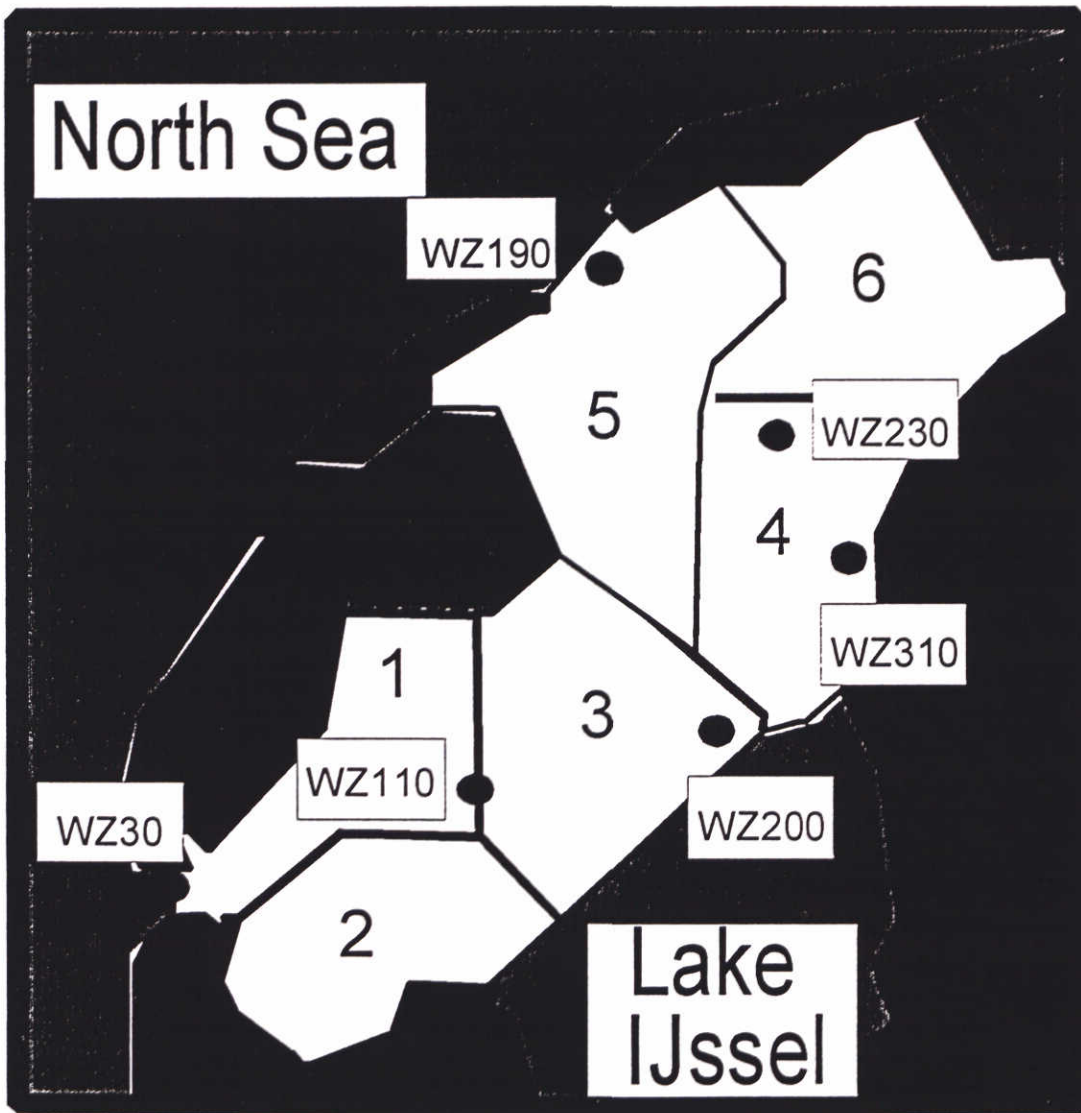
WL rapport Z2274

Wulfraat, K.J., et al. 1993.

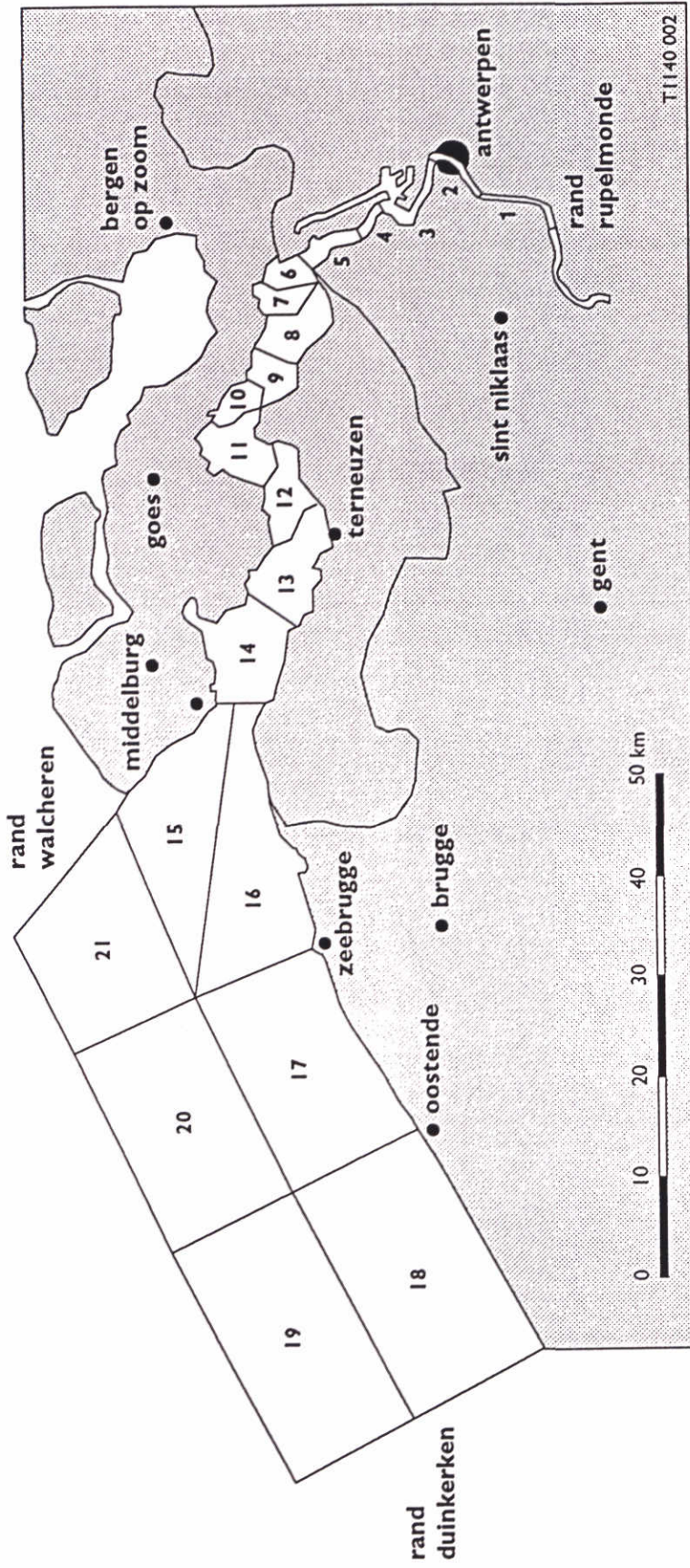
De belasting van de Noordzee met verontreinigende stoffen 1980-1990.

RIKZ rapport, DGW-93.037.

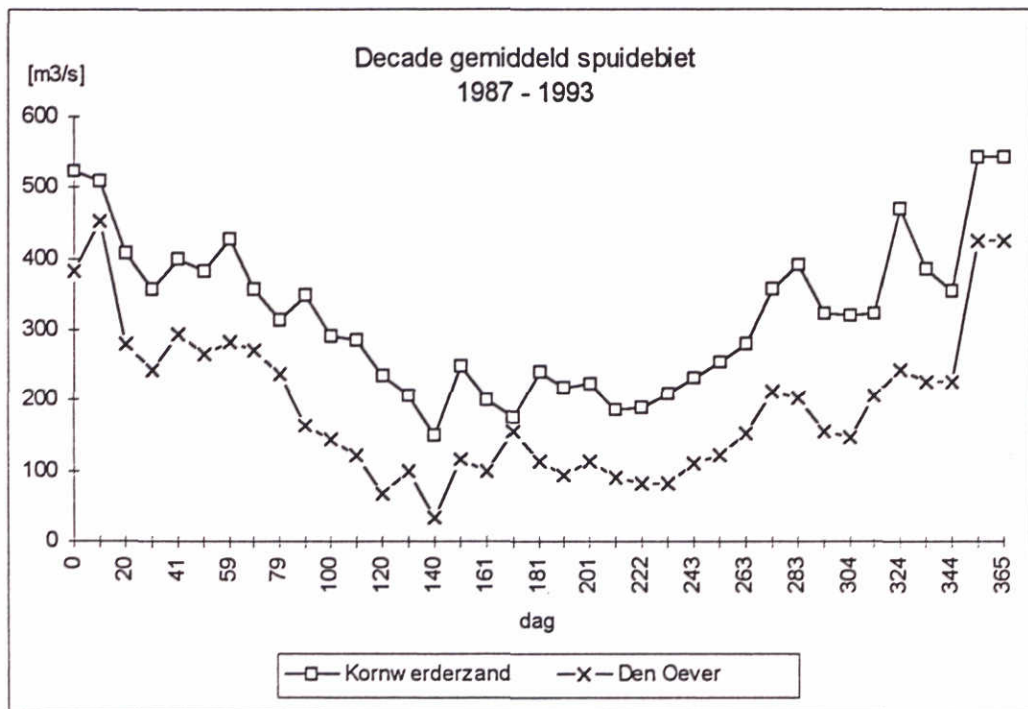
8 Figuren



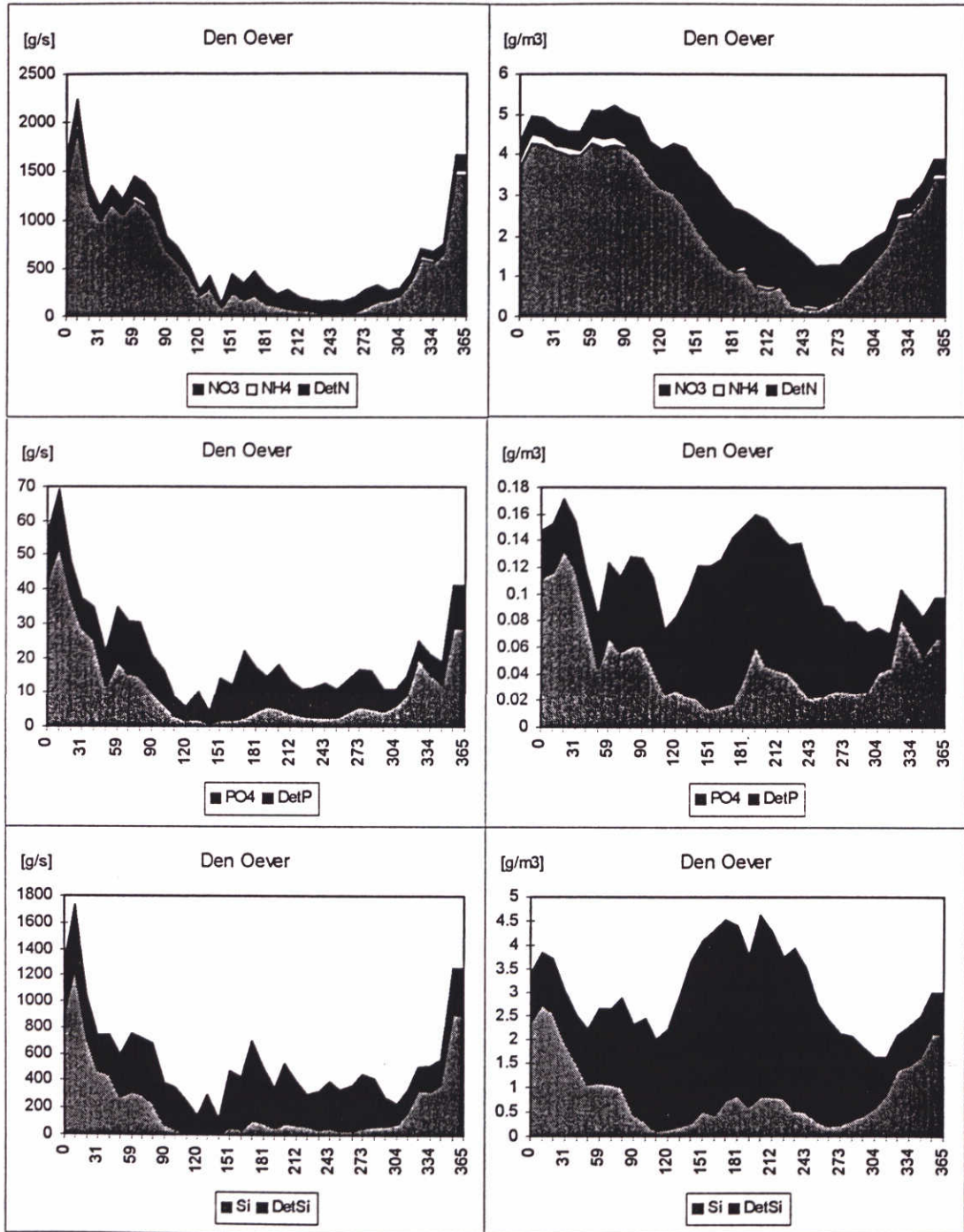
Figuur 8.1 ECOWASP schematisatie westelijke Waddenzee.



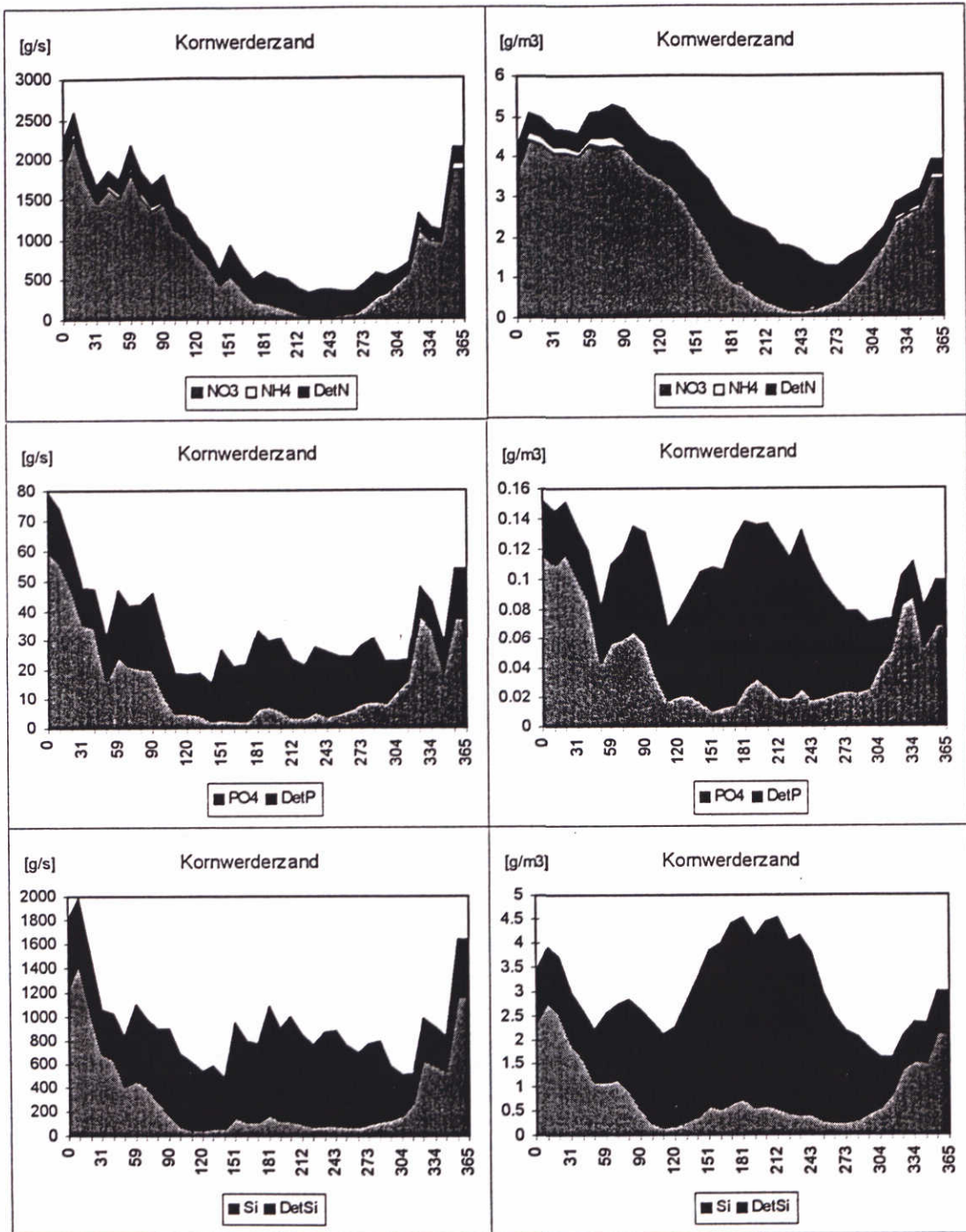
Figuur 8.2 SAWES schematisatie Schelde estuarium.



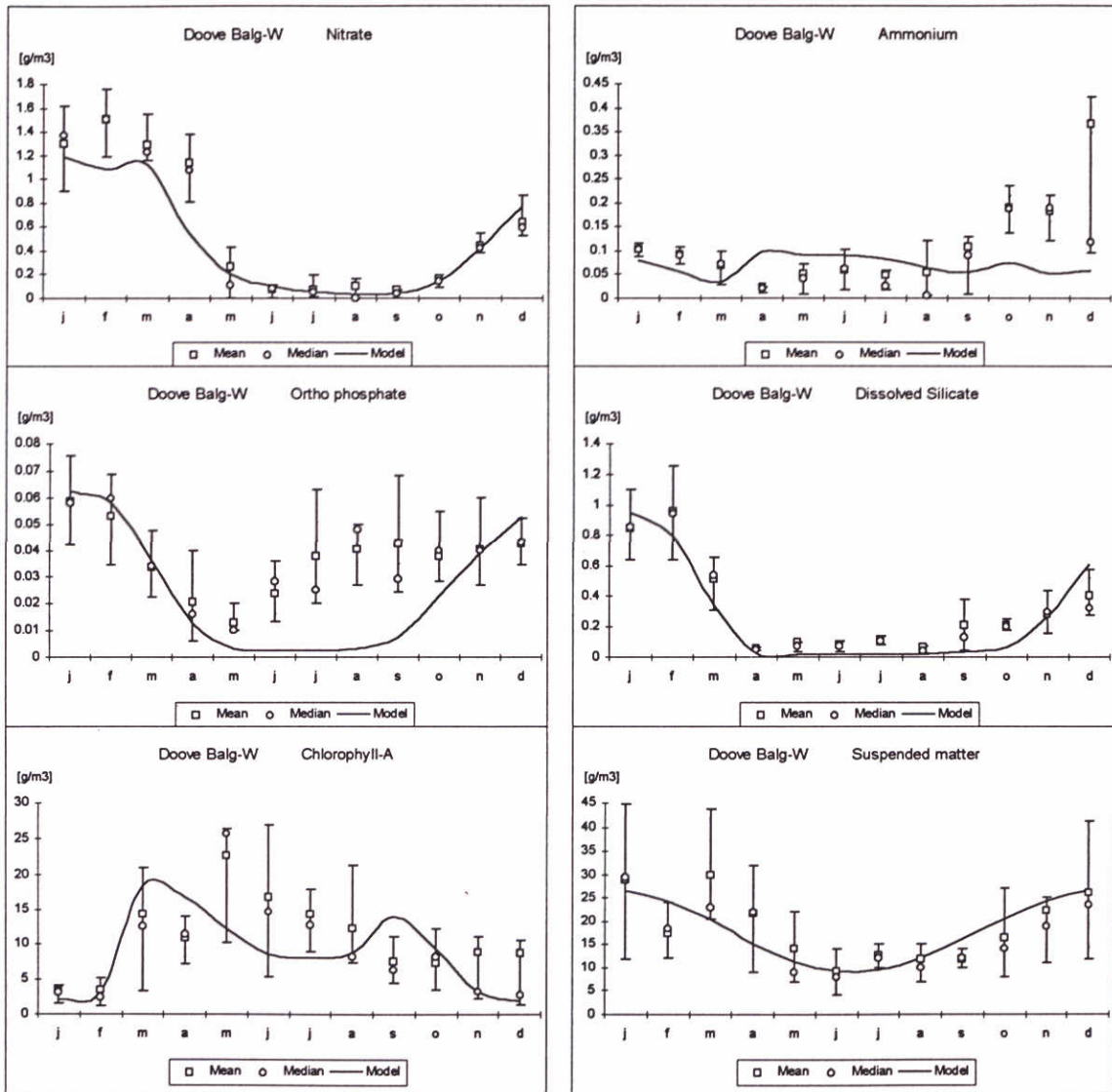
Figuur 8.3 Decadegemiddeld spuidebiet spuisluizen Den Oever en Kornwerderzand over de periode 1897-1993.



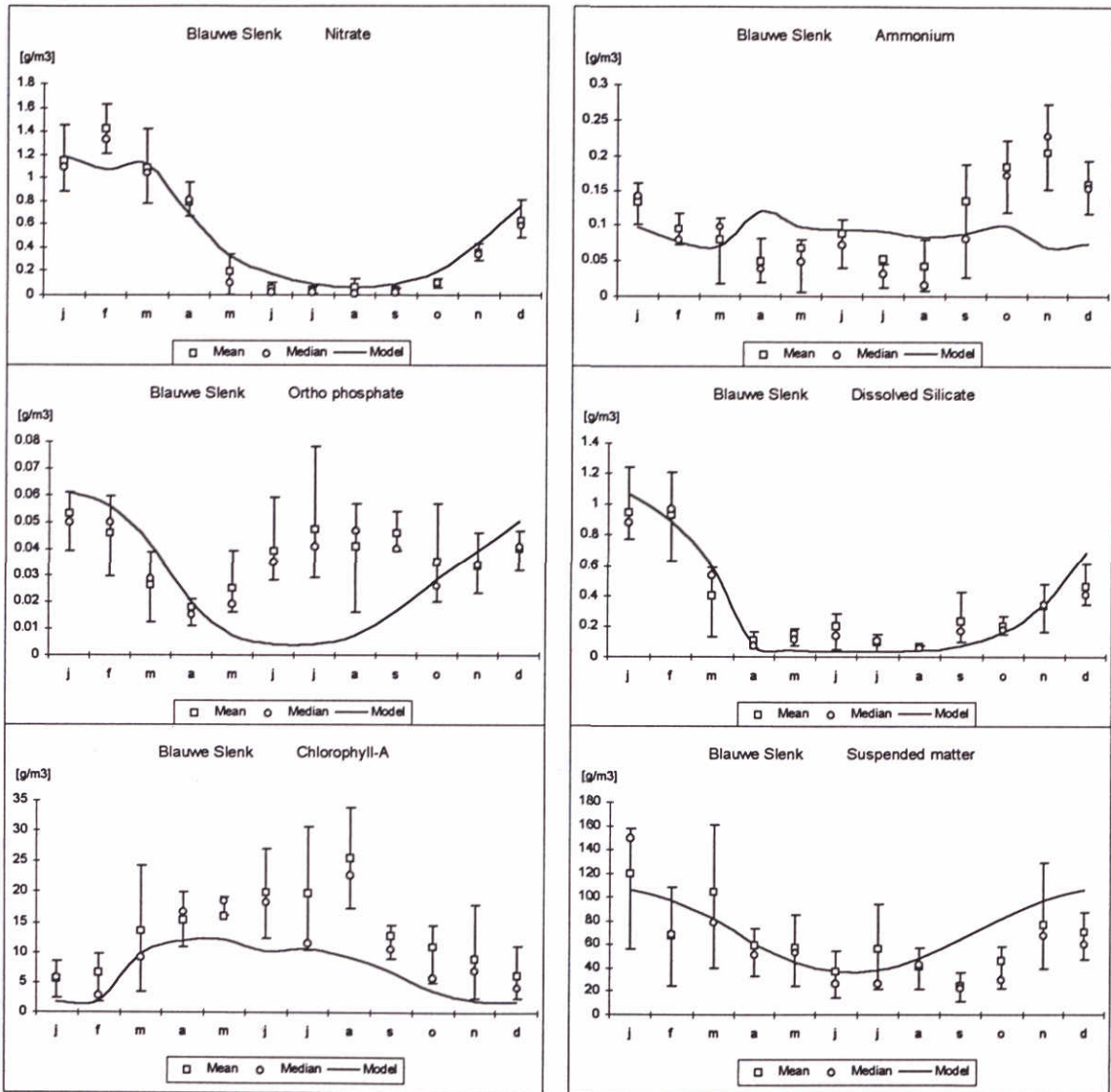
Figuur 8.4 Aanvoer van nutriënten via de spuisluizen van Den Oever.



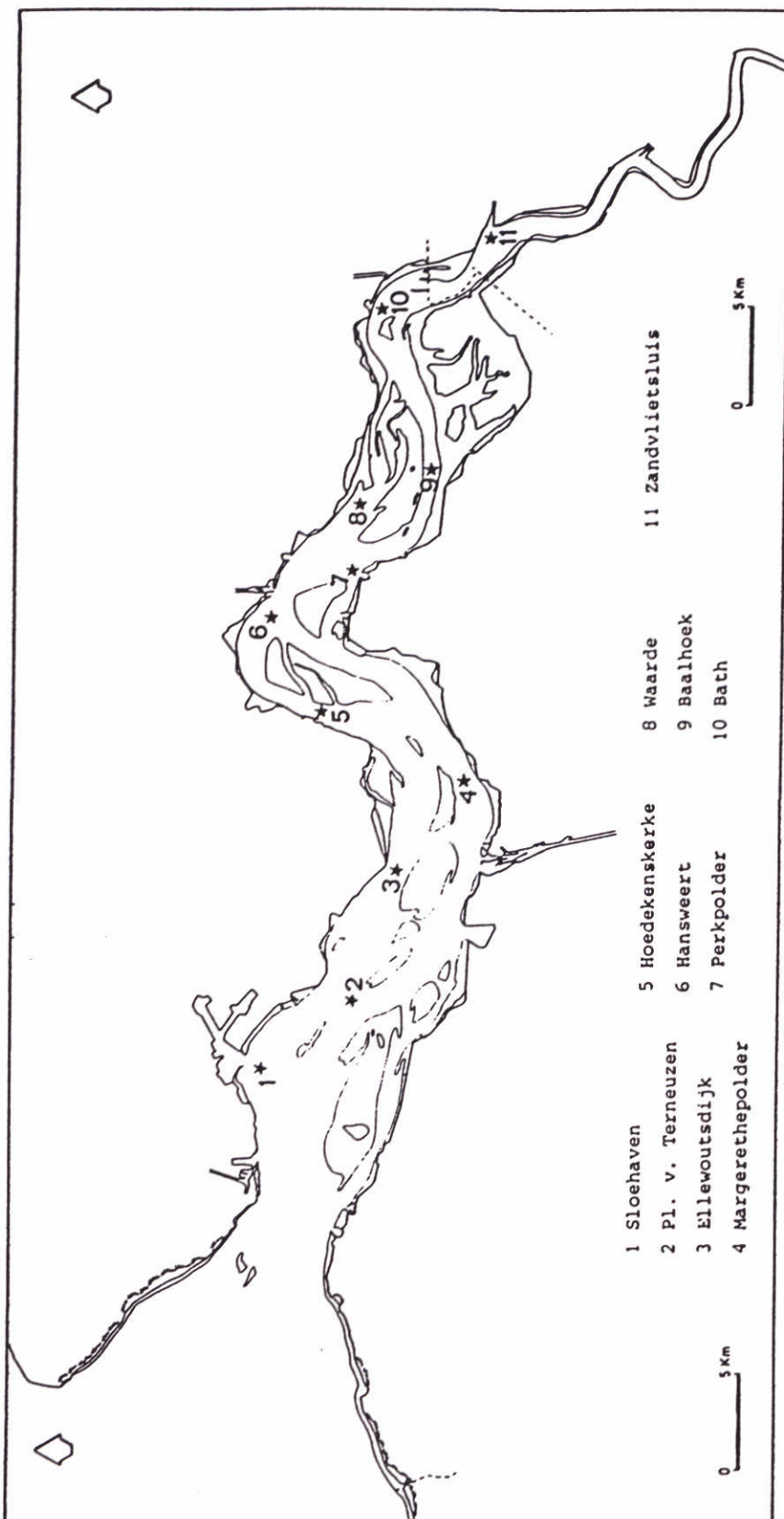
Figuur 8.5 Aanvoer van nutriënten via de spuisluizen van Kornwerderzand.



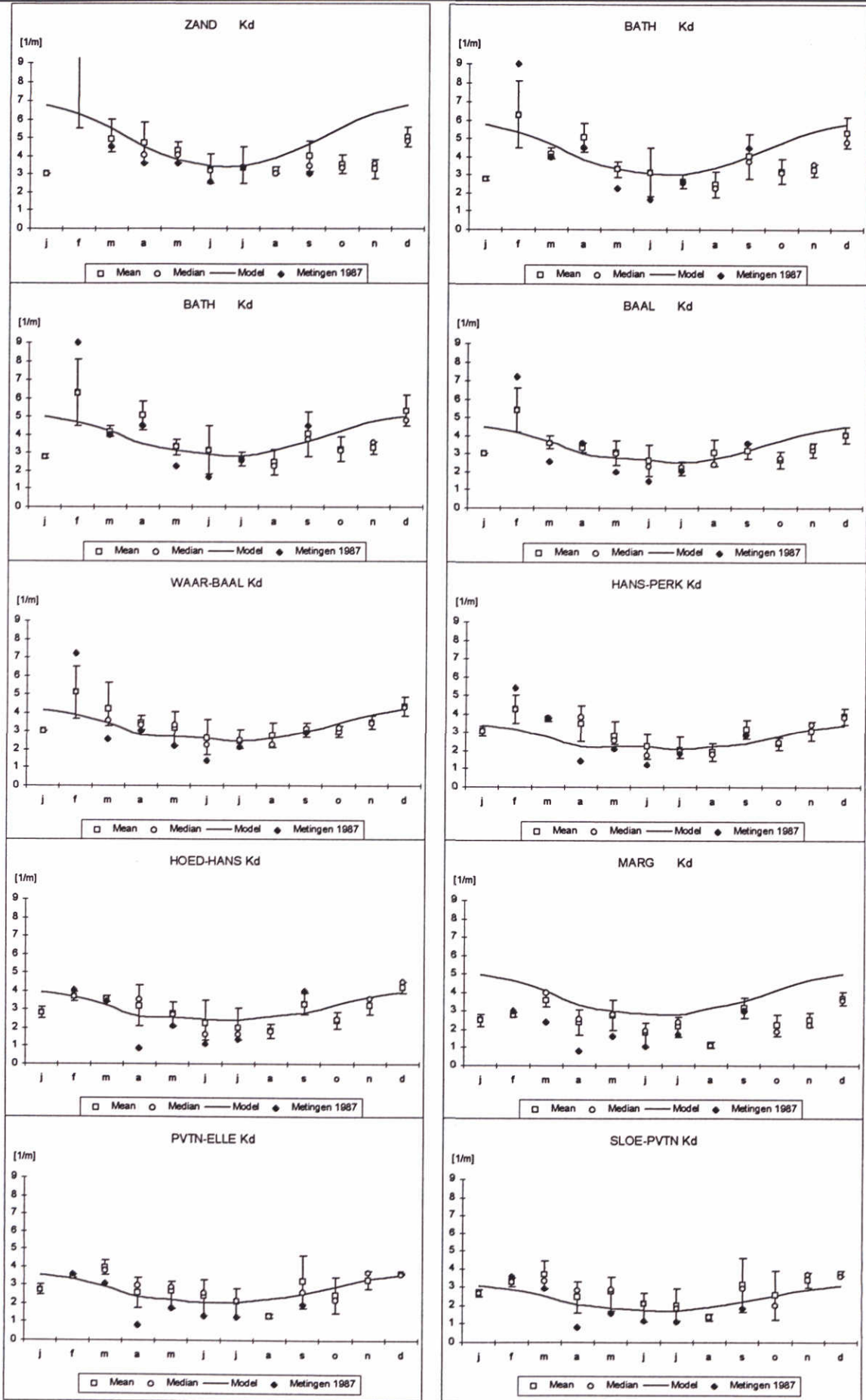
Figuur 8.6 Berekende en gemeten nutriëntconcentraties, chlorofyl en zwevend stof (forcing) Doove Balg West. (modelresultaten gemiddelde van de compartimenten 1, 2 en 3)



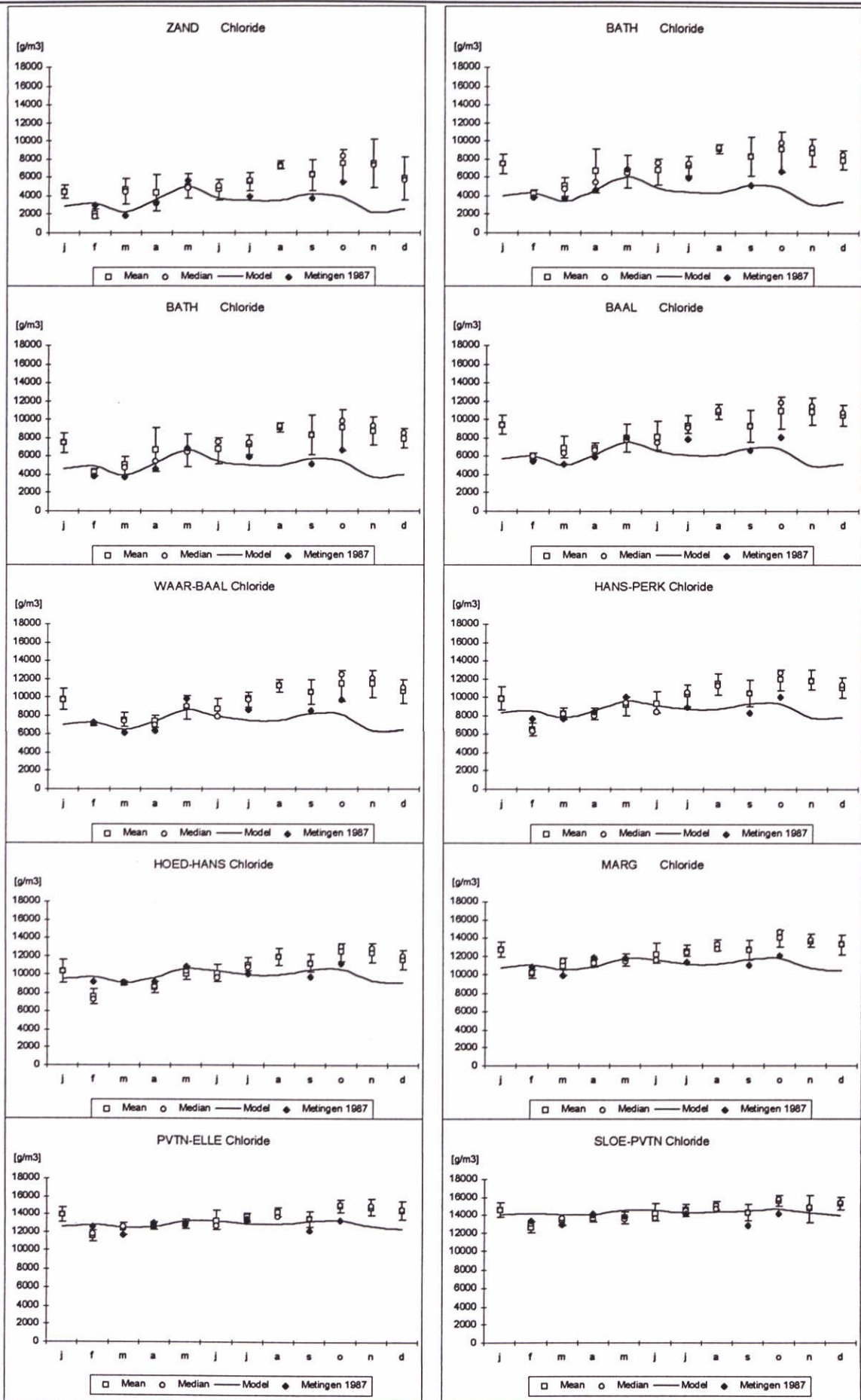
Figuur 8.7 Berekende en gemeten nutriëntconcentraties, chlorofyl en zwevend stof (forcing) Blauwe Slenk Oost. (modelresultaten gemiddelde van de compartimenten 4, 5 en 6)



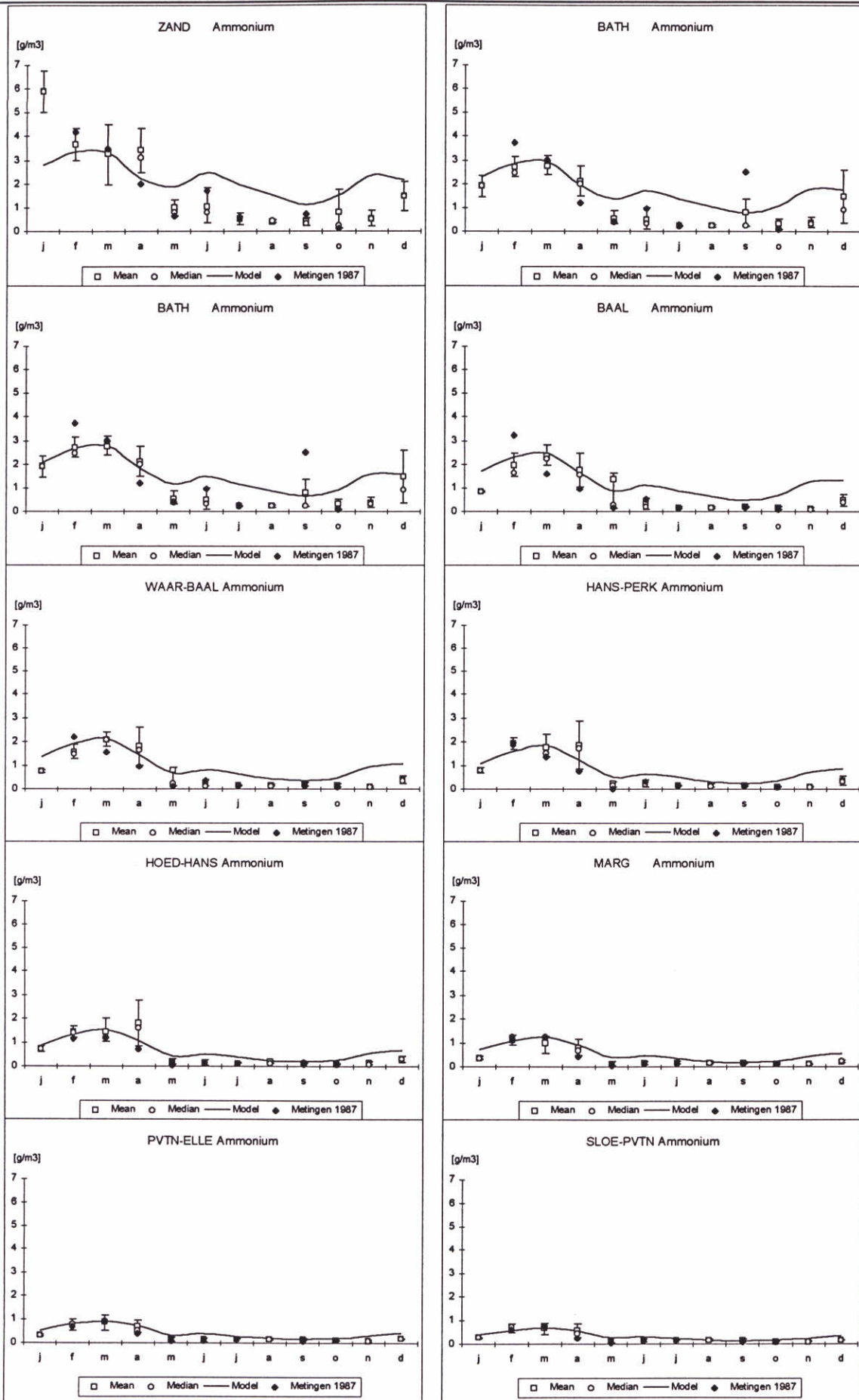
Figuur 8.8 Monsterlocaties Westerschelde.



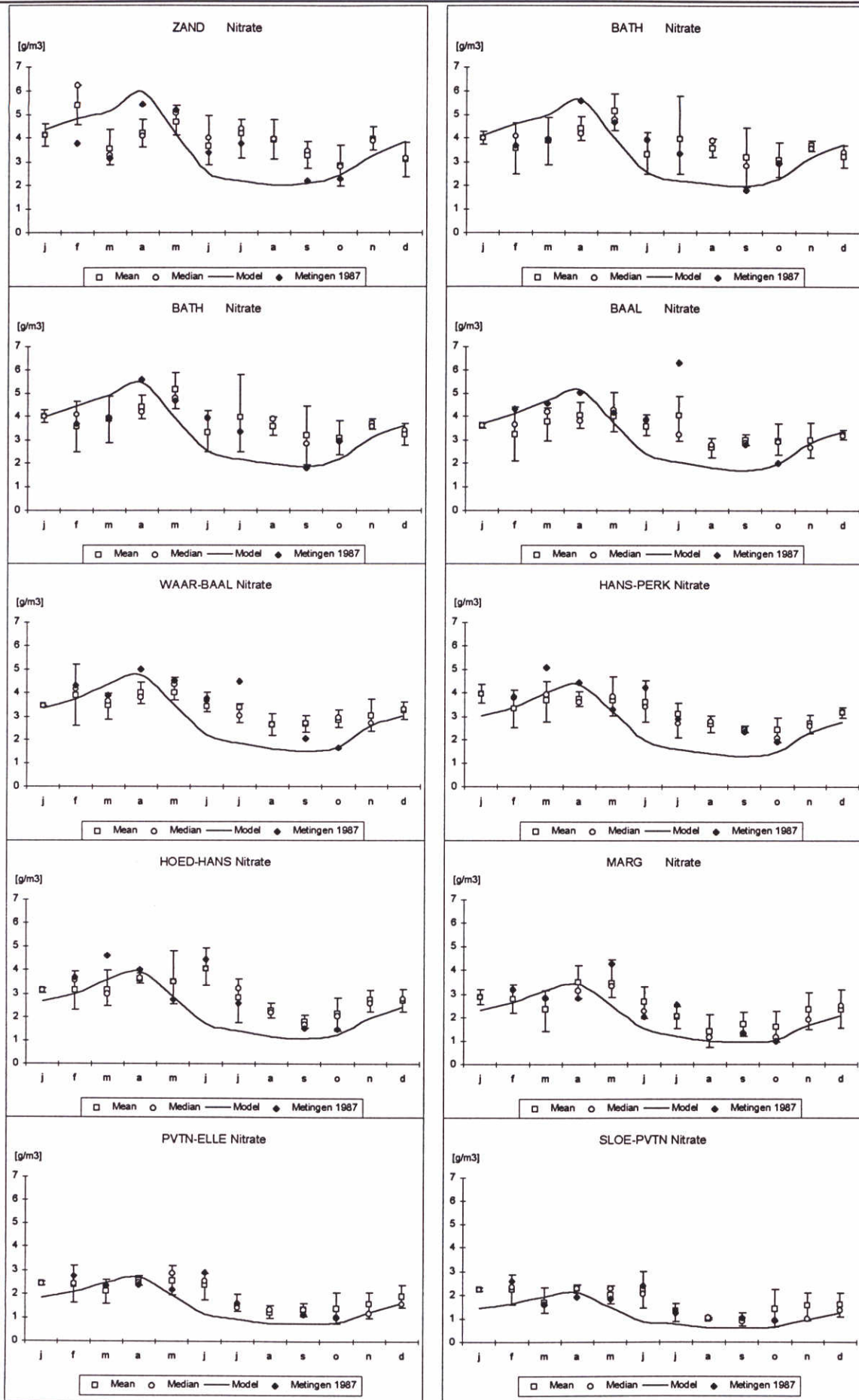
Figuur 8.9 Berekende extinctie en op basis van Secchi-disk metingen geschatte extinctie Westerschelde.



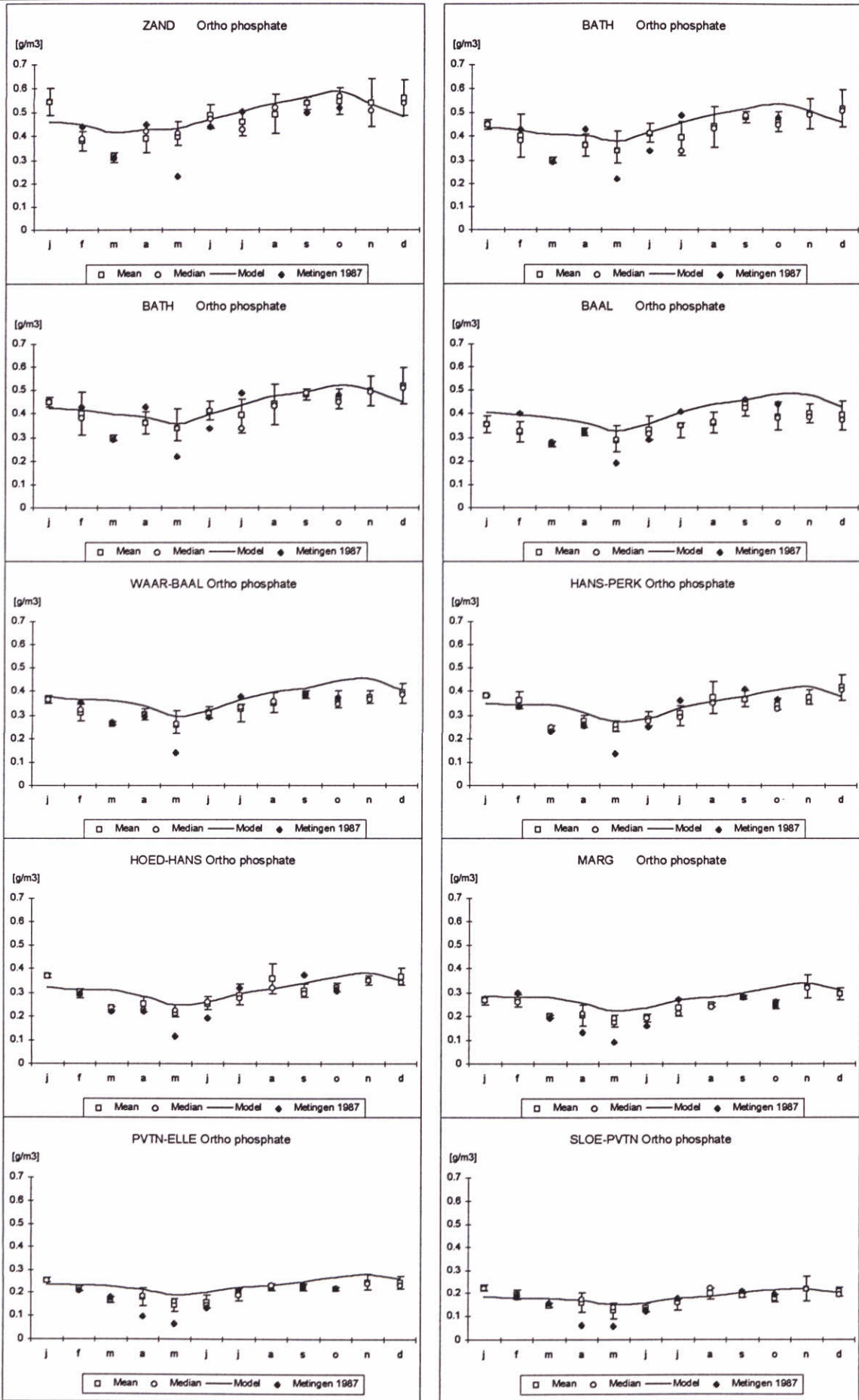
Figuur 8.10 Gemeten en berekende chlorideconcentraties Westerschelde



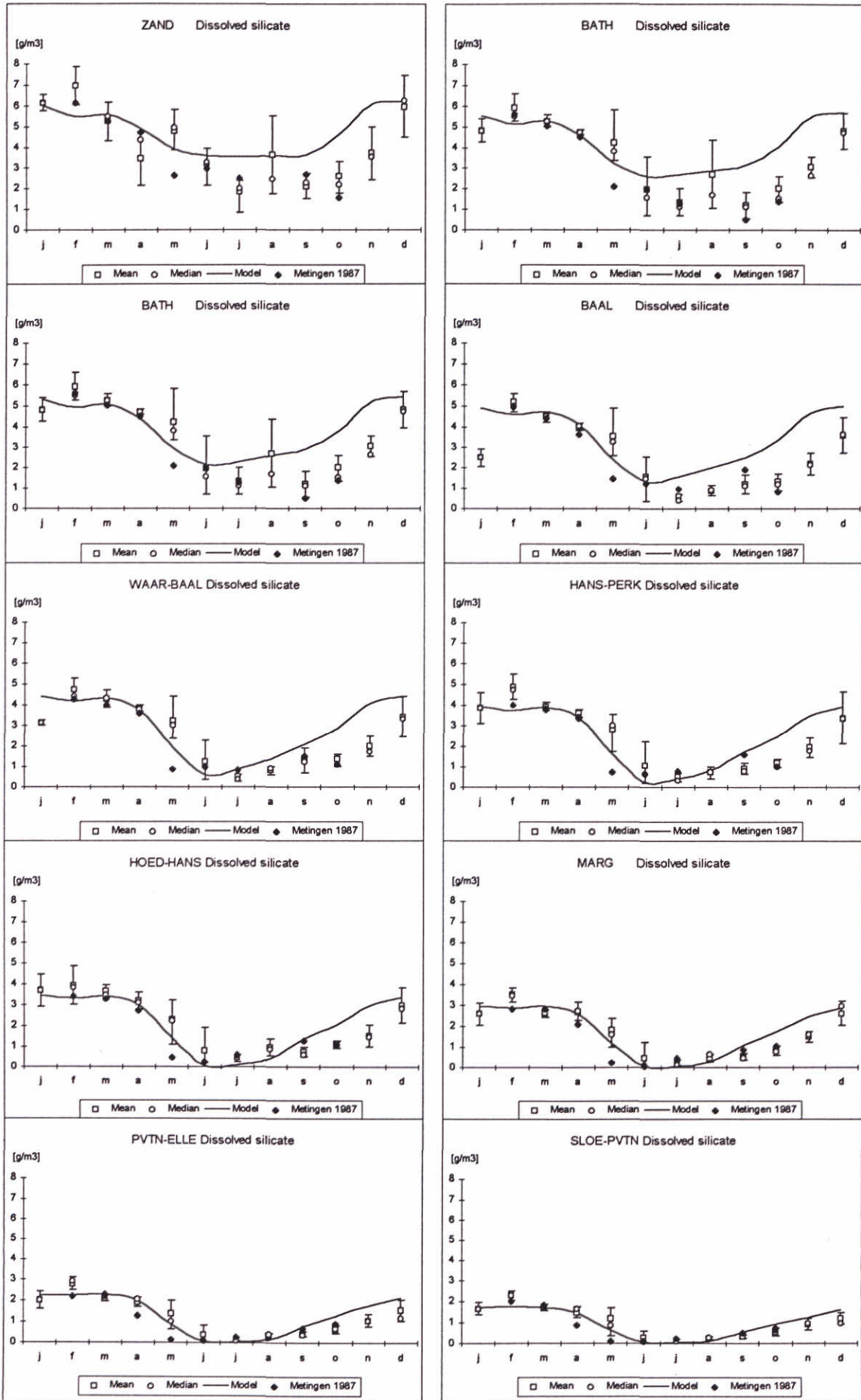
Figuur 8.11 Gemeten en berekende ammoniumconcentraties Westerschelde.



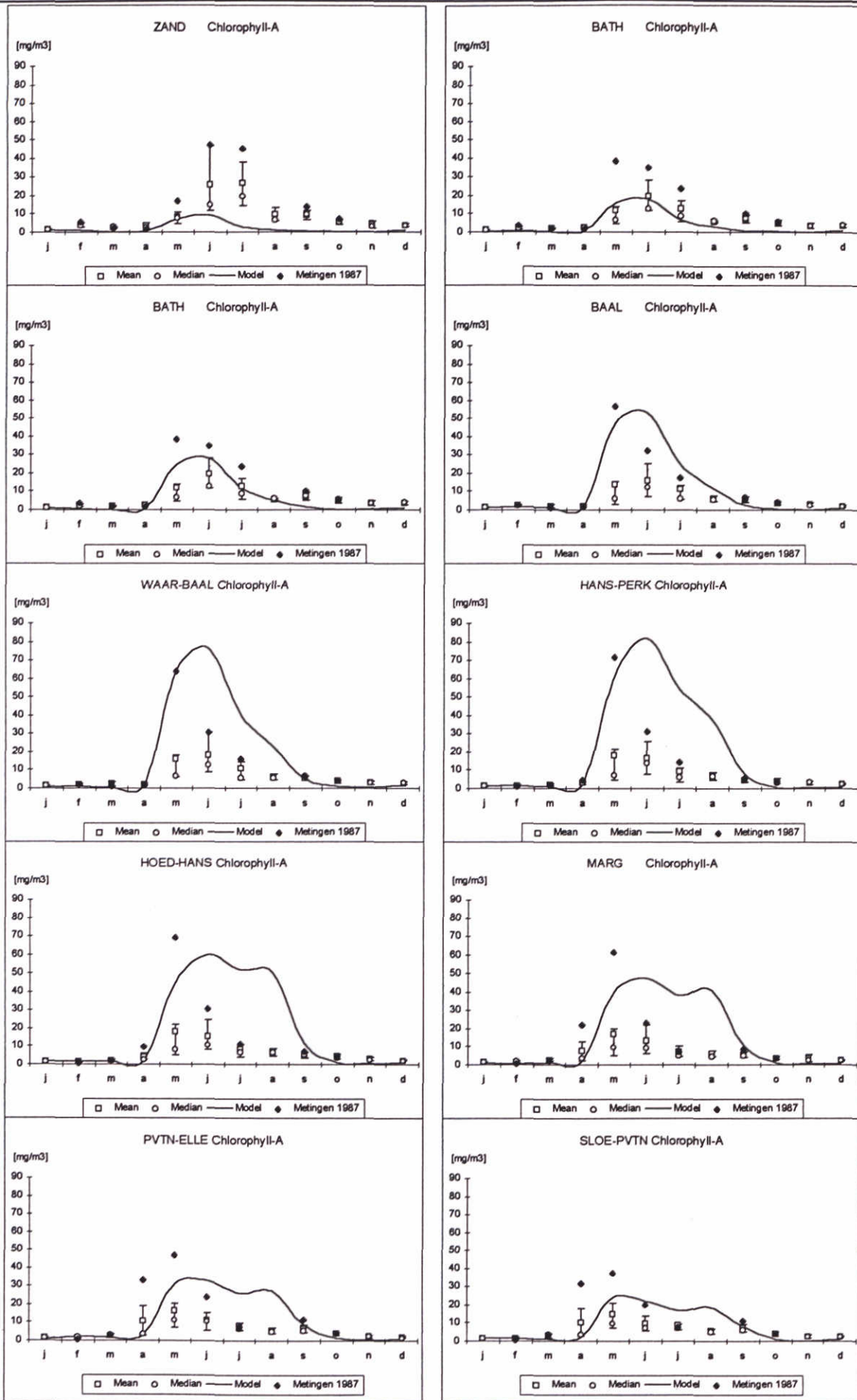
Figuur 8.12 Gemeten en berekende nitraatconcentraties Westerschelde.



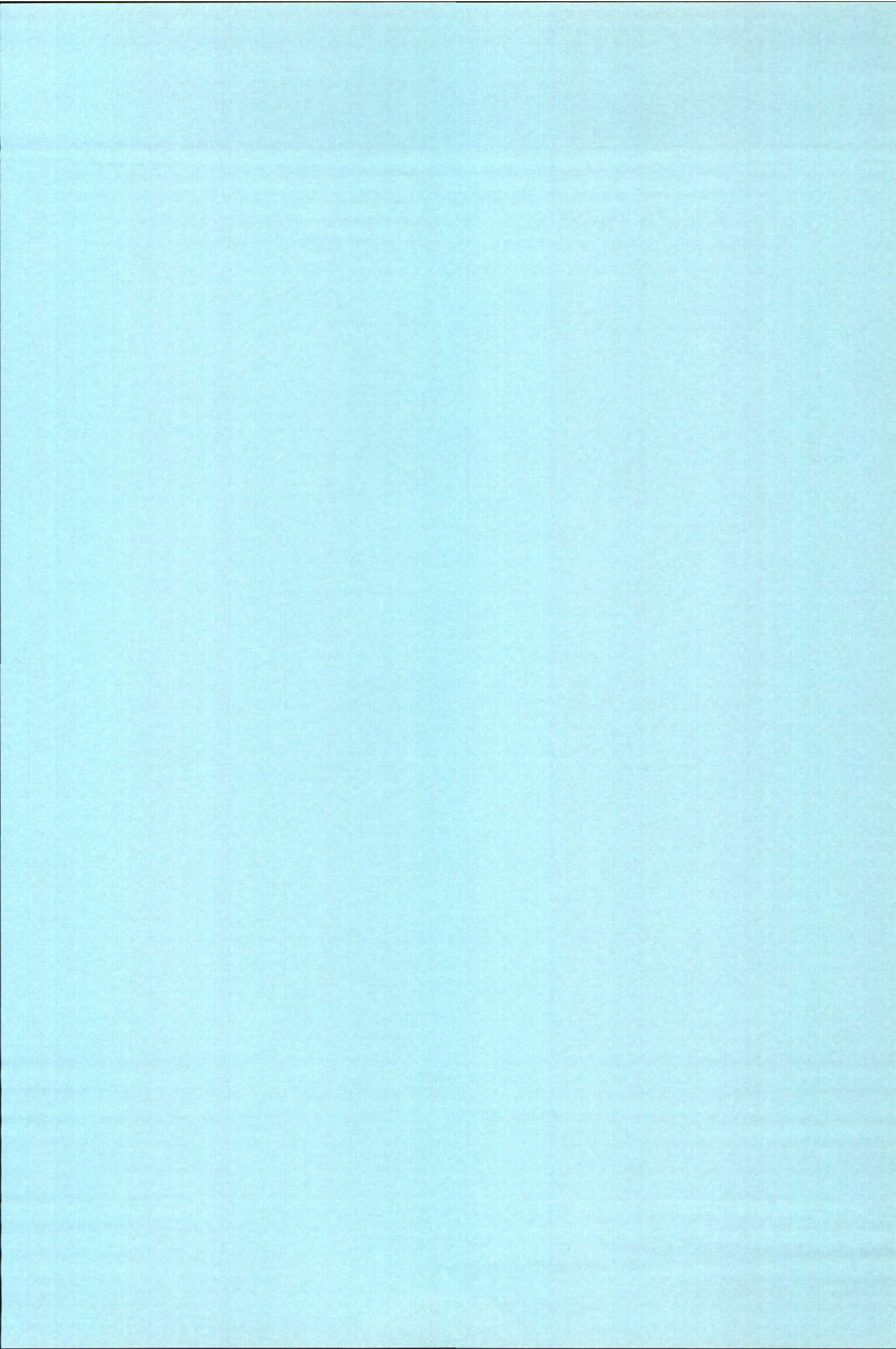
Figuur 8.13 Gemeten en berekende ortho-fosfaatconcentraties Westerschelde.



Figuur 8.14 Gemeten en berekende siliciumconcentraties Westerschelde.



Figuur 8.15 Gemeten en berekende chlorofyl- α concentraties Westerschelde.



A Aangepaste formuleringen

Formulations nett production "Monod" phytoplankton

Nett production:

$$F_{algi} = F_{algi,gp} - F_{algi,res} - F_{algi,ex} - F_{algi,mor} - F_{algi,csg} - F_{algi,set}$$

In which:

F_{algi}	=	nett production	$[\text{gC}^{-1} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}]$
$F_{algi,gp}$	=	gross primary production	$[\text{gC}^{-1} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}]$
$F_{algi,res}$	=	respiration	$[\text{gC}^{-1} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}]$
$F_{algi,ex}$	=	excretion	$[\text{gC}^{-1} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}]$
$F_{algi,mor}$	=	mortality	$[\text{gC}^{-1} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}]$
$F_{algi,csg}$	=	grazing	$[\text{gC}^{-1} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}]$
$F_{algi,set}$	=	settling	$[\text{gC}^{-1} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}]$

Primary production:

$$F_{algi,gp} = f_{algi,nut} \cdot f_{algi,lt} \cdot f_{algi,tmp} \cdot Pm_{algi,10} \cdot C_{algi}$$

In which:

$F_{algi,gp}$	=	gross primary production	$[\text{gC}^{-1} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}]$
C_{algi}	=	biomass	$[\text{gC} \cdot \text{m}^{-3}]$
$Pm_{algi,10}$	=	maximal gross production rate	$[\text{d}^{-1}]$
$f_{algi,nut}$	=	nutrient limitation function	$[-]$
$f_{algi,lt}$	=	light limitation function	$[-]$
$f_{algi,tmp}$	=	species temperature function for production	$[-]$

Chlorophyll concentration:

$$C_{algi,chl} = \frac{C_{algi}}{\alpha_{algi,chl}}$$

In which:

$$\begin{aligned} C_{algi,chl} &= \text{species chlorophyll concentration} && [\text{mgChl}\cdot\text{m}^{-3}] \\ a_{algi,chl} &= \text{species carbon to chlorophyll ratio} && [\text{gC}\cdot\text{gChl}^{-1}] \end{aligned}$$

Carbon to chlorophyll ratio:

$$a_{algi,chl} = \frac{am_{algi,chl}}{(f_{algi,nut} \cdot (1 - f_{algi,lt} \cdot f_{algi,nut}))^{b_{algi}}}$$

In which:

$$\begin{aligned} am_{algi,chl} &= \text{species minimal chlorophyll to carbon ration} && [\text{gC}\cdot\text{gChl}^{-1}] \\ b_{algi,chl} &= \text{species scaling exponent for growth limitation} && [-] \\ & \text{effect carbon chlorophyll ratio} && [-] \end{aligned}$$

Temperature dependency gross production:

$$f_{tmp} = kt_{gp}^{(T-10)}$$

In which:

$$\begin{aligned} kt_{gp} &= \text{temperature effect for gross production} && [-] \\ T &= \text{temperature} && [^{\circ}\text{C}] \end{aligned}$$

Respiration:

$$F_{algi,res} = r_{algi,mt} \cdot C_{algi} + r_{algi,pr} \cdot F_{algi,gp}$$

$$r_{algi,mt} = r_{algi,mt10} \cdot rt_{algi}^{(T-10)}$$

In which:

$$\begin{aligned} F_{algi,res} &= \text{respiration flux} && [\text{gC}^{-1}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}] \\ r_{algi,pr} &= \text{growth respiration fraction} && [-] \\ r_{algi,mt} &= \text{maintenance respiration rate} && [\text{d}^{-1}] \\ r_{algi,mt10} &= \text{maintenance respiration rate at } 10^{\circ}\text{C} && [\text{d}^{-1}] \\ rt_{algi} &= \text{temperature coefficient for respiration} && [-] \end{aligned}$$

Excretion:

$$F_{algi,ex} = b_{algi,ex} (1 - f_{algi,nut}) F_{algi,gp}$$

In which:

$$\begin{aligned} F_{algi,ex} &= \text{species excretion flux} && [\text{gC}^{-1} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}] \\ b_{algi,ex} &= \text{species maximum excretion fraction} && [-] \end{aligned}$$

Mortality:

$$F_{algi,mor} = m_{algi,tmp} \cdot C_{algi}$$

$$m_{algi,tmp} = m_{algi,tmp10} \cdot mt_{algi}^{(T-10)}$$

$$m_{algi,tmp10} = \frac{m_{1,algi} - m_{2,algi}}{1 + e^{(b_{1,algi} \cdot (C_{cl} + b_{2,algi}))}} + m_2 \quad \text{for fresh water algae}$$

$$m_{algi,tmp10} = \frac{-(m_{1,algi} - m_{2,algi})}{1 + e^{(b_{1,algi} \cdot (C_{cl} + b_{2,algi}))}} + m_1 \quad \text{for brackish/marine algae}$$

In which:

$$\begin{aligned} F_{algi,mor} &= \text{mortality flux} && [\text{gC}^{-1} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}] \\ b_{1,algi} &= \text{coefficient of salinity stress function} && [\text{m}^3 \cdot \text{g}^{-1}] \\ b_{2,algi} &= \text{coefficient of salinity stress function} && [\text{g} \cdot \text{m}^3] \\ m_{1,algi} &= \text{coefficient of salinity stress function} && [\text{d}^{-1}] \\ m_{2,algi} &= \text{coefficient of salinity stress function} && [\text{d}^{-1}] \\ C_{cl} &= \text{chlorinity} && [\text{g} \cdot \text{m}^3] \\ m_{algi,tmp} &= \text{mortality rate} && [\text{d}^{-1}] \\ m_{algi,tmp10} &= \text{mortality rate at } 10^\circ\text{C} && [\text{d}^{-1}] \\ mt_{algi} &= \text{temperature coefficient for mortality} && [-] \end{aligned}$$

**Implementatie van de alternatieve
fytoplanktonmodule BLOOM II**

Inhoud

1	Inleiding	1-1
2	Operationalisering BLOOM II-module.....	2-1
2.1	Korte beschrijving van BLOOM II	2-1
2.2	Methode van aanpak	2-1
2.3	Randen en lozingen	2-2
2.4	Parameterkeuze	2-2
3	Resultaten.....	3-1
3.1	Westelijke Waddenzee.....	3-1
3.2	Westerschelde.....	3-2
4	Discussie	4-1
5	Conclusies en aanbevelingen	5-1
6	Referenties	6-1
7	Figuren	7-1

I Inleiding

In 1993 nam het RIKZ het initiatief om in samenwerking met WL, NIOO-CEMO, NIOZ en IBN-DLO een Generiek Estuarium Model (GEM) te ontwikkelen. Doel van dit project is het realiseren van een breed gedragen en algemeen toepasbaar ecosysteem model van estuaria ten behoeve van beleidsanalyse en beheer. De nauwe samenwerking tussen de betrokken instituten bij de ontwikkeling van GEM moet leiden tot een vruchtbare basis voor toekomstige samenwerking op het gebied van modelontwikkeling.

In 1994 werd een begin gemaakt aan de ontwikkeling van GEM. De eerste stap was de realisatie van het functionele ontwerp (WL, 1997 *a*), gevolgd door het technisch ontwerp en een proef implementatie (pilot-GEM) voor de Westerschelde en de westelijke Waddenzee (WL, 1997 *c*). Pilot-GEM is in juli 1997 beschikbaar gekomen. In de opzet van GEM waren twee fytoplankton-modules voorzien: een Monod-module en een BLOOM-module. In de proef versie van GEM is voor de modellering van fytoplankton gerekend met de Monod-module, geïmplementeerd in combinatie met de sedimentmodule "eenvoudige bodem". Er is gerekend met twee groepen van fytoplankton te weten: diatomeeën en niet-diatomeeën.

De resultaten van de implementatie van pilot-GEM hebben aanleiding gegeven om de ontwikkeling van GEM voort te zetten. Na inventarisatie van de wensen van de bij de ontwikkeling betrokken instituten werd besloten om in de eerste fase van de verdere ontwikkeling van GEM de pilots voor de Westerschelde en de westelijke Waddenzee te calibreren. Deze fase werd afgesloten in november 1997. Het zwaartepunt van de tweede fase was het uitbreiden van de functionaliteit van het GEM instrumentarium door implementatie van de alternatieve fytoplankton-module BLOOM II (Los, 1991). Dit rapport doet verslag van deze tweede fase.

2 Operationalisering BLOOM II-module

2.1 Korte beschrijving van BLOOM II

In de fytoplankton module BLOOM II (Los, 1991) wordt de dynamiek van het fytoplankton middels de optimalisatie techniek lineair programmeren berekend. Hierbij wordt rekening gehouden met vier verschillende groepen van marien fytoplankton: diatomeeën, micro-flagellaten, dinoflagellaten en *Phaeocystis*. Elke groep is verder onderverdeeld in drie phenotypes. Hierdoor is BLOOM II in staat, aanpassing van fytoplankton aan de potentieel limiterende omgevingsfactoren licht (E-type) en beschikbaar stikstof (N-type) en fosfaat (P-type) te berekenen.

De Monod fytoplankton module van pilot-GEM bevat daarentegen twee groepen van marien fytoplankton: diatomeeën en niet-diatomeeën. Er wordt geen rekening gehouden met verschillende fenotypes. In beide modules wordt met twee zoetwater fytoplankton groepen gerekend. Tabel 2.1. geeft een overzicht over de verschillende fytoplankton groepen en types van de twee modules. Voor een nadere uitleg van de twee methodes wordt verwezen naar de model documentatie van GEM (WL, 1997 a).

<i>Fytoplanktongroepen</i>	<i>types in de BLOOM II-module</i>	<i>types in de Mond-module</i>
marine diatomeeën	marine diatomeeën, N-type marine diatomeeën, P-type marine diatomeeën, E-type	marine diatomeeën
marine micro-flagellaten	marine flagellaten, N-type marine flagellaten P-type marine flagellaten, E-type	marien fytoplankton anders dan diatomeeën
marine dinoflagellaten	dinoflagellaten, N-type dinoflagellaten, P-type dinoflagellaten, E-type	
<i>Phaeocystis</i> (marien)	<i>Phaeocystis</i> , N-type <i>Phaeocystis</i> , P-type <i>Phaeocystis</i> , E-type	
zoetwateralgen	zoetwater diatomeeën zoetwater fytoplankton, anders dan diatomeeën	zoetwater diatomeeën zoetwater fytoplankton, anders dan diatomeeën

Tabel 2.1: Groepen fytoplankton in de BLOOM II-module en in de Monod-module.

2.2 Methode van aanpak

De BLOOM II-module in GEM is geoperationaliseerd voor dezelfde twee pilot toepassingen als de eerdere versies van pilot-GEM: de Westerschelde en de westelijke Waddenzee. Omdat het doel van GEM het realiseren van een algemeen toepasbaar ecosysteem model voor

estuaria is, is gebruik gemaakt van een identieke set van parameterwaarden. In dit rapport wordt derhalve geen onderscheid gemaakt tussen de twee toepassingen, tenzij dit noodzakelijk is. De methode van aanpak is derhalve voor beide modellen gelijk: Het Westerschelde-model en het model van de westelijke Waddenzee zijn beide doorgerekend met de BLOOM-module in plaats van de Monod-module. Daarvoor heeft een integratie van beide programma's plaatsgevonden.

2.3 Randen en lozingen

Voor de randvoorwaarden en lozingen zijn zoveel mogelijk dezelfde waarden aangehouden als in de voorgaande GEM-modellen (zie deelrapport 1). Voor het zoetwater fytoplankton en het micro-phytobenthos konden deze waarden direct worden overgenomen. Voor het marine fytoplankton is een conversie toegepast. De marine diatomeeën zijn gelijk verdeeld over de marine diatomeeën van het N- en het P-type (respectievelijk de stikstof gelimiteerde en fosfaat gelimiteerde diatomeeën). De marine niet-diatomeeën zijn gelijk verdeeld over de marine flagellaten van het N- en het P-type. De overige algen zijn op 0 gesteld. Fytoplankton op de Noordzee bestaat over het algemeen voornamelijk uit diatomeeën en flagellaten. De verdeling over de fenotypen is alleen van belang voor de aangevoerde nutriënten, aangezien in BLOOM de typen binnen een soortengroep in een tijdstap in elkaar kunnen overgaan.

2.4 Parameterkeuze

Er werd een identieke set van parameterwaarden gebruikt voor de toepassingen Westerschelde en westelijke Waddenzee.

Voor de waterkwaliteitsparameters zijn de waarden uit de pilot-GEM toepassing voor de Westerschelde gekozen, met uitzondering van het proces 'reaëratie': Als waarde voor de transport-coëfficiënt voor diepteafhankelijke reaëratie werd de default waarde van 1 m/d uit DELWAQ 4 gebruikt, die ook voor de westelijke Waddenzee en de Noordzee is gebruikt. Er was geen reden de afwijkende waarde van de Westerschelde aan te houden. Voor de fytoplankton parameters van de BLOOM II-module werden de waarden uit de module NZBLOOM van het KSENOS project (WL, 1995) met de schematisatie Kuststrook gebruikt.

3 Resultaten

3.1 Westelijke Waddenzee

De modelresultaten voor de westelijke Waddenzee worden vergeleken met twee meetlocaties in het waddengebied. Het gemiddelde van de resultaten van de segmenten 1, 2 en 3 worden vergeleken met de locatie Doove Balg West. Het gemiddelde van de segmenten 4, 5 en 6 wordt vergeleken met locatie Blauwe Slenk. Voor de ligging van de segmenten en meetlocaties wordt verwezen naar Figuur 7.1.

Doove Balg West

De modelresultaten en metingen bij locatie Doove Balg West staan in Figuur 7.2. De chlorofyl-gehalten komen redelijk overeen met de gemeten concentraties, hoewel de concentraties in het voorjaar en najaar lager zijn dan de metingen. De voorjaarspiek van diatomeeën wordt met de huidige parametersettings niet gereproduceerd. Tijdens de calibratie is gebleken dat de chlorofylniveaus zeer gevoelig zijn voor aanpassingen van het lichtklimaat.

In Figuur 7.3 is de groei van de verschillende algengroepen te zien. In segment 1 wordt de zomerbloei gedomineerd door stikstofgelimiteerde diatomeeën en flagellaten. De diatomeeëncentraties zijn het hoogst aan het begin en het einde van de bloeiperiode. Ook lichtgelimiteerde diatomeeën, flagellaten en Phaeocytis spelen een rol. In de segmenten 2 en 3 zijn de lichtgelimiteerde algen vrijwel even sterk vertegenwoordigd als de stikstofgelimiteerde algen. De chlorofylconcentraties zijn in deze segmenten ook hoger. Uit waarnemingen is bekend dat algengroei in de Waddenzee voor een belangrijk deel stikstofgelimiteerd is. Dit komt goed overeen met de modelresultaten

Als gevolg van de veranderde algenmodellering zijn ook de berekende nutriëntenconcentraties veranderd. Doordat er, in vergelijking met de simulatie met de Monod-module, minder diatomeeën groeien in het vroege voorjaar, raken fosfaat en silicium minder snel uitgeput (zie ter vergelijking de figuren in deelrapport 1). Het zwevend stof is een forcing function en is gelijk gebleven. Over het algemeen kan niet worden gesproken van een significante verbetering van de modelperformance op basis van de huidige resultaten.

Blauwe Slenk

De modelresultaten en metingen bij de locatie Blauwe Slenk staan in Figuur 7.4. De berekende chlorofyl-concentraties zijn het gehele jaar te laag ten opzichte van de metingen. De metingen geven een verloop aan van circa 5 $\mu\text{g/l}$ in de winter tot circa 20 in de zomer. In het model liggen de concentraties tussen 0 en 5 $\mu\text{g/l}$.

Figuur 7.5 maakt duidelijk dat ook bij de locatie Blauwe Slenk de algengroei voornamelijk stikstofgelimiteerd is. Ook hier geldt dat de diatomeeën vooral in het begin en het einde van de zomer aanwezig zijn. Een voorjaarsbloei van diatomeeën wordt niet berekend.

Door de geringe algengroei zijn de nutriëntenconcentraties hoger dan in het model met de Monod-module. In het voorjaar worden nu te hoge concentraties berekend voor ammonium, fosfaat en silicium. In de zomer worden nog steeds te lage fosfaatconcentraties berekend. De concentraties van ammonium en silicium worden in die periode juist te hoog geschat.

3.2 Westerschelde

Door BLOOM wordt in het huidige Westerschelde-model geen primaire produktie berekend. De lichtlimitatie is daarvoor te hoog. De gehalten aan chlorofyl-a worden volledig bepaald door inspoeling over de zeerand van het model en zijn weinig illustratief voor de nieuwe BLOOM-module. Daarom zijn geen figuren van de resultaten getoond. Met de Monod-module werd wel primaire produktie in de Westerschelde berekend. Blijkbaar is de respons van de BLOOM-algen op licht verschillend met die van de Monod-algen.

4 Discussie

Westelijke Waddenzee

De algenmodellering met BLOOM leidt met de huidige keuze van de parameterwaarden tot een redelijke weergave van de chlorofylgehalten in het westelijk deel van het model maar tot een onderschatting in het oostelijk deel. In tegenstelling tot de waarnemingen wordt geen voorjaarsbloei van diatomeeën gevonden. Een nadere afregeling (met name van het lichtklimaat) zou hier verbetering in kunnen brengen. De berekende fosfaat- en ammoniumconcentraties worden momenteel in het voorjaar overschat en in de zomer onderschat. Een nadere calibratie van de diatomeeëngroei en mineralisatie is hiervoor noodzakelijk (zie ook de eerdere conclusies uit deelrapport 1).

Westerschelde

Met de BLOOM-module wordt in de Westerschelde geen primaire produktie berekend. Met de Monod-module wordt evenwel wel primaire produktie berekend in hetzelfde systeem. Aangezien licht de beperkende factor is voor groei in het model is de verschillende relatie tussen licht en groei waarschijnlijk de oorzaak voor deze verschillen. De chlorofylconcentraties worden nu geheel bepaald door transport en sterfte. Om de chlorofylgehalten in de Westerschelde goed te kunnen beschrijven zou de inspoeling vanuit zee beter moeten worden benaderd.

5 Conclusies en aanbevelingen

De implementatie van de nieuwe algenmodule in GEM levert voor de westelijke Waddenzee redelijke resultaten. Een nadere afregeling is echter nog noodzakelijk. In het huidige model worden de gecalibreerde waarden van de eerdere pilot gebruikt voor alle processen, behalve de processen die de algendynamiiek beschrijven. De modules geven duidelijk verschillende resultaten. Voor een goede vergelijking is het echter noodzakelijk dat beide modellen nog nader afgeregeld worden.

Met name de beschrijving van het lichtklimaat heeft nog nadere aandacht. De BLOOM-module berekent door lichtlimitatie te weinig primaire produktie in het oostelijk deel van het Waddenzee-model en in de Westerschelde zelfs geen primaire produktie. Ook de gevoeligheid voor limiterende nutriëntenconcentraties is nu verschillend. Met de Monod-module is fosfaat groeibepkend in de Waddenzee en met de BLOOM-module is stikstof beperkend. Het verschil tussen de resultaten van beide modellen verdient nog nadere analyse.

De conclusies ten aanzien van de waterkwaliteit die zijn getrokken na de calibratie met de Monod-module in deelrapport 1, zijn ook van toepassing op de resultaten met de BLOOM-module. Met name de regeneratie van nutriënten uit de bodem verdient nog nadere aandacht.

6 Referenties

Los, F.J.

Mathematical simulation of algae blooms by the model BLOOM II. Version 2.
WL rapport, T68

WL, 1995.

KSENOS, Aanpassing en uitbreiding van het modelinstrumentarium MANS voor toxische stoffen en eutrofiëring in de Noordzee en de Nederlandse Kustwateren. Rapporten werkzaamheden fase 1 en 2.
WL rapport, T1236

WL, 1997 *a*.

GEM, a generic Ecological Model for Estuaries (pilot version 1.00).
WL rapport, T2087

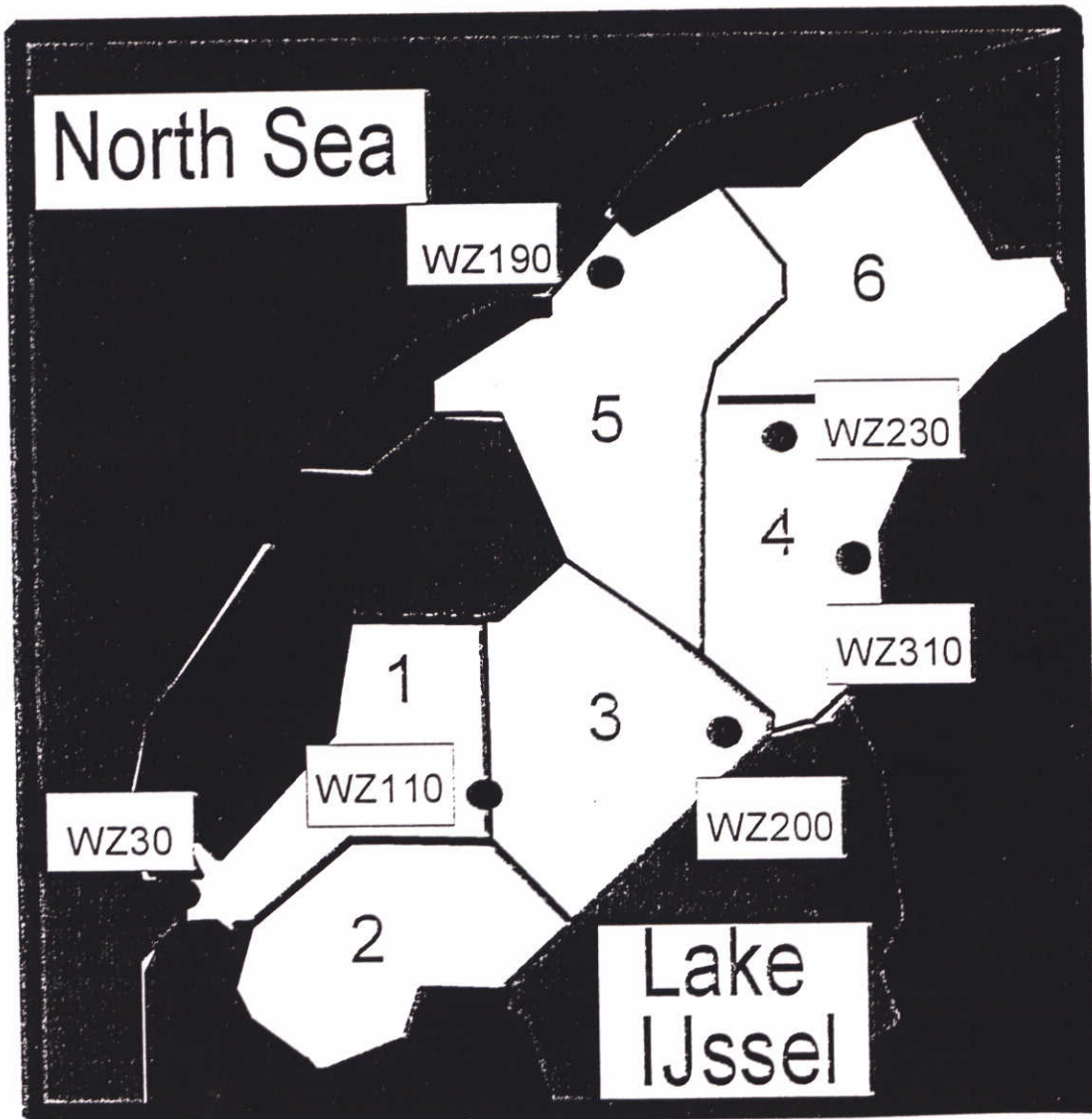
WL, 1997 *b*.

Toepassing pilot GEM voor de westelijke Waddenzee.
WL rapport, T2087

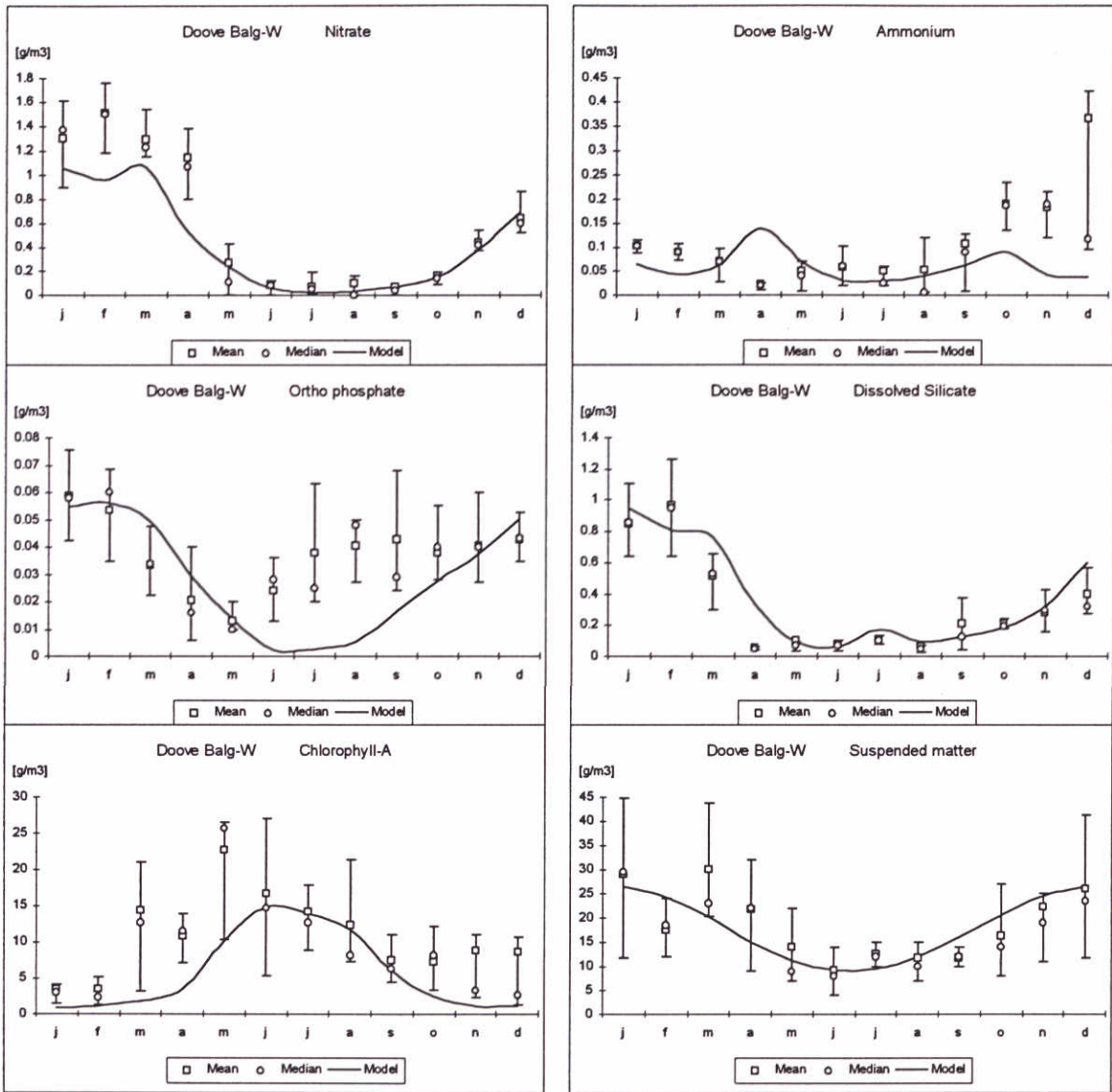
WL, 1997 *c*.

Calibratie pilot GEM Westerschelde en westelijke Waddenzee.
WL rapport, Z2337

7 Figuren

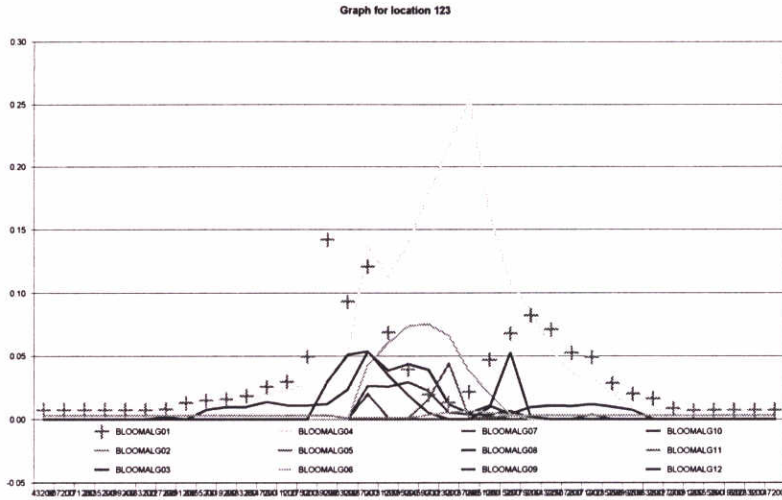


Figuur 7.1: Schematisatie Westelijke Waddenzee en meetlocaties

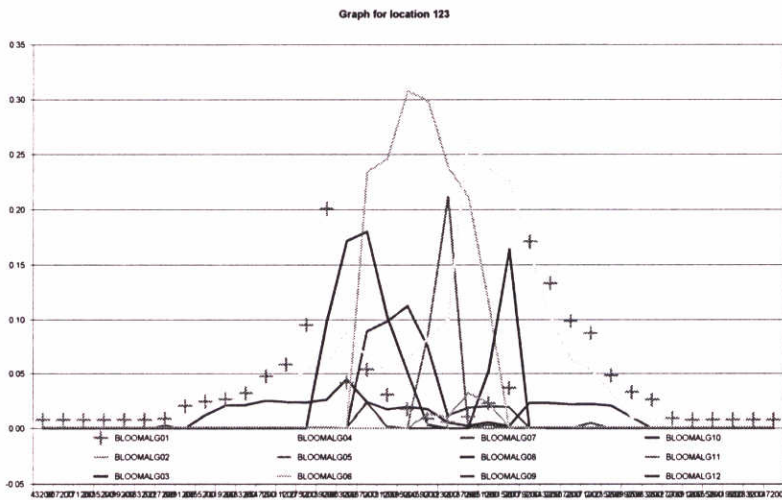


Figuur 7.2: Modelresultaten en metingen, locatie Doove Balg, Westelijke Waddenzee modelresultaten gemiddeld over de segmenten 1, 2 en 3

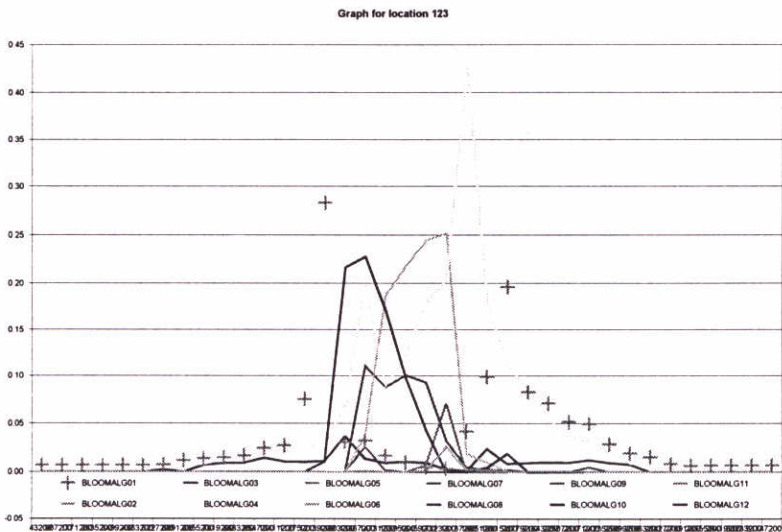
Segment 1:



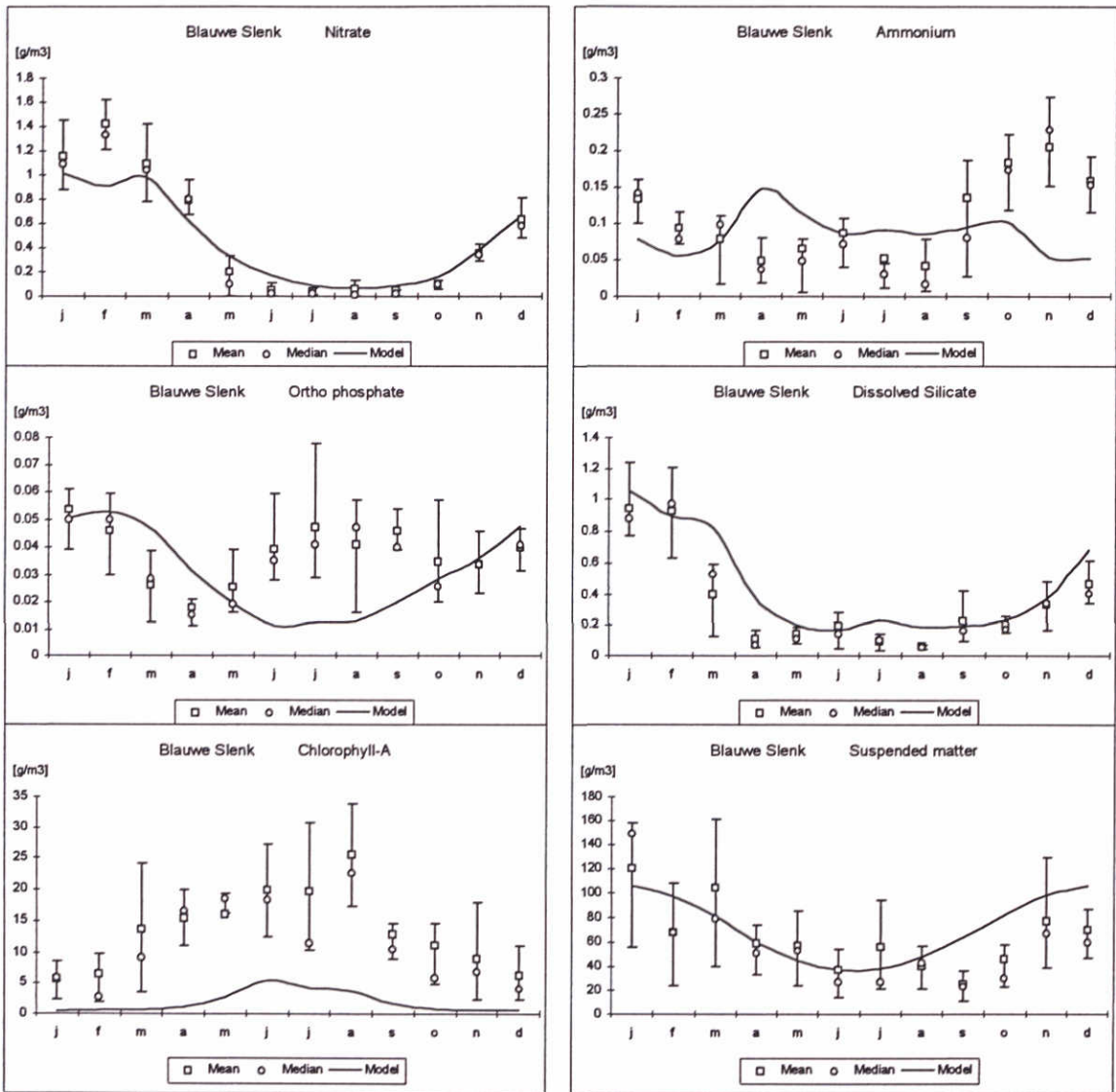
Segment 2:



Segment 3:

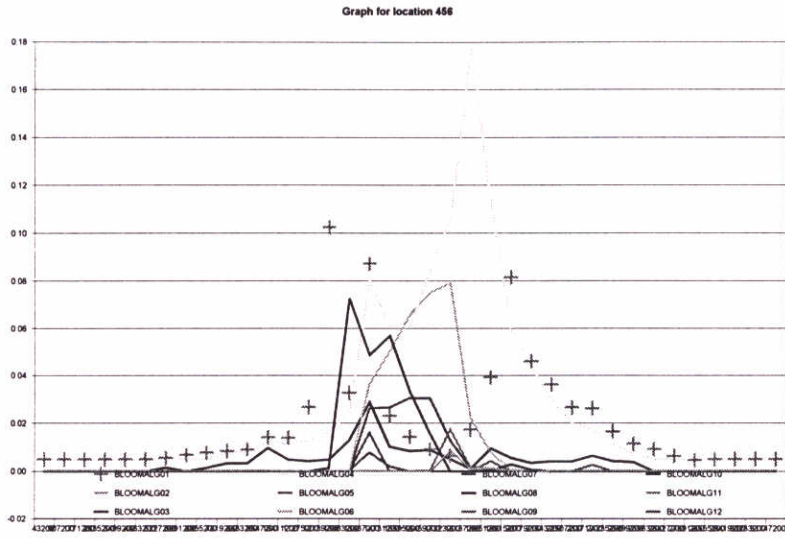


Figuur 7.3: Concentratieverloop van mariene algen in de segmenten 1, 2 en 3 (mg C/l).

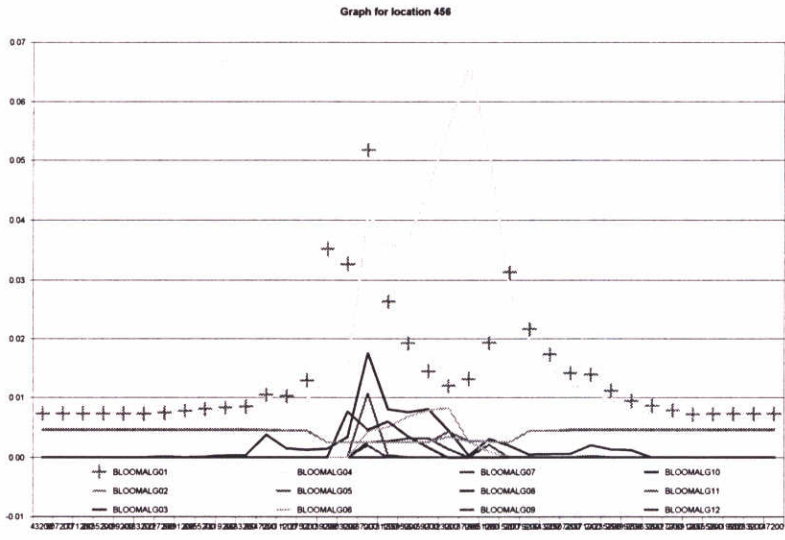


Figuur 7.4: Modelresultaten en metingen, locatie Blauwe Slenk, Westelijke Waddenzee modelresultaten gemiddeld over de segmenten 4, 5 en 6

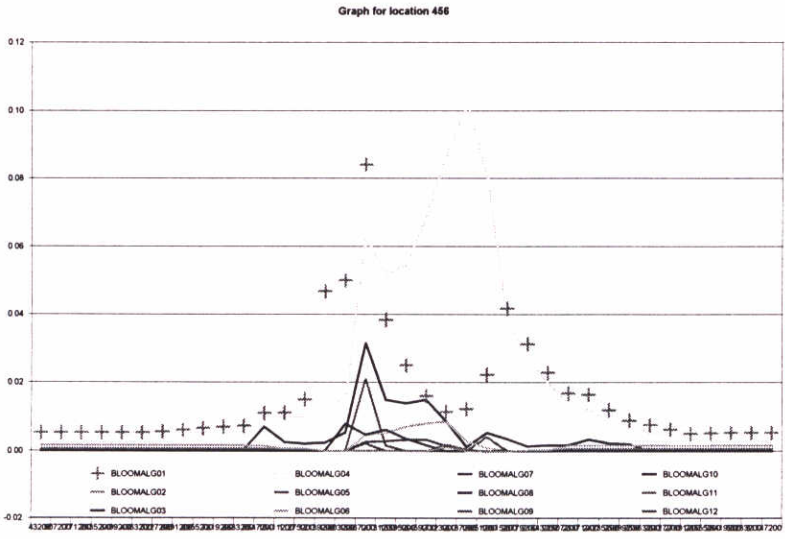
Segment 4:



Segment 5:



Segment 6:



Figuur 7.5: Concentratieverloop van mariene algen in de segmenten 4, 5 en 6 (mg C/l).

**Primaire consumenten en
procesdecompositie in GEM**

Inhoud

1	Inleiding	1-1
1.1	Achtergrond en doel van het project	1-1
1.2	Werkwijze.....	1-2
1.3	Leeswijzer	1-2
1.4	Verantwoording.....	1-2
2	Eisen aan primaire consumentenmodule	2-1
2.1	Doelstellingen	2-1
2.2	Technisch kader.....	2-1
2.3	Typen van primaire consumenten	2-1
2.4	Detailniveau van de populatiebeschrijving	2-2
3	Workshop	3-1
3.1	Inleiding	3-1
3.2	Verslag.....	3-1
4	Technisch ontwerp.....	4-1
4.1	Toestandsgrootheden voor primaire consumenten.....	4-1
4.2	Processen en fluxen.....	4-2
4.2.1	Overzicht van fluxen	4-2
4.2.2	Toelichting bij de fluxen	4-3
4.3	Uitvoer primaire consumenten	4-7
4.4	Structuur primaire consumentenmodule	4-7
4.4.1	Inleiding	4-7
4.4.2	Graasmodule	4-8
4.4.3	Groeimodule.....	4-10
4.4.4	Klassenmodule	4-11
5	Disaggregatie in ruimte en tijd.....	5-1

5.1	Definitie	5-1
5.2	Functioneel ontwerp.....	5-3
5.3	Technisch ontwerp	5-4
5.4	Implementatie.....	5-6
6	Conclusies en aanbevelingen	6-1
7	Referenties	7-1

Appendices

A Memo: Modelling van primaire consumenten in GEM

A.1	Inleiding.	A-1
A.2	Biomassamodel	A-2
A.2.1	Forcing-functions.	A-2
A.2.2	Dynamische modellen	A-2
A.2.3	Gestructureerde modellen.	A-3
	A.2.3.1 Gebruik van forcing functions.....	A-3
	A.2.3.2 De modellering van de populatiestructuur.	A-5

B Discussiedocument workshop primaire consumenten

B.1	Inleiding	B-1
B.2	Beschikbare (detail-) formuleringen	B-3
B.2.1	Totale biomassa	B-3
B.2.2	Opname	B-3
B.2.3	Excretie	B-6
B.2.4	Respiratie	B-7
B.2.5	Mortaliteit.....	B-7
B.2.6	Doorgaan naar volgende klasse.....	B-8

B.2.7	Reproductie	B-8
B.2.8	Mogelijke andere verfijningen (in de toekomst).....	B-9
B.2.9	Primaire consumenten in GEM-documentatie	B-9
B.3	Keuzes.....	B-10
B.3.1	Vragen volgend uit procesformuleringen.....	B-10

I Inleiding

I.1 Achtergrond en doel van het project

Het GEM-project heeft tot doel de ontwikkeling van een Generiek Estuarium Model. Door samenwerking tussen RIKZ, NIOO-CEMO, NIOZ, IBN en WL wordt gestreefd naar een breed gedragen model. De doelstellingen van het model zijn het creëren van een platform voor kennisintegratie voor de Nederlandse estuaria en het ontwikkelen van een bruikbaar beleidsinstrument. Na de ontwikkeling van de basisfunctionaliteit van GEM in eerdere fasen en twee pilottoepassingen is in deze fase gewerkt aan twee uitbreidingen van de functionaliteit. Deze uitbreidingen betreffen de modellering van primaire consumenten en disaggregatie in ruimte en tijd.

Primaire consumenten zijn in het huidige GEM geïmplementeerd als forcing functions. Op basis van een door de gebruiker opgegeven tijdreeks van de biomassa van primaire consumenten worden de processen die deze primaire consumenten veroorzaken berekend. Voor deze benadering moet de gebruiker genoeg informatie hebben over de verdeling in ruimte en tijd van de primaire consumenten als invoer voor het modelsysteem. Deze informatie is vaak niet beschikbaar. Een bijkomend nadeel van de forcing function benadering is dat het effect van veranderende omstandigheden op de biomassa van primaire consumenten zelf niet kan worden gemodelleerd. In deze fase van GEM is daarom gewerkt aan een dynamische modellering van primaire consumenten in GEM. In een eerdere fase van GEM is al een overzicht gemaakt van verschillende manieren om primaire consumenten te modelleren. Voor de modellering is gebruik gemaakt van dit rapport (Brinkman, 1997).

Disaggregatie in ruimte en tijd vormt een voorwaarde voor een werkbare dynamische modellering van primaire consumenten in combinatie met een gedetailleerde beschrijving van transport- en waterkwaliteitsprocessen. Voor de modellering van primaire consumenten kan vaak worden volstaan met een veel grotere tijdstap als voor transport- en waterkwaliteitsprocessen. Zeker in het geval dat er meerdere soortengroepen of leeftijdsklassen worden gemodelleerd kan de rekenlast door modellering van primaire consumenten bij een kleine tijdstap onaanvaardbaar hoog worden. Door disaggregatie kunnen verschillende tijdstappen worden gebruikt voor verschillende groepen van processen. Zo kan de tijdstap voor primaire consumenten groot genoeg worden gekozen om zowel een acceptabele rekentijd als voldoende detaillering in overige processen te bewerkstelligen. Ook voor ruimtelijke schalen kan de gewenste mate van detail verschillen voor groepen van processen. Door procesdecompositie kunnen zowel ruimtelijke schalen als tijdschalen anders worden gekozen voor verschillende processen. Hiermee ontstaat tevens de mogelijkheid om naar behoefte te verfijnen of op te schalen, afhankelijk van het stadium en het doel van de modeltoepassing. Een calibratie kan eerst grof en dan fijn gedaan worden, of een gedetailleerde onderzoekstoepassing kan worden opgeschaald ten behoeve van 'snel' gebruik door beleidsmedewerkers.

Het voorliggende verslag beschrijft de activiteiten die zijn ondernomen in het kader van de derde fase van het vierde GEM-project. Het project is uitgevoerd door WL in opdracht van het RIKZ (opdrachtbrief RIKZ/OS 986005 van 19 juni 1998). De activiteiten hebben plaatsgevonden in de periode van augustus tot oktober 1998.

1.2 Werkwijze

De werkzaamheden in deze fase vallen uiteen in drie onderdelen:

- organisatie workshop
- opstellen technisch ontwerp voor modellering primaire consumenten
- implementatie disaggregatie

Bij verschillende organisaties in Nederland is ervaring opgedaan met het modelleren van primaire consumenten. Om deze ervaringen mee te kunnen nemen bij de modellering van primaire consumenten in het GEM is een workshop georganiseerd met vertegenwoordigers van IBN-DLO, RIVO, NIOZ, NIOO-CEMO, RIKZ en WL. Eerst zijn in gesprekken met RIKZ de contouren voor de modelopzet besproken. Voor de verdere invulling is gebruik gemaakt van een memo van Marcel van der Tol (RIKZ) over dit onderwerp (zie bijlage A) en het rapport (Brinkman, 1997), dat eerder ten behoeve van de primaire consumenten modellering in GEM werd opgesteld. Dit resulteerde in een eerste schets van de aanpak van de modellering. De bevindingen zijn samengevat in een discussiedocument (zie bijlage B) dat gebruikt is als achtergrondinformatie en leidraad bij de workshop. Na de workshop is de aanpak van de modellering verder uitgewerkt in een technisch ontwerp. Tevens zijn in deze derde fase de calibratieresultaten van de vorige fase nog nader besproken met RIKZ.

De implementatie van disaggregatie in GEM heeft plaatsgevonden volgens het technisch ontwerp dat in een eerdere fase van GEM was opgesteld.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt het programma van eisen voor de modellering van primaire consumenten besproken. Het bevat de doelstellingen voor de modellering en de verschillende mogelijkheden waar in het technisch ontwerp rekening mee moest worden gehouden. Hoofdstuk 3 geeft verslag van de workshop over primaire consumenten. Vervolgens staat in hoofdstuk 4 het technisch ontwerp voor de modellering van primaire consumenten in GEM. In hoofdstuk 5 wordt beschreven hoe de procesdecompositie wordt geïmplementeerd. Uiteindelijk volgen in hoofdstuk 6 enkele conclusies en aanbevelingen.

1.4 Verantwoording

De werkzaamheden door WL zijn uitgevoerd door A.N. Blauw en F.J. Los (projectleider). De disaggregatie is uitgevoerd door J. van Beek. Tekstuele bijdragen zijn verder geleverd door M. v.d. Tol en M. Bokhorst (RIKZ).

2 Eisen aan primaire consumentenmodule

2.1 Doelstellingen

Het GEM heeft een generiek karakter, zodat gekozen kan worden voor een modellering die aansluit bij de eisen en mogelijkheden van de specifieke toepassing waar men het voor wil gebruiken. In het in deze fase ontwikkelde technisch ontwerp is een structuur ontwikkeld waarin dit mogelijk is.

De belangrijkste doelstellingen van de modellering van primaire consumenten in GEM zijn het berekenen van effecten van:

- graas door bodemfauna (met name schelpdieren) en
- graas door zoöplankton

Het betreft hierbij de graas op fytoplankton en microfytobenthos. Tevens worden hierbij de effecten op de overig toestandsgrootheden (organische stof) meegenomen.

Bij gebruik van een gestructureerd model is het tevens mogelijk de populatiedynamica van de primaire consumenten te modelleren.

2.2 Technisch kader

De module is een uitbreiding van het bestaande GEM en wordt dus geïmplementeerd in DELWAQ. In het technisch ontwerp is de kennis over de processen, die verbonden zijn met primaire consumenten, ingepast in de structuur van DELWAQ. In DELWAQ moet de gebruiker de stoffen opgeven die hij wil modelleren. Deze stoffen worden de toestandsgrootheden genoemd. Voor deze toestandsgrootheden worden transportfluxen berekend en procesfluxen. De gewenste processen worden door de gebruiker geselecteerd door de procesnaam in de invoer op te nemen. Transportfluxen worden berekend op grond van een tevoren berekende hydrodynamica. Als invoer voor de berekening van procesfluxen kan de gebruiker parameters instellen en functies invoeren. Functies kunnen variëren in tijd en ruimte. Met de berekende transport- en procesfluxen wordt aan het einde van iedere tijdstap een nieuwe waarde voor de toestandsgrootheden berekend.

2.3 Typen van primaire consumenten

Primaire consumenten zijn een diverse groep organismen. De leefwijze en wijze van voedsel vergaren kan per soort verschillen. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen:

- zoöplankton dat voedsel uit het water filtreert;
- zoöplankton dat door middel van jagen voedsel vergaart;

- filterfeeders die op de bodem leven en hun voedsel uit het bovenstaande water filtreren;
- deposit-feeders die op de bodem leven en hun voedsel uit/van de bodem halen.

Voor sommige soorten komen zowel planktonische als benthische levensstadia voor (bijvoorbeeld mosselen). In GEM moeten al deze typen kunnen worden gemodelleerd.

2.4 Detailniveau van de populatiebeschrijving

Er zijn verschillende methoden om de populatie van primaire consumenten te beschrijven:

- forcing functions;
- lumped biomassamodel;
- gestructureerd model.

Het technisch ontwerp moet het mogelijk maken om met alle drie methoden te werken.

Bij de forcing function methode worden procesfluxen die verbonden zijn met primaire consumenten berekend op basis van een door de gebruiker opgegeven biomassaverloop van de consumenten.

Een complexere benadering berekent de totale biomassa aan primaire consumenten zelf. De biomassaverandering van de primaire consumenten wordt dan berekend op basis van de proces- en transportfluxen. Bij WL | DELFT HYDRAULICS is in het kader van het GARDEN-project (Riegman et al., 1998) al eens een lumped biomassamodel ontwikkeld. Deze module is momenteel beschikbaar voor GEM. Het is echter niet eenvoudig om met één formule de totale effecten van graas te beschrijven van alle typen van primaire consumenten. Het probleem van de diversiteit in eigenschappen van de verschillende typen primaire consumenten kan worden ondervangen door de verschillende typen apart te modelleren. Duidelijk verschillende groepen primaire consumenten zijn bijvoorbeeld zoöplankton en benthische filterfeeders.

Een extra detaillering in de modelbeschrijving is noodzakelijk wanneer de samenstelling van de populatie van een soort grote effecten heeft op het watersysteem. Dan kan gekozen worden voor een gestructureerd model. Een gestructureerd model onderscheidt verschillende klassen op grond van het gewicht of de generatie c.q. leeftijd.

Bij gestructureerde modellen kunnen ook weer verschillende niveaus van detaillering worden onderscheiden, zoals ook staat beschreven in de memo in bijlage A. Gestructureerde modellen zijn voornamelijk waardevol wanneer men geïnteresseerd is in de populatiestructuur of wanneer de levensprocessen in primaire consumenten worden gemodelleerd afhankelijk van de leeftijd of het individueel gewicht. Laboratoriumexperimenten hebben aangetoond dat de relatie tussen de levensprocessen (opname, mortaliteit e.d.) en het gewicht significant is. Behalve de totale biomassa per klasse moet dan ook het individueel gewicht of de populatiegrootte (aantal individuen per m^3) worden berekend en bijgehouden. De totale biomassa per m^3 is dan gelijk aan het individueel gewicht (W) vermenigvuldigd met het aantal individuen per m^3 (N):

$$B = N * W$$

De vier onderscheiden detailniveaus zijn:

- berekening van de totale biomassa per klasse;
- berekening van de totale biomassa per klasse en de berekening van het individueel gewicht, waarbij het aantal als forcing function is opgegeven;
- berekening van de totale biomassa per klasse en de berekening van het aantal per m³, waarbij het individueel gewicht als forcing function is opgegeven;
- berekening van het individueel gewicht en het aantal als afzonderlijke variabelen.

Voor de laatste optie wordt de verandering van de populatiegrootte bepaald door de mortaliteitsflux en de reproductie. Het individueel gewicht neemt toe door de opnameflux en neemt af door respiratie, excretie en het opzij zetten van biomassa ten behoeve van de reproductie.

3 Workshop

3.1 Inleiding

Voor de workshop zijn deskundigen uitgenodigd op het terrein van de modellering van primaire consumenten van verschillende Nederlandse instituten. De genodigden waren Bert Brinkman (IBN-DLO), Piet Ruardij (NIOZ), Aad Smaal (RIVO) en Karline Soetaert (NIOO-CEMO). Daarnaast waren van RIKZ Marinus Bokhorst en Marcel van der Tol aanwezig en van WL | DELFT HYDRAULICS Hans Los en Anouk Blauw. Alle aanwezigen hebben het discussiedocument (zie bijlage B) tevoren toegestuurd gekregen, waarin beschikbare kennis, vragen, wensen en mogelijkheden met de betrekking tot de modellering van primaire consumenten worden beschreven. Het doel van de workshop is het bespreken van de opzet en de formuleringen met Nederlandse deskundigen.

3.2 Verslag

datum: dinsdag 22 september 1998

plaats: RIKZ, Den Haag

aanwezig: Marinus Bokhorst (RIKZ), Bert Brinkman (IBN-DLO Texel), Hans Los (WL), Anouk Blauw (WL), Marcel van der Tol (RIKZ, slechts een gedeelte van de tijd aanwezig)

afwezig: Piet Ruardij (NIOZ), Aad Smaal (RIVO), Karline Soetaert (NIOO-CEMO)

voorzitter: Marinus Bokhorst

Inleiding

Marinus geeft een inleiding over de ontwikkelingen van GEM tot nu toe met betrekking tot de modellering van primaire consumenten: Er zijn nu twee pilottoepassingen gereed van het GEM: de Westerschelde en de Westelijke Waddenzee. In deze modellen is zoöplankton als een forcing function geïmplementeerd, maar nog niet gebruikt. In het functioneel ontwerp staat over primaire consumenten dat zoöplankton in verschillende soortengroepen zal worden beschreven en dat voor filterfeeders een lumped biomassamodel de voorkeur heeft. De module voor primaire consumenten moet een flexibel en open karakter hebben.

Na het functioneel ontwerp heeft Marcel van der Tol een memo opgesteld over de modellering van primaire consumenten en heeft Bert Brinkman een rapport geschreven over de modellering van primaire consumenten in het algemeen en in het bijzonder in ECOWASP. Beide documenten zijn kort samengevat in het discussiestuk dat aan de deelnemers van de workshop is toegestuurd als achtergrondinformatie.

De doelstelling van deze workshop is een discussie over de structuur van de primaire consumentenmodule.

Gestructureerd model, lumped biomassamodel of forcing function

Het eerste aandachtspunt is de beschrijving van de populatiestructuur. Marcel van der Tol vond een model van Portugese onderzoekers dat werkt met gewichtsklassen erg interessant. Er waren wel veel gewichtsklassen noodzakelijk om de beschrijving goed te krijgen. Er wordt gesproken van veertig gewichtsklassen. Daarvan zijn veel gewichtsklassen leeg. De individuen in een klasse schuiven telkens een gewichtsklasse op. Bert waarschuwt voor rekentechnische problemen als lange rekentijden, grote gevoeligheid en slingeringen. Het voordeel van een gewichtsklasse gestuurd model is volgens Marcel wel dat de synchronisatieproblemen die je bij een model met generatieklassen hebt niet meer optreden.

Bert kan in het ECOWASP model zowel met een gestructureerd model met generatieklassen werken als met een lumped biomassamodel. Met behulp van een 'vlaggetje' kan worden aangegeven of met de ene of de andere methode gewerkt wordt. Voor soorten die maar één of twee keer per jaar reproduceren, zoals mosselen, hebben deze reproductie momenten en de opbouw van de populatie in jaarklassen grote invloed op het systeem waarin ze voorkomen. Voor soorten die vaker per jaar reproduceren is de opbouw van de populatie regelmatig en kost het meer modelleerwerk om de grote hoeveelheid generatieklassen te beschrijven. Het nut van het onderscheid in generatieklassen neemt af bij een toenemend aantal reproductie momenten. De complexiteit van het model neemt hierbij toe. Voor soorten met meer dan circa drie reproductie momenten per jaar zijn lumped biomassamodellen geschikter.

Voor de toepassing van GEM op de kustzone zoals die gepland staat voor begin 1999 is Marinus een voorstander van een lumped biomassamodel. Als dit niet goed lukt moet weer worden uitgeweken naar een forcing function, in verband met de beperkte tijd. Eventueel kan er ook voor worden gekozen zoöplankton dynamisch te modelleren en filterfeeders als een forcing function. Filterfeeders hebben een veel grotere invloed op de Waddenzee dan zoöplankton.

Bert merkt op dat destijds met Emowad is geprobeerd de Waddenzee als lumped biomassamodel te beschrijven. De calibratie van dit model bleek lastig te zijn doordat er te weinig informatie was om de keuze van parameterwaarden voor lumped parameters te onderbouwen. Verschillende combinaties van parameters gaven een vergelijkbaar resultaat. Een verhoogde opname kon eenvoudig worden gecompenseerd met een verhoogde respiratie. Het is dus de vraag of een lumped biomassamodel wel minder tijd kost dan een gestructureerd model. Wat je wint met een beperktere opzet moet je wellicht weer inleveren bij de calibratie. Voor een gestructureerd model zou ECOWASP als basis kunnen dienen.

Hans vraagt zich af waarom het voor het model belangrijk is om het aantal individuen en het individueel lichaamsgewicht apart te berekenen. Voor het berekenen van de graasdruk zou de biomassa van de primaire consumenten voldoende zijn. Bert antwoordt dat hij daartoe is overgegaan om de vergelijkbaarheid van veld- en laboratoriummetingen met modelinvoer en -uitvoer te verbeteren. Uitkomsten van laboratoriumexperimenten kunnen gebruikt worden voor de keuze van parameterwaarden en de uitkomsten van het model kunnen weer goed worden vergeleken met veldwaarnemingen. Bovendien kunnen dan populatie-effecten beter worden berekend, met name de timing van processen binnen het jaar. Een populatie van veel kleine individuen functioneert immers anders dan een populatie met minder maar grotere individuen.

Het modelleren van menselijk ingrijpen

In ECOWASP wordt menselijk ingrijpen niet meegenomen. Het lijkt Bert niet ingewikkeld om in het model mosselen te verwijderen en naar een andere locatie te verplaatsen. Er moet wel rekening worden gehouden met het feit dat bij dergelijke verplaatsingen een hoog percentage van de mosselen sterft. De biomassa van de geoogste mosselen (na groei) is soms zelfs even groot als de oorspronkelijke verplaatste biomassa. De biomassa is bij de oogst alleen verdeeld over minder mosselen met een groter gewicht.

Beschikbare gegevens

Er zijn redelijk veel veldgegevens over kokkels bij RIVO. (Na afloop van de workshop blijkt uit de offerte van Aad Smaal dat RIVO ook beschikt over gegevens van mosselen in de Oosterschelde en de Waddenzee en spisula in de kustzone.) Deze zijn echter niet makkelijk toegankelijk. Aad Smaal zou nog een gedetailleerde beschrijving van de dataset van RIVO maken maar die is tot op heden nog niet beschikbaar. Bert licht toe dat het concept van de schelpdierrapportage destijds in grote haast is opgesteld, maar dat het niet bedoeld was als definitief produkt. Marcel heeft hen destijds gevraagd niet verder te gaan tot nader bericht. Het moet nu dus nog steeds worden afgemaakt, nadat er eerst nadere aanwijzingen komen over wat er van hen verwacht wordt. Leo Postma (WL) heeft al eens naar Aad Smaal gebeld om naar zijn bijdrage aan het rapport te vragen. Aad heeft toen iets opgestuurd, maar Anouk herinnert zich niet of ze dat nog ontvangen heeft en wat er precies in staat. Zij zal dit eerst controleren. Daarna zal Marinus Aad bellen om een gedetailleerde beschrijving van de dataset van RIVO te vragen (als die er nog niet is).

Bij IBN-DLO zijn metingen verricht op mosselbanken in de periode 1984-1990. Circa 4 à 5 keer per jaar is op verschillende locaties op mosselbanken een frequentieverdeling gemaakt van lengte- en gewichtsklassen van mosselen. Op deze gegevens is ECOWASP gecalibreerd.

Voor de overige soorten kunnen gegevens worden gebruikt van Beukema en van RIKZ.

Stofstromen door primaire consumenten

Primaire consumenten produceren faeces en soms ook pseudofaeces. De samenstelling van deze produkten is onderwerp van discussie. In ECOWASP is de samenstelling van de pseudofaeces gelijk aan de samenstelling van het gefiltreerde materiaal. Het is mogelijk dat het organisme een selectie maakt, waardoor de pseudofaeces minder goed verteerbaar is dan de ingenomen fractie. Bert weet dat echter niet zeker. Pseudofaeces wordt door mosselen alleen geproduceerd in geval van een voedseloverschot, dus dan is efficiëntieverbetering wellicht niet meer nodig. In het model kan hiervoor een selectiemechanisme worden ingebouwd.

Een andere vorm van 'selectie aan de poort' doet zich voor als algenkolonies (bijvoorbeeld *Phaeocystis*) te groot zijn om door de filterfeeder gevangen te worden. Dit moet met de module ook kunnen worden gemodelleerd.

Voor de samenstelling van de faeces werd in eerste instantie gedacht aan toewijzing aan een bepaalde detritusfractie: de snel verteerbare (dode algen e.d.), de minder snel verteerbare

fractie of de refractaire fractie (humuszuren e.d.). Aangezien filterfeeders vaak grote hoeveelheden water filtreren op een dag bestaat dan echter het gevaar dat ze als een pomp gaan werken die ofwel refractaire detritus weer afbreekbaar maken of dode algen enige afbraakstappen laten overslaan. Normaal gesproken belandt maar een klein deel van de snel afbreekbare detritus in de pool van refractair detritus. De samenstelling van het detritus en daarmee de mineralisatieprocessen zouden door een dergelijke aanpak te veel verstoord worden. Er wordt daarom gekozen voor een aanpak waarbij alle ingenomen algen en detritus doorschuiven naar een minder goed afbreekbare pool. Dus gaan algen naar de eerste detritusfractie, de eerste detritusfractie naar de tweede, de tweede naar de derde en de derde detritusfractie blijft gelijk. Refractair detritus wordt verondersteld het maag-darmkanaal onveranderd te passeren.

Detailformuleringen

In ECOWASP wordt de temperatuurafhankelijkheid van de groei gemodelleerd als een functie met een optimum.

Voor de relatie tussen de voedselconcentratie en de opgenomen voedselhoeveelheid kan worden gekozen tussen (naast vele andere mogelijke formuleringen) de Holling type II en Holling type III functie. In ECOWASP wordt de Holling type III functie gebruikt. De voordelen van deze functie zijn dat er een absoluut maximum aan de opname zit en dat een formulering voor pseudofaecesproductie er eenvoudig aan toe te voegen is. Voor filterfeeders is dit over het algemeen de meest gebruikte functie. Wellicht dat de Holling type II functie ook goed werkt maar dat is nog niet geprobeerd.

In ECOWASP wordt voor de preferentiefactor voor zowel algen als detritus 1 aangehouden. Dat wil zeggen dat er van geen van beide stoffen minder dan mogelijk wordt opgenomen in verband met preferentie voor een andere voedselbron.

Van algen kan in het algemeen ongeveer 60% van de opgenomen hoeveelheid worden gebruikt en van dierlijk materiaal 80%.

Voor de beschrijving van reproductie momenten geeft de methode waarbij de reproductie wordt uitgesmeerd over een periode een realistischer resultaat dan de unit-step methode (zie voor een nadere uitleg in bijlage B, bij reproductie). De groei van de larven wordt mooi gesimuleerd. Het zou ook mogelijk zijn om, in plaats van de nieuwe larven het gewicht van de al aanwezige larven te geven, het gemiddeld lichaamsgewicht van de larvenklasse aan te passen wanneer er veel kleine larven (van een vast gewicht) bijkomen. Deze laatste optie heeft echter als nadeel dat er dan lange tijd veel relatief kleine larven zijn, waarbij de sterfte hoog is. Om deze sterfte te beschrijven zou een zeer kleine rekentijdstep moeten worden gekozen. In ECOWASP wordt de tijdstep nu aangepast aan de berekende gradiënt, met als minimum 0.05 dag en als maximum 1 dag.

Conclusies en afspraken

- Ondanks de lage opkomst is het toch een nuttige bijeenkomst geweest. Marinus gaat er nog achteraan om te achterhalen waarom de overige genodigden niet zijn gekomen. (De redenen voor afwezigheid waren ziekte (Piet Ruardij) en het niet ontvangen van de uitnodiging wegens een foutieve adressering (Aad Smaal en Karline Soetaert)).
- WL zal de bevindingen verwerken in het technisch ontwerp dat in eerste concept 5 oktober wordt opgeleverd.
- De implementatie van de primaire consumentenmodule zal begin 1999 plaatsvinden voor het GEM-model van de Nederlandse kustwateren. In eerste instantie zal getracht worden een lumped biomassamodel op te zetten en te calibreren. Wanneer dit niet succesvol blijkt te zijn kan gekozen worden voor de forcing function benadering of een gestructureerd model. Hierbij zullen de ervaringen met ECOWASP worden meegenomen.

4 Technisch ontwerp

4.1 Toestandsgrootheden voor primaire consumenten

In GEM worden algen uitgedrukt in $g\ C/m^3$. Beide optionele fytoplanktonmodules gaan uit van het principe van variabele stochiometrie, maar de wijze van implementatie verschilt. In de Monod-formulering heeft elke gemodelleerde alg (=een toestandsgrootheid) een variabele stochiometrie. In BLOOM bestaat een soort uit meerdere typen, die als aparte toestandsgrootheden worden gemodelleerd. Deze typen hebben een vaste stochiometrie. Doordat de verschillende fenotypes een verschillende stochiometrie hebben, die afhankelijk van de omstandigheden in elkaar over kunnen gaan, hebben de soorten toch een variabele stochiometrie.

Ook de stochiometrie van de drie detritusfracties is variabel. Per fractie (die zich onderscheiden door hun afbraaksnelheid) worden de drie elementen: Particular organic carbon, particular organic nitrogen en particular organic phosphorus (POC, PON en POP) in GEM als aparte toestandsvariabelen gemodelleerd. Voor de modellering van primaire consumenten wordt aangesloten bij de wijze waarop algen worden gemodelleerd, dus met een vaste stochiometrie per toestandsgrootheid. Een toestandsgrootheid kan dan een klasse binnen een soort zijn, een soort of een groep van soorten.

De soortengroepen die in paragraaf 2.3 worden genoemd, worden in het model behandeld als twee soorten: filterfeeders en deposit-feeders. Filterfeeders filteren water en deposit-feeders filteren bodemmateriaal. Zoöplankton wordt gemodelleerd als een filterfeeder in een watersegment. Filterfeeders in watersegmenten filteren water uit het segment waarin zij zich bevinden en zijn onderhevig aan transportprocessen. Benthische filterfeeders zoals mosselen worden gemodelleerd als een filterfeeder in een bodemsegment. Filterfeeders in een bodemsegment filteren water uit een of meerdere bovenliggende watersegmenten. Zij zijn niet onderhevig aan transportprocessen. Jagend zoöplankton wordt op dezelfde wijze gemodelleerd als filtrerend zoöplankton. Het volume dat een filterfeeder filtreert is dan vergelijkbaar met het volume dat een jager bejaagt. Deposit-feeders kunnen alleen worden gemodelleerd in bodemsegmenten.

De drie methoden om primaire consumenten te modelleren (forcing function, lumped biomassa model en gestructureerd model) zijn op de volgende wijze in het model verwerkt:

Wanneer gewerkt wordt met een forcing function dan wordt de biomassa van primaire consumenten als een tijdreeks (en eventueel verschillend per plaats) ingevoerd. Het model controleert of de opgegeven biomassa ondersteund kan worden door de primaire productie en corrigeert de grazerbiomassa indien nodig. Op deze manier wordt voorkomen dat de primaire consumptie zo hoog is dat er negatieve concentraties van de voedselcomponenten worden berekend en is het voor de gebruiker duidelijk wanneer met gecorrigeerde biomassa's is gewerkt. De toestandsgrootheden van primaire consumenten bevatten deze

eventueel gecorrigeerde concentraties. Op basis hiervan worden de verschillende grazersfluxen berekend.

Wanneer gewerkt wordt met een lumped biomassamodel dan worden de gewenste primaire consumenten dynamisch gemodelleerd. De biomassa (in $g C/m^3$) wordt telkens berekend op basis van de berekende fluxen door primaire consumenten. Deze fluxen worden berekend op dezelfde wijze als voor de forcing function aanpak.

Voor gestructureerde modellering worden de verschillende klassen van een soort (-engroep) als afzonderlijke toestandsvariabelen gemodelleerd. Door middel van een 'vlaggetje' wordt aangegeven welke toestandsvariabelen tot dezelfde soort behoren en dus in elkaar over kunnen gaan. Voor eenvoudige gestructureerde modellering van generatieklassen kan gewerkt worden met alleen de toestandsvariabelen: biomassa (in $g C/m^3$) per klasse. Er is rekening gehouden met twee modelopties. Bij de eerste optie wordt alleen de totale biomassa per klasse berekend. Een tweede mogelijkheid berekent de populatiegrootte en lichaamsgewicht afzonderlijk waarbij één van beide variabelen als forcing function wordt opgelegd. In dit geval hoeft ook alleen de biomassa per klasse berekend te worden.

Bij gecompliceerdere methoden van gestructureerde modellering moeten de populatiegrootte en het lichaamsgewicht apart berekend worden. Dit is bijvoorbeeld noodzakelijk als gewichtsklassen worden gemodelleerd of als processen afhankelijk worden gesteld van het lichaamsgewicht. Per klasse moeten dan twee toestandsvariabelen worden berekend. Omdat de berekening van de fluxen uitgaat van de biomassa per klasse worden de toestandsvariabelen biomassa per klasse en de populatiegrootte per klasse gekozen. Het lichaamsgewicht kan worden berekend door de biomassa te delen door het aantal individuen in een klasse. Eigenlijk is het lichaamsgewicht een interessantere variabele dan het aantal individuen in de populatie, omdat het gewicht de sturende factor is voor de processen en het criterium waarop gewichtsklassen worden onderscheiden. Het modelleren van het individueel gewicht levert echter problemen op bij het berekenen van transportfluxen. Transportfluxen worden berekend uit de hydrodynamica en concentraties. Het individuele gewicht is geen concentratie aangezien dit is uitgedrukt per individu. Toestandsvariabelen moeten worden uitgedrukt per m^3 .

4.2 Processen en fluxen

4.2.1 Overzicht van fluxen

Door de graasactiviteit van primaire consumenten vinden verschillende omzettingprocessen plaats. In het discussiedocument in bijlage B zijn de verschillende processen uitgebreider beschreven. De processen die zich in primaire consumenten afspelen zijn:

- opname
- respiratie
- excretie
- mortaliteit
- reproductie

Het opnameproces bestaat uit verschillende deelprocessen:

- filtratie
- ingestie
- pseudofaecesproductie
- opname
- faeces productie

In figuur 4.1 zijn de stofstromen (fluxen) die door de bovenstaande processen ontstaan schematisch weergegeven. In deze figuur is uitgegaan van een filterfeeder die op de bodem leeft. Voor een filterfeeder die in de waterkolom leeft spelen alle processen zich af binnen het watersegment en vallen de toestandsvariabelen detritus in de bodem samen met die in het water. Voor een deposit-feeder, die bodemdeeltjes eet, spelen alle processen zich juist in het bodemcompartiment af.

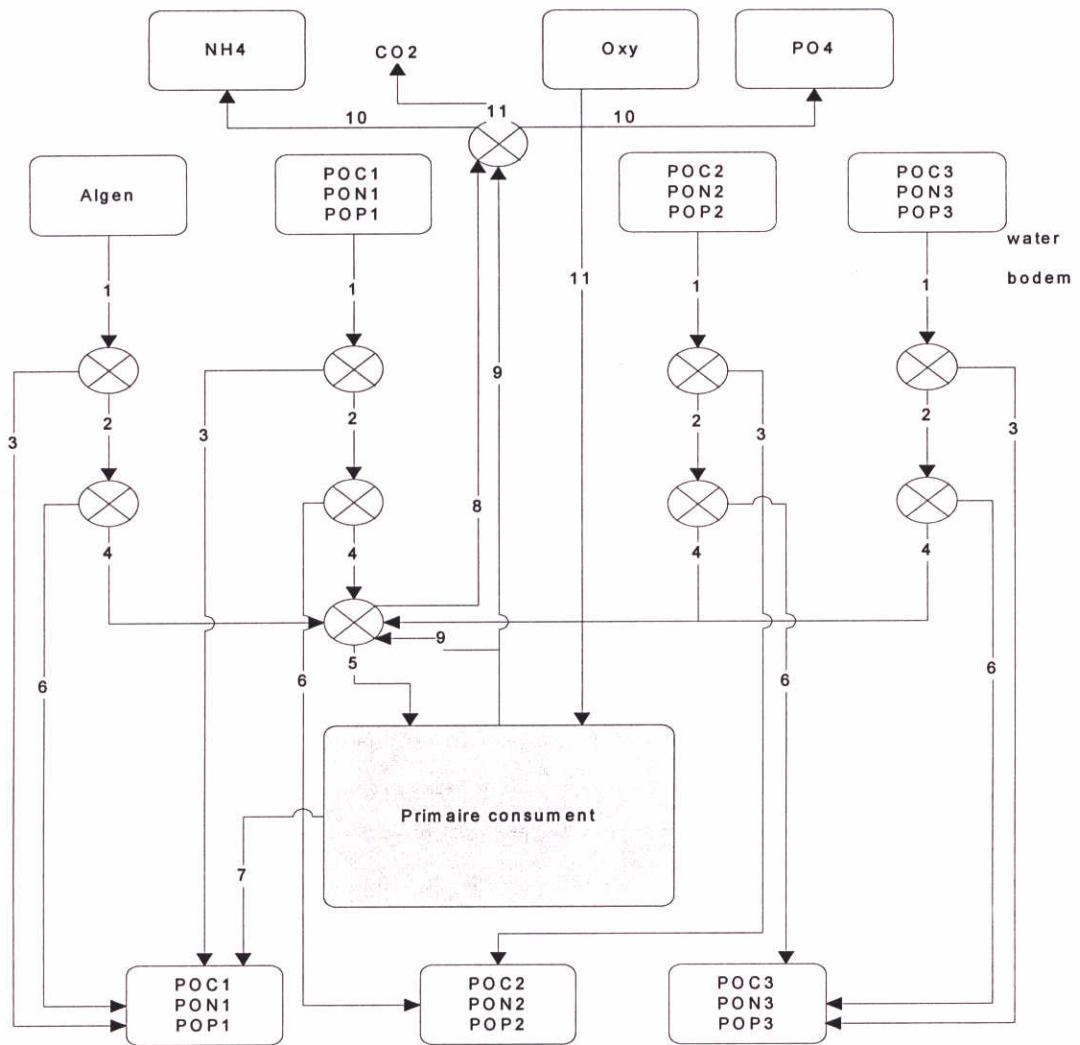
Enkele van de genoemde toestandsvariabelen in figuur 4.1 zijn gegroepeerd weergegeven. De variabele 'algen' zal in het algemeen bestaan uit meerdere algensoorten of -typen. Ook de drie in GEM onderscheiden detritusfracties zijn als groep variabelen weergegeven: particular organic carbon, particular organic nitrogen en particular organic phosphorus. In het geval dat ook zoöplankton wordt gemodelleerd dan ondergaat dat in werkelijkheid een soortgelijke procesgang door filterfeeders als fytoplankton. Voor dit technisch ontwerp is deze extra complicatie buiten beschouwing gelaten, omdat niet verwacht wordt dat deze verfijning in dit stadium van belang is voor GEM. De groeiflux voor primaire consumenten is het totaal van de fluxen: omzetting van voedingsstoffen in lichaamsweefsel, mortaliteit en energieverbruik (flux 5, 7, 10 en 11). Reproductie leidt tot het verschuiven van biomassa naar de laagste klassen. In een lumped biomassamodel of een forcing function benadering speelt reproductie geen rol omdat de biomassa bij dezelfde toestandsgrootte blijft.

4.2.2 Toelichting bij de fluxen

Filtratie

Bij filtratie wordt een bepaald volume water (of bodem in het geval van deposit-feeders) gefiltreerd. Niet alle voedselcomponenten (algen en detritusfracties) worden hierbij altijd voor 100% uit het water verwijderd. Dit kan twee oorzaken hebben. Ten eerste kunnen voedselcomponenten te groot of te klein zijn om door de filterfeeders te worden vastgehouden. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren bij kolonies van *Phaeocystis*. Daarnaast selecteren filterfeeders ook actief tussen voedselcomponenten die bruikbaar en minder bruikbaar zijn voor de vertering. In het model worden beide selectiemechanismen gevat in één selectieparameter per voedselcomponent die de fractie weergeeft van het gefiltreerde materiaal dat daadwerkelijk wordt vastgehouden. De netto filtratie komt overeen met de bruto filtratie maal deze selectieparameter.

Figuur 4.1: overzicht van stofstromen door activiteiten van primaire consumenten



Legenda:

- flux
- toestandsvariabele
- ⊗ verdeling van een flux over meerdere toestandsvariabelen

De fluxen in figuur 4.1 zijn genummerd en behoren bij de volgende processen:

1. filtratie
2. ingestie
3. productie van pseudofaeces
4. opname van voedingsstoffen
5. omzetting van voedingsstoffen in lichaamsweefsel
6. productie van faeces
7. mortaliteit
8. excretie van ongebruikte voedingsstoffen i.v.m. stochiometrie
9. energieverbruik (respiratie + excretie)
10. excretie van ammonium en fosfaat
11. respiratie

Ingestie

Van de gefiltreerde hoeveelheid voedselcomponenten wordt meestal ook alles opgenomen in het maag-darmkanaal van het organisme. Mosselen vormen hierop een uitzondering aangezien zij bij een voedseloverschot een deel afzetten op de bodem in de vorm van pseudofaeces. De ingestie is in dat geval dus gelijk aan de filtratie minus de pseudofaecesproductie.

Productie van pseudofaeces

Pseudofaeces wordt alleen geproduceerd wanneer er een voedseloverschot is en enkel door bepaalde organismen (bijvoorbeeld mosselen). Mosselen gebruiken de pseudofaeces als stabilisatiemiddel voor de mosselplaat. De mosselen mengen het niet gebruikte gefiltreerde materiaal met slijmerige excretieproducten. In het model wordt alleen een fractie van het gefiltreerde materiaal op de bodem afgezet. Detritus behoudt daarbij dezelfde samenstelling als het gefiltreerde materiaal (het wordt alleen getransporteerd naar het bodemsegment). Algen sterven daarbij echter en worden in het model omgezet naar de eerste detritusfractie in de bodem. Het organisme selecteert bij de productie van pseudofaeces tussen bruikbare en minder bruikbare voedselcomponenten. De pseudofaeces bevat dus relatief meer van de slecht verteerbare bestanddelen en is minder goed verteerbaar dan het materiaal dat geïngesteerd wordt.

Opname van voedingsstoffen

Van de ingestie wordt maar een gedeelte opgenomen door de darmen. De opname-efficiëntie verschilt per voedselcomponent. Van algen wordt circa 60% opgenomen; van refractair detritus veel minder.

Omzetting van voedingsstoffen in lichaamsweefsel

De samenstelling in koolstof, stikstof en fosfor van de opgenomen voedingsstoffen komt over het algemeen niet overeen met de samenstelling van de primaire consument zelf. Er wordt in de module uitgegaan van een vaste stochiometrie van de primaire consument. Van de drie elementen (C, N en P) wordt gecontroleerd welk element beperkend is voor de groei. Aan de hand van dit element wordt bepaald hoeveel van de totaal opgenomen hoeveelheid voedingsstoffen wordt gebruikt voor de groei van het organisme. Het overschot aan elementen wordt uitgescheiden (zie excretie). De N en P die vrijkomen bij de verbranding kunnen worden gebruikt als aanvulling op de opgenomen N en P.

Productie van faeces

Het deel van de ingestie dat niet via de darmen wordt opgenomen, wordt uitgescheiden in de vorm van faeces. Nadat het materiaal de darmen is gepasseerd is het veranderd van samenstelling. Door het verblijf in de darmen zijn de meest bruikbare voedselcomponenten eruit opgenomen en is de rest van het materiaal onder invloed van verteringssappen verder verteerd. In het model is dit zo geformuleerd dat alle voedselcomponenten een

mineralisatiestap doorschuiven. Niet opgenomen algen worden uitgescheiden als detritus van de eerste (best verteerbare) detritusfractie. De eerste detritusfractie wordt uitgescheiden als de tweede, de tweede als de derde en de derde fractie blijft de derde fractie (refractair detritus).

Mortaliteit

Mortaliteit kan worden onderscheiden in natuurlijke mortaliteit en mortaliteit door predatie. In het geval van natuurlijke mortaliteit wordt de dode primaire consument omgezet naar de eerste detritusfractie. In het geval van mortaliteit door predatie vindt omzetting plaats naar toestandsvariabelen die niet in GEM voorkomen zoals vogels en vissen. Uiteindelijk komen ze dan toch gedeeltelijk in de detrituspool terecht. Ten behoeve van de eenvoud wordt ook bij mortaliteit door predatie, de biomassa aan primaire consumenten omgezet naar de eerste detritusfractie in het segment waar het organisme zich op het moment van sterven bevindt. Voor zoöplankton is dit een watersegment, voor bodemdieren de bodem. Er wordt met andere woorden slechts een gelumpete sterfteterm beschouwd.

Excretie van ongebruikte voedingsstoffen i.v.m. stochiometrie

Niet alle opgenomen voedingsstoffen kunnen worden omgezet in lichaamweefsel van primaire consumenten (zie onder: 'omzetting van voedingsstoffen in lichaamweefsel'). De overtollige voedingsstoffen worden afgevoerd via excretie. In werkelijkheid gebeurt dit in de vorm van labiele opgeloste organische verbindingen. In GEM bestaat deze toestandsvariabele echter niet. Er is aangenomen dat deze organische verbindingen zeer snel mineraliseren tot ammonium, ortho-fosfaat en koolstofdioxide. De overtollige stikstof en fosfor worden in GEM dus via excretie omgezet in ammonium en ortho-fosfaat. Overtollige koolstof verdwijnt als koolstofdioxide (dat ook geen toestandsvariabele is in GEM).

Energieverbruik (respiratie + excretie)

De energie die de primaire consument nodig heeft om te leven en zijn voedsel te vergaren wordt geleverd door verbranding van een gedeelte van zijn eigen biomassa. Hierbij worden de koolstofelementen geoxydeerd tot koolstofdioxide. De stikstof en fosfor die door de verbranding worden vrijgemaakt worden afgevoerd via excretie.

Excretie van ammonium en ortho-fosfaat

Stikstof en fosfor komen vrij bij de verbranding van lichaamweefsel en als bijproduct bij de opname. Ze worden afgevoerd als ammonium en ortho-fosfaat via excretie.

Respiratie

De koolstofdioxide die bij de verbranding vrijkomt wordt afgegeven naar de waterkolom. De benodigde zuurstof wordt onttrokken aan de waterkolom. Koolstofdioxide is in GEM geen toestandsvariabele.

4.3 Uitvoer primaire consumenten

De modeluitvoer bestaat in de eerste plaats uit de berekende c.q. gecorrigeerde concentraties van de grazers (toestandsgrootheden) in g C. m^{-3} .

In de tweede plaats worden een aantal procesfluxen uitgevoerd. Ten behoeve van de overzichtelijkheid van de uitvoer voor de gebruiker is het nuttig om de veelheid aan fluxen te reduceren tot de meest interessante fluxen. Het aantal fluxen in de berekening kan sterk oplopen wanneer er bijvoorbeeld 14 BLOOM-algen worden gemodelleerd (zoals in de pilottoepassingen van GEM) en een gestructureerd model voor primaire consumenten met bijvoorbeeld 5 klassen wordt gebruikt. Als iedere flux van voedselbron naar consument apart wordt weggeschreven dan is de uitvoer niet meer overzichtelijk. Er moet daarom een keuze worden gemaakt, welke uitvoer gewenst wordt.

De volgende uitvoervariabelen zijn geselecteerd:

- som van alle algen,
- som van primaire consumenten per groep (zoöplankton, benthische filterfeeders en deposit-feeders),
- som van alle klassen per gestructureerd gemodelleerde primaire consument.

Er zijn binnen de structuur van DELWAQ twee manieren om gesommeerde uitvoer te genereren over meerdere algen of primaire consumenten. De eenvoudigste manier is om de gewenste sommatie aan het einde van de module uit te voeren en weg te schrijven. Een andere manier maakt gebruik van de balans die DELWAQ standaard voor iedere toestandsvariabele maakt van alle fluxen die erop werken. Door een schaduwvariabele mee te modelleren die een som is van de gewenste algen of primaire consumenten, wordt door DELWAQ automatisch een totale balans opgesteld voor alle fluxen voor die variabele.

De laatste methode is complexer te modelleren maar levert wel een completer beeld. Er wordt in eerste instantie dus gekozen voor het modelleren van schaduwvariabelen.

4.4 Structuur primaire consumentenmodule

4.4.1 Inleiding

Er is gekozen voor een ontwerp met drie modules:

1. graasmodule
2. groei module
3. klassenmodule

In de graasmodule worden de fluxen berekend zoals die in schema 4.1 zijn aangegeven. Dit wordt gedaan op basis van een biomassa van primaire consumenten die ofwel als forcing function is gegeven ofwel berekend wordt in de groei module. De groei module kan alleen werken als er minstens één primaire consument als DELWAQ-toestandsgrootheid is gedefinieerd. De wijze waarop de groei wordt berekend is afhankelijk van het type model

dat wordt gebruikt. Het type van de modellering kan door middel van een switch door de gebruiker worden opgegeven: 1 = forcing function, 2 = lumped biomassamodel etc.. Wanneer gekozen wordt voor een gestructureerd model dan worden de overgangen tussen de klassen geregeld in de klassenmodule.

4.4.2 Graasmodule

De graasmodule berekent de fluxen voor alle primaire consumenten tegelijk. De module is opgebouwd uit de volgende blokken:

1. invoer
2. bereken lichaamsgewicht voor gestructureerd model
3. bereken filtervolume en voedselconcentraties
4. check op filtervolume
5. filtratie
6. pseudofaeces productie
7. ingestie
8. opname
9. stochiometriecorrectie opname
10. faecesproductie
11. energieverbuik (respiratie en excretie)
12. excretie i.v.m. stochiometrie
13. mortaliteit

De wijze waarop de procesfluxen 4 t/m 12 worden berekend staat beschreven in paragraaf 4.2.2. De overige blokken worden in het onderstaande nader toegelicht

Invoer

Als invoer voor de graasmodule dienen:

- de biomassa's en aantallen van alle primaire consumenten en de concentraties van alle voedselcomponenten (algen en detritusfracties) per segment. De biomassa van de primaire consumenten kan als forcing function worden opgegeven of dynamisch berekend worden. Het is ook mogelijk dat sommige primaire consumenten als forcing function worden opgegeven en andere als toestandsvariabele.
- de stochiometrie (C, N en P) per primaire consument,
- selectiefactoren per primaire consument en per voedselcomponent (voor filtratie en voor pseudofaecesproductie). Als default staan alle preferentiefactoren op 1 voor filtratie en op 0 voor pseudofaecesproductie,
- opname-efficiënties per primaire consument per voedselcomponent,
- nominale filtercapaciteit per primaire consument,
- specifieke parameters voor mortaliteit, excretie en respiratie per primaire consument,
- parameters die de temperatuursafhankelijkheid per proces aangeven,
- een parameter die aangeeft of het een filterfeeder of een deposit-feeder betreft,
- andere procesparameters, afhankelijk van de gewenste detaillering van de procesformuleringen.

Nota bene: het totaal aantal door het model gebruikte constantes kan flink oplopen, doordat ze afhangen van het product van het aantal algen types maal het aantal grazertypen. Het ligt echter voor de hand dat de gebruiker hiervan weinig zal behoeven te merken omdat vaak met een defaultwaarde gewerkt zal worden.

Bereken lichaamsgewicht voor gestructureerd model

Voor primaire consumenten in een gestructureerd model waarbij de levensprocessen afhankelijk worden gesteld van het individueel gewicht moet eerst het individueel gewicht worden berekend uit de populatiegrootte en de totale biomassa. Wanneer de populatiegrootte niet afzonderlijk wordt berekend (lumped biomassa), dan is het geen toestandsvariabele en staat de defaultwaarde op 1.

Bereken filtervolume en voedselconcentraties

Afhankelijk van de positie van de primaire consument en de wijze van voedsel vergaren wordt een volume in het eigen segment of het bovenliggend watersegment gefiltreerd. Filterfeeders in de waterkolom filtreren water in het eigen segment. Filterfeeders op de bodem worden als onderdeel van het bodemsegment gemodelleerd en ze filtreren water in de bovenliggende watersegmenten. Deposit-feeders, die in de bodem leven, filtreren een volume van het bodemsegment.

In dit blok van de module worden berekend:

- het totaal van de filtervolumes dat per segment door alle primaire consumenten uit dat segment worden gefiltreerd
- de concentratie van alle voedselcomponenten in het gefiltreerde volume per primaire consument per segment.

Om de relatie te leggen tussen filterfeeders in een bodemsegment en de bovenliggende watersegmenten wordt een bestaande GEM-routine gebruikt: makkol. Deze routine wordt ook gebruikt voor resuspensie en sedimentatieprocessen in GEM.

Check op filtervolume

Het is bekend dat filterfeeders soms grote hoeveelheden water per dag filtreren. Wanneer een te grote tijdstap wordt gekozen kan het zijn dat er gedurende de tijdstap meer water gefiltreerd wordt dan er in het segment aanwezig is. De concentratie is dan door de eerdere filtratie eigenlijk lager dan door het model wordt aangenomen. De filtratie van voedselcomponenten kan dan de draagkracht van het segment overschrijden, waardoor negatieve concentraties ontstaan.

In dit blok van de module wordt:

- gecontroleerd of het in het vorige blok berekende totale filtervolume per segment groter is dan het segmentvolume,
- als dit zo is worden de filtervolumes en biomassa's (als die geen toestandsgrrootheid zijn) van alle primaire consumenten evenredig verminderd zodat het totaal gefiltreerde volume precies gelijk is aan het beschikbare volume,

- er wordt een waarschuwing gegeven in welke segmenten het gefiltreerd volume het beschikbare volume overschrijdt.

4.4.3 Groeimodule

De groeimodule is opgebouwd uit de volgende blokjes:

1. invoer
2. check op het type model
3. biomassaverandering
4. populatieafname in een gestructureerd model met dynamische populatie
5. reproductie

Voor de formules in de groeimodule geldt:

B	=	biomassa (gC/m ³)
N	=	populatiegrootte (aantal/m ³)
W	=	lichaamsgewicht (gC/individu)

Invoer

Als invoer voor de groeimodule dienen:

- de toestandsvariabelen voor de biomassa van de primaire consumenten,
- eventueel de toestandsvariabelen voor het lichaamsgewicht,
- de berekende fluxen voor opname, excretie, respiratie en mortaliteit uitgedrukt in gC/dag per toestandsvariabele zoals die berekend zijn in de graasmodule,
- per toestandsvariabele een parameter die aangeeft op welke wijze wordt gemodelleerd,
- tijdfunctie per parameter die aangeeft op welk moment reproductie plaatsvindt.

Check op het type model

Er zijn vijf typen van modellen waarvoor de biomassa wordt aangepast aan de berekende procesfluxen:

1. lumped biomassamodel
2. gestructureerd biomassamodel
3. gestructureerd biomassamodel waarbij het lichaamsgewicht als forcing function is opgegeven
4. gestructureerd biomassamodel waarbij de populatiegrootte als forcing function is opgegeven
5. gestructureerd model waarbij zowel de biomassa als de populatiegrootte als toestandsvariabelen worden berekend.

Een parameter (waarden 0 - 5) geeft aan op welke van deze wijzen wordt gemodelleerd. Voor ieder type model wordt de aanpassing van de biomassa op eigen wijze berekend.

Biomassaverandering in lumped biomassamodel

De biomassaverandering in een lumped biomassamodel (modeltype parameter = 1) wordt berekend volgens:

$$dB/dt = \text{opname} - \text{excretie} - \text{respiratie} - \text{mortaliteit}$$

Reproductie

Voor de primaire consumenten in een gestructureerd model (modeltype parameter groter dan 1) waarvoor de tijdfunctie voor reproductie groter is dan 0 wordt de biomassaflux berekend die gebruikt wordt voor reproductie. Door de vorm van de tijdfunctie kan worden aangegeven hoe de reproductie over de tijd wordt verdeeld. Zo kan flexibel worden overgeschakeld van een reproductie tijdens één tijdstap naar reproductie over een langere periode.

Biomassaverandering in een gestructureerd model

De biomassaverandering in een gestructureerd model (modeltype parameter groter dan 1) wordt berekend volgens:

$$dB/dt = \text{opname} - \text{excretie} - \text{respiratie} - \text{mortaliteit} - \text{reproductie}$$

De biomassa die hier onttrokken wordt voor de reproductie, wordt in de klassenmodule overgezet naar de eerste klasse van de betreffende primaire consument.

Berekening voor gestructureerd model met dynamische populatie

Als de parameter voor het type model gelijk is aan 5 dan wordt de verandering van de populatiegrootte berekend volgens:

$$dN/dt = (-\text{mortaliteit} / B_{(t-dt)}) * N_{(t-dt)}$$

4.4.4 Klassenmodule

De klassenmodule onderscheidt zich van andere procesmodulen doordat deze rekent met de zogenaamde fractional step methode. Normaal gesproken wordt voor de berekening van procesfluxen en transportfluxen uitgegaan van dezelfde uitgangskonzentraties. De nieuwe concentratie in het segment wordt dan berekend uit de oude concentratie en de som van de processenflux en de transportflux. Bij de overgang tussen klassen moet alle biomassa uit de ene klasse overgezet worden naar een andere klasse. In de klasse waaruit de biomassa wordt verplaatst moet de nieuwe biomassa nul worden. Bij een klassieke benadering zou de procesflux zo moeten worden gedefinieerd dat het totaal van de procesflux en de transportflux precies nul is. Anders kunnen negatieve concentraties worden berekend. Om dit te omzeilen is de fractional step methode toegepast.

Bij de fractional step methode worden eerst de procesfluxen berekend. Op basis van de procesfluxen worden voor alle toestandsgrootheden nieuwe concentraties berekend. Deze nieuwe concentraties worden gebruikt voor het berekenen van transportfluxen. Wanneer na de procesfluxen een grootheid nul is dan wordt die na de transportflux nooit negatief. Het zelfde principe is al eerder toegepast voor de overgangen tussen fenotypes in BLOOM.

In de klassenmodule kunnen de volgende blokken worden onderscheiden:

1. invoer
2. berekening van aantallen en gewichten in gestructureerde modellen
3. overgang gewichtsklassen
4. overgang generatieklassen
5. reproductie
6. nieuwe waarden voor toestandsgrootheid

Invoer

Voor de klassenmodule is de volgende invoer nodig:

- alle toestandsvariabelen voor primaire consumenten;
- de reproductiefluxen die berekend zijn in de groeimodule;
- een tijdfunctie die aangeeft of generatieklassen moeten doorschuiven. Deze hoeft niet gelijk te zijn aan de tijdfunctie voor reproductie in de groeimodule. Wanneer de reproductie wordt verdeeld over meerdere tijdstappen dan moeten alleen aan het begin van de reproductieperiode de klassen doorschuiven;
- een parameter die aangeeft of het een gewichtsklasse betreft of een generatieklasse;
- de bovengrenzen van gewichtsklassen (maximum individueel gewicht) indien van toepassing;
- een parameter die aangeeft of de toestandsvariabele deel uitmaakt van een gestructureerd model. Het moet ook mogelijk zijn om bijvoorbeeld mosselen gestructureerd te modelleren en zoöplankton als forcing function;
- een parameter om aan te geven dat een toestandsgrootheid van biomassa en van populatiegrootte bij dezelfde klasse behoren;
- een parameter om aan te geven welke rangorde de klasse inneemt ten opzichte van de andere klassen (van licht naar zwaar of van jong naar oud).

Berekening aantallen en gewichten in gestructureerde modellen

Als de parameter voor het type model gelijk is aan 3 dan wordt de populatiegrootte berekend volgens:

$$N = B / W$$

Als de parameter voor het type model gelijk is aan 4 of 5 dan wordt het lichaamsgewicht berekend volgens:

$$W = B / N$$

Overgang gewichtsklassen

Het gewicht van de klasse wordt gecheckt aan de bovengrens van de klasse. Als de bovengrens overschreden wordt dan schuift alle biomassa en alle individuen uit die klasse door naar de klasse van dezelfde soort (-engroep) met een hoger rangordnummer.

Overgang generatieklassen

Als de tijdfunctie die aangeeft wanneer het doorschuiven plaatsvindt groter is dan 0 dan schuiven de biomassa en individuen door naar de klasse van dezelfde soort (-engroep) met een rangnummer dat 1 hoger is dan het oude nummer.

Reproductie

Voor alle klassen van een soortengroep wordt de totale biomassa voor reproductie berekend met behulp van de reproductieflux uit de groeimodule. Deze biomassa wordt overgezet naar de klasse van die soort (-engroep) met het laagste rangordnummer.

Nieuwe waarden toestandsgrootheid

In verband met de fractional step methode moeten in deze module nieuwe concentraties worden bepaald, waarmee de transportfluxen kunnen worden berekend. De procesfluxen worden op nul gezet om te voorkomen dat ze dubbel worden berekend.

5 Disaggregatie in ruimte en tijd

5.1 Definitie

Uitgangspunten

Het algoritme voor (dis)aggregatie in ruimte en tijd moet er voor zorg dragen dat enerzijds de beschikbare informatie van de hydrodynamica zoveel mogelijk wordt meegenomen bij de berekening van transport van stoffen en organismen en anderzijds de toepassing van het ecologische model niet onnodig wordt geremd door een hoge rekenlast wanneer transport met een hoge resolutie wordt gemodelleerd. Verder is het van belang dat een flexibele toepassing op basis van eenvoudige definiëring en aansturing van de verschillende aggregatieniveaus wordt gerealiseerd.

Huidige situatie

De ecologische modellering op basis van een over tijd en ruimte geaggregeerde waterbeweging is reeds mogelijk met bestaande programmatuur. Met het pakket DIDO kan interactief een geaggregeerd grid worden aangemaakt op basis waarvan uitvoer van de hydrodynamische modellen WAQUA en TRISULA door een koppelingsprogramma wordt geconverteerd naar invoer voor DELWAQ. DELWAQ berekent vervolgens stoftransport en proceskinetiek op het geaggregeerde grid.

Ruimtelijke ont koppeling

Navolgende methodiek beoogt details van de waterbeweging en het bijbehorende stoftransport op een fijn grid mee te nemen bij de berekening van ecologische en waterkwaliteitsprocessen op een geaggregeerd grid. Dit is met name van belang wanneer in bepaalde perioden op delen van het grid het stoftransport een dominante invloed heeft op de concentraties en er voor deze situatie eigenlijk gerekend zou moeten worden op een fijn grid maar dit niet haalbaar is vanwege de complexiteit van de gemodelleerde proceskinetiek.

Er wordt als volgt te werk gegaan. Uitgaande van de (initiële) concentratieverdeling op het fijne grid, wordt de verdelingsstructuur binnen een geaggregeerde gridcel vastgelegd. Op basis van de gemiddelde concentratie en massa wordt voor de geaggregeerde gridcel de massaverandering als gevolg van waterkwaliteits- en ecologische processen berekend. Vervolgens wordt op basis van de opgeslagen ruimtelijke verdeling een concentratie berekend voor deze massa op het fijne grid. Op basis hiervan worden op het fijne grid de transportfluxen berekend en een nieuwe verdelingsfunctie. Met het resultaat vangt een nieuwe cyclus aan. Deze methodiek kan worden uitgebreid naar meerdere geaggregeerde

grids. Op ieder grid wordt een subset van procesfluxen berekend. Wanneer fluxen van niet-lineaire processen worden berekend dan wijkt de flux, berekend op basis van het gemiddelde, sterk af van de flux van de afzonderlijke sub-gridcellen. De gebruiker moet zich hiervan bewust zijn. Het zou in de toekomst ook aan te bevelen zijn hiervoor een waarschuwing in te bouwen.

Ontkoppeling in de tijd

DELWAQ berekent stoftransport en proceskinetiek op basis van dezelfde tijdstap. Dit is niet efficiënt wanneer de numerieke oplossingsmethode voor transport een veel kleinere tijdstap eist in vergelijking tot die van de processen. Tevens kunnen de karakteristieke tijdschalen van de gemodelleerde processen onderling grote verschillen vertonen. Ontkoppeling van transport en (sets) van processen door deze met verschillende tijdstappen op te lossen kan tot een belangrijke verbetering van de rekentijd leiden. Deze ontkoppeling wordt als volgt vorm gegeven. Stel er wordt onderscheid gemaakt tussen transport, snelle processen en langzame processen. De optredende concentratie wordt dan berekend als een numerieke benadering van

$$c_t = \int q_{transport} dt + \int q_{snelle\ processen} dt + \int q_{langzame\ processen} dt + c_0$$

In plaats van:

$$c_t = \int (q_{transport} + q_{langzame\ processen} + q_{snelle\ processen}) dt + c_0$$

In deze benadering is het essentieel dat begin- en eindtijdstip van de partiële integraties gelijk zijn omdat op zo'n "gesynchroniseerd" tijdstip pas geldt dat de eerste vergelijking gelijk is aan de tweede en daarmee aan de modelvergelijking.

Combinatie van ontkoppelingen

In de combinatie van ruimtelijke ontkoppeling en van de ontkoppeling in de tijd schuilt de grote kracht van deze benadering. Om de situatie werkbaar te houden lijkt het echter geen al te grote beperking om te verlangen dat per ruimtelijk aggregatieniveau, één tijdsintegratie wordt gehanteerd.

5.2 Functioneel ontwerp

Procesdecompositie: ruimtelijke ontkoppeling

Momenteel kent DELWAQ één gridsysteem gedefinieerd op basis van uitwisselingen tussen segmenten. Per segment worden de procesfluxen berekend. Op basis van de uitwisselingen worden de transportfluxen berekend. Dit gridsysteem wordt in het vervolg aangeduid als het transportgrid. DELWAQ gaat over van 1 naar n gridsystemen waarbij gridsysteem 1 per definitie het transportgrid en ook het fijnste grid is. Gridsysteem 2 wordt gedefinieerd middels een afbeeldingsfunctie waarbij ieder segment van het transportgrid wordt toegewezen aan één van de segmenten van gridsysteem 2. Hierbij is het aantal segmenten van gridsysteem 2 altijd kleiner dan of gelijk aan het aantal segmenten van het transportgrid. Gridsysteem i ($i=3..n$) wordt op overeenkomstige wijze gedefinieerd waarbij voor de afbeeldingsfunctie één van de $1/t/m$ $i-1$ grids als referentie kan worden gebruikt. Ook hier geldt dat het aantal segmenten van het grid kleiner dan of gelijk is aan het aantal segmenten van het referentiegrid.

Voor gridsysteem 1 (= transportgrid) worden de transportfluxen voor alle stoffen berekend conform het huidige DELWAQ algoritme. Aan gridsysteem 2 wordt een subset van de DELWAQ stoffen toegekend. Aan gridsysteem i ($i=3..n$) wordt een subset van de stoffen van het referentiegrid voor dat subsysteem toegekend. Voor de gridsystemen 2 t/m n wordt voor de daaraan toegekende stoffen de procesfluxen en de hieruit voortvloeiende concentratieveranderingen berekend. Dit illustreert het feit dat ieder gridsysteem een aggregatie van zijn referentiegrid betekent.

De definitie uit hoofdstuk paragraaf 5.1 voor de ontkoppeling van het transportproces en de waterkwaliteitsprocessen verdient een kleine aanpassing in de berekening van de vormfuncties wanneer proces-sets onderling ontkoppeld worden.

Stel grid j is gedefinieerd middels een afbeeldingsfunctie op basis van grid i . Voor ieder segment van grid j wordt op basis van de afbeeldingsfunctie de massa berekend als het totaal van de massa's van de bijbehorende segmenten van grid i (voor de aan grid j toegekende stoffen). Vervolgens wordt een vormfunctie berekend door voor ieder segment van grid i de massa te delen door de massa van het segment van grid j waarnaar de afbeeldingsfunctie verwijst. Voor grid j worden de procesfluxen berekend. Op basis van de procesfluxen worden de massa's aangepast. Vervolgens worden de berekende massa's op basis van de vormfunctie teruggeschaald naar grid i . Deze procedure wordt herhaald voor alle gridsystemen.

Ontkoppeling in de tijd

Momenteel kent DELWAQ één tijdstap voor transport en processen. Deze wordt uitgebreid naar n tijdstappen waarbij tijdstap 1 per definitie de kleinste tijdstap is. Met deze tijdstap wordt het transport berekend (= transporttijdstap). Alle andere tijdstappen zijn een geheel aantal malen groter dan de transporttijdstap. Aan iedere tijdstap i wordt een subset van processen toegekend. Hierbij mag een proces slechts één keer aan een tijdstap worden toegekend. Voor de transporttijdstap wordt het transport en de bijbehorende procesfluxen berekend conform het huidige DELWAQ algoritme. Wanneer het modeltijdstip gelijk is aan een geheel aantal malen tijdstap i worden de bij tijdstap i behorende procesfluxen berekend en de hieruit voortvloeiende massaveranderingen doorgevoerd. Per ruimtelijke decompositie wordt vooralsnog uitgegaan van één tijdstap systeem. De procesflux wordt altijd berekend op basis van de concentratie tijdens de vorige tijdstap van het betreffende proces.

5.3 Technisch ontwerp

DELWAQ kan worden beschouwd als een drie-traps raket. Eerst wordt alle verstrekte invoer geïnterpreteerd en geconverteerd naar zogenaamde WORK-files (DELWAQ1). Vervolgens wordt vastgesteld welke processen van de processenbibliotheek dienen te worden aangeschakeld (DELWAQ1P). Vervolgens wordt de simulatie verzorgd door DELWAQ2. De source-code van DELWAQ1 en DELWAQ2 moet worden aangepast. De aanpassingen worden navolgend gepresenteerd.

Implementatie in DELWAQ1

DELWAQ 5.0 is keyword georiënteerd. Er worden nieuwe keywords geïntroduceerd om één en ander te kunnen invoeren in de DELWAQ1 invoerfile.

Invoer gridsystemen en koppeling gridsystemen - stoffen

- Een keyword NEWGRID [naam grid] [naam referentiegrid] [aantal gridcellen] waarmee wordt aangegeven dat een extra gridsysteem wordt gedefinieerd. Vervolgens wordt een tabel met integers verwacht die het grid definieert op basis van het referentiegrid. De invoer kan behoudens enkele kleine aanpassingen conform de huidige conventies voor de invoer van segmentafhankelijke variabelen plaatsvinden.
- Het keyword SUBSTANCE [naam stof] [naam grid] dient om stoffen te definiëren. Achter dit keyword kan worden aangegeven op welk grid deze moet worden berekend. Bij weglating is gridsysteem 1, het transportgrid, de default.

Invoer timers en koppeling timers - processen

- Een keyword TIMER [naam timer] [tijdstapgrootte] waarmee tijdstappen kunnen worden opgegeven.

- een keyword PROCESS [naam proces] [naam timer] waarmee wordt aangegeven met welke tijdstap een proces wordt berekend. Wanneer aan een proces geen timer wordt toegekend dan is de (kleinste) transporttijdstap de default timer.

Downward compatibility

Door te werken met default zettingen is het geheel downward compatible ten opzicht van een voorgaande versie.

Implementatie in DELWAQ2

In pseudo code kent DELWAQ2 momenteel de volgende procesgang:

```

100 CONTINUE
    Calculate fluxes related to processes
    Construct d(mass)/dt
    Generate output
    IF t =tend THEN
        GOTO 200
    ELSE
        Update d(mass)/dt with fluxes related to waste loads
        Update d(mass)/dt with fluxes related to transport
        t=t+dt
        Update time dependent forcing functions
        mass = mass + dt.d(mass)/dt
    GOTO 100
200 CONTINUE
    END

```

Wanneer processen ontkoppeld in tijd en ruimte worden afgehandeld wordt de DELWAQ2 procesgang:

```

100 CONTINUE
    DO for all fluxesj with tnew - told = dtj
        Compose masses and determine shape function
        Calculate fluxes related to processes
    ENDDO
    Construct d(mass)/dt for processes
    Generate output
    IF t =tend THEN
        GOTO 200
    ELSE
        mass = mass + dt.d(mass)/dt
        Update d(mass)/dt with fluxes related to waste loads
        Update d(mass)/dt with fluxes related to transport
        t=t+dt
        Update time dependent forcing functions
        mass = mass + dt.d(mass)/dt
    GOTO 100
200 CONTINUE
    END

```

Reservering array-ruimte

Behalve het aanpassen van de procesgang moeten tevens extra arrays worden gedimensioneerd om één en ander te kunnen administreren.

Invoer gridsystemen en koppeling gridsystemen - stoffen

Ten eerste moet bekend zijn hoeveel gridsystemen zijn gedefinieerd:

- Aantal gridsystemen: NOGRID

Per gridsysteem IGRID (IGRID=1,NOGRID) moet vervolgens worden geadministreerd:

- Het aantal segmenten NOSEG(IGRID)
- Het referentiegrid integer array (IGRID)

Ieder gridsysteem (behalve het het transportgrid) is gedefinieerd middels een referentiematrix:

- De referentiematrix integer array (NOSEG(IGRID))

Verder moet voor iedere stof bekend zijn tot welk gridsysteem deze behoort:

- koppeling stoffen gridsystemen integer array (NOSYS,NOGRID)

Een aantal bestaande arrays moeten worden uitgebreid. Deze betreffen arrays waarin grootheden als volume en massa worden opgeslagen. Hiervan is nog geen uitputtende lijst opgesteld.

Invoer timers en koppeling timers - processen

Ten eerste moet bekend zijn hoeveel timers zijn gedefinieerd:

- Aantal timers: NOTIM

Per timer moet de tijdstapgrootte worden geadministreerd:

- De tijdstapgrootte IDT(NOTIM)

Verder moet voor iedere procesflux bekend zijn bij welke tijdstapgrootte deze hoort:

- Koppeling timers - fluxen integer array (NOSYS,NOFLUX)

5.4 Implementatie

De procesdecompositie is momenteel op bovenstaande wijze geïmplementeerd. Omdat DELWAQ 5.0 nog niet operationeel is is momenteel de invoer geïmplementeerd via de file "grid.inp". Het formaat wijkt nog af van de hierboven gegeven specificatie en is beschreven bij de documentatie van de software op de installatie CD-ROM.

6 Conclusies en aanbevelingen

Met het technisch ontwerp is een structuur geschapen waarbinnen de modellering van primaire consumenten op flexibele wijze kan worden uitgevoerd. Het is zo opgezet dat voor eenvoudige modellen weinig overbodige berekeningen hoeven te worden uitgevoerd. De drie modulen weerspiegelen de 3 basismethoden voor modellering: forcing functions, lumped biomassamodel en gestructureerd modelleren. Deze modulaire opzet komt de beheersbaarheid ten goede en scheidt ruimte voor een geleidelijk ontwikkeling van de module. Voor het modelleren met forcing functions hoeft alleen de graasmodule te worden geïmplementeerd. Voor een uitbreiding naar een lumped biomassamodel hoeft slechts een gedeelte van de groeimodule te worden geïmplementeerd en kan de graasmodule weer gebruikt worden.

Door de gelijktijdige ontwikkeling van de methode voor disaggregatie in ruimte en tijd is een andere belangrijke voorwaarde geschapen voor het modelleren van primaire consumenten in combinatie met modellen die een grote mate van detail bevatten voor wat betreft de ruimte en tijdschalen. Het detail in overige processen kan worden gehandhaafd terwijl voor de primaire consumenten met een grote tijdstap en een geaggregeerd grid kan worden gerekend.

7 Referenties

Brinkman, A.G., Smaal, A.C., 1997.

Modelling primary consumers in tidal systems,
rapport in het kader van GEM

Riegman, R., Los, H., Peeters, C., 1998.

BEON-GARDEN, Giftige Algen en de Reductie van de Nutriëntenbelasting, Eindrapport,
BEON Rapport nr. 98-4, BEON project NIOZ 95E02, ISSN 0924-6576, april 1998

A Memo: Modelling van primaire consumenten in GEM

Deze memo is opgesteld door Marcel van der Tol als denkkader voor de ontwikkeling van de primaire consumenten modellering in GEM.

A.1 Inleiding.

In het kader van de eerste fase van het GEM-onderzoek (aanzet tot het functioneel ontwerp), werd het volgende ten aanzien van de primaire consumenten gerapporteerd.

“Zoöplankton kan worden beschreven met een biomassamodel, waarbij onderscheid gemaakt moet worden gemaakt voor een beperkt aantal soorten voor zoute, brakke en zoete wateren. De mortaliteit kan in principe met een kwadratische relatie worden beschreven. Ten aanzien van de formuleringen bestaan geen zwaarwegende verschillen van mening.

De benthische suspensieëters worden bij voorkeur met een biomassamodel geschreven. Vanuit de beleidsoptiek geredeneerd, kan het noodzakelijk zijn om een leeftijd of lichaamsgewicht gestructureerd model toe te passen. Onderzocht moet worden of het mogelijk is deze twee typen modellen te combineren. Tevens moet nog worden bepaald, op welke wijze en in welke mate de diverse soorten kunnen worden samengenomen. Ten aanzien van de suspensieëters zal als optie ook de ”forcing” functie worden ingebouwd.

Afgezien van genoemde uitzonderingen zijn er in voldoende mate bruikbare procesformuleringen beschikbaar. Toch is het modelleren van de consumenten niet zodanig ontwikkeld, dat dynamische modellering altijd het beste resultaat levert of dat significante verbeteringen en uitbreidingen niet te verwachten zouden zijn. In detail ontbreekt er nog veel proceskennis. Het GEM dient daarom een open structuur te hebben, zodat nieuwe inzichten kunnen worden ingebouwd.”

Samengevat betekent dit dat er in principe gebruik gemaakt wordt van een biomassamodel, tenzij geredeneerd vanuit gebruiksfuncties (schelpdiercultuur) een leeftijd- of biomassa gestructureerde aanpak noodzakelijk is.

Hieronder geef ik voor beide alternatieven op hoofdlijnen aan welke oplossingen voorhanden zijn.

A.2 Biomassamodel

Voor de biomassamodellen bestaan er twee hoofdgroepen, namelijk forcing functions en dynamische modellen.

A.2.1 Forcing-functions.

Een forcing function kan de voorkeur krijgen wanneer:

- Dynamische voorspellingen m.b.t. de primaire consumenten niet gevraagd worden
- De gebruiker voor de primaire consumenten weinig parameters wenst af te regelen, terwijl er toch een realistische invloed van graas op de primaire consumenten meegenomen moet worden
- Er onvoldoende data zijn om het verloop van de primaire consumenten populatie te kunnen calibreren
- De populatiedynamica vrijwel onafhankelijk is van de stofstromen in het ecosysteem.

Belangrijke nadelen zijn:

- De stofbalansen van de primaire consumenten moeten kunstmatig gesloten gehouden worden, omdat de primaire consumenten niet dynamische kunnen reageren op berekende veranderingen in het voedselaanbod.
- Wanneer de stofbalans momentaan gesloten wordt, dan kunnen er timingsproblemen in de terugleveringsprocessen ontstaan.
- Er geen directe voorspellingen t.a.v. primaire consumenten gemaakt kunnen worden.

Een forcing function methode, waarbij het biomassaniveau aangepast kan worden aan het voedselaanbod is momenteel beschikbaar voor het GEM.

A.2.2 Dynamische modellen

Er zijn vele varianten van dynamische biomassamodellen beschikbaar. Die in detail verschillen door de wijze waarop de graas gemodelleerd wordt en de verliesprocessen inclusief sterfte beschreven worden en de verliezen gealloceerd worden. Een zeer eenvoudig dynamisch biomassamodel is te vinden in SMOES.

De basisvergelijking van dit biomassamodel is:

$$dB(t)/dt = \text{opname} - \text{excretie} - \text{respiratie} - \text{mortaliteit}$$

Cruciaal in deze vergelijking is een kwadratische (y^2)verliesterm in de factor mortaliteit. Deze kwadratische verliesterm is handig voor het afregelen van het gehele model, omdat deze term als een soort sluitpost functioneert. Het model is eenvoudig af te regelen, maar door het ontbreken van een echte structuur, is het in voorspellende zin minder relevant.

Het rapport van IBN-DLO gemaakt in het kader van deze fase van het GEM geeft een generieke beschrijving van een structuur van het biomassamodel. In principe is deze aanpak goed bruikbaar. Discussie kan er zijn over de wijze waarop bijv. preferentie voor voedselgroepen, graasefficiëntie en de mortaliteit gemodelleerd gaat worden. Hiervoor zijn verschillende alternatieve oplossingen mogelijk.

A.2.3 Gestructureerde modellen.

Bij gestructureerde modellen zijn verschillende benaderingen mogelijk. De belangrijkste onderverdeling die gemaakt kan worden is tussen leeftijd- en gewichtsklasse gestructureerde modellen en mengvormen daarvan.

Bij de verschillende beschikbare oplossingen wordt ook in meer of mindere mate gebruik gemaakt van forcing functions.

Gestructureerde modellen kunnen de voorkeur krijgen wanneer de populatiedynamica van de gemodelleerde primaire consument mede bepalend is voor de stofstromen binnen het ecosysteem.

De algemene vergelijking voor een klasse van een gestructureerd model is:

$$dB(t)/dt = N(t) \cdot (dW(t)/dt) + W(t) \cdot (dN(t)/dt)$$

met

B(t): totale biomassa

en

$$B(t) = N(t) \cdot W(t)$$

met

N(t): populatie grootte

W(t): individueel gewicht

A.2.3.1 Gebruik van forcing functions

Met betrekking tot het gebruik van forcing functions kan er sprake zijn van vier hoofdvarianten.

Forcing functions voor zowel het individueel gewicht als voor de populatie

Een forcing function voor de populatie en het individueel gewicht dynamisch

De populatie dynamisch en een forcing function voor het individueel gewicht

Geen forcing functions.

De derde variant is gezien het karakter van de ecologische stofstrommodellering niet relevant. Deze variant maakt richt zich hoofdzakelijk op de populatiedynamica, i.p.v. de ecologische stofstromen. De andere alternatieven worden achtereenvolgens besproken.

Forcing functions voor zowel het individuele gewicht als voor de populatie.

Deze oplossing wordt voor de schelpdieren in SMOES gebruikt. Voordeel van deze benadering is ontegenzeggelijk dat wanneer voor een gegeven bekende toestand voldoende gegevens voorhanden zijn, de invloed van graas op de overige processen in het stroommodel vrij nauwkeurig beschreven kan worden. Nadeel van de methodiek is dat de stofbalans van het stroommodel kunstmatig gesloten moet worden. Daarbij bestaat het gevaar, dat de door het model berekende, voor de primaire consument beschikbare voedsel onvoldoende is om de populatie te onderhouden. Er dienen daarom controle mechanismen ingebouwd te worden om voldoende voedsel voor de schelpdierpopulatie te garanderen.

In voorspellende zin is deze methode minder geschikt. Om toch voorspellingen met het model te kunnen doen ten aanzien van deze primaire consumenten is er voor SMOES een methode ontwikkeld, waarbij de populatiegrootte zo gemanipuleerd wordt dat het berekende voedselaanbod de vereiste individuele groei van de schelpdieren kan onderhouden.

Forcing function voor de populatie en het individueel gewicht dynamisch.

Veel carrying capacity modellen voor schelpdieren maken gebruik van deze oplossing. De populatiegrootte van de eerste gewichts- of leeftijdsklasse is invoer van het model. Verder wordt er dan een specifieke sterfte voor de gehele populatie verondersteld. Het individuele gewicht, wordt daarentegen dynamisch gemodelleerd. Door de individuele productie dynamisch te modelleren kunnen met deze modellen de effecten van het voedselaanbod, bij een gegeven populatiegrootte, onderzocht worden. Deze modellen negeren echter de invloed van de conditie (individueel gewicht en grootte) van de schelpdieren op de populatiedynamica (bijvoorbeeld predatie, verhongering, spawning).

Zowel de populatiedynamica als het individueel gewicht dynamisch.

Bij deze variant dient de populatiedynamica, inclusief manipulatie van het bestand door visserij, volledig dynamisch gemodelleerd te worden. Bovendien dient de onderlinge beïnvloeding van de populatiedynamica en de ontwikkeling van het individueel gewicht meegenomen te worden. In ECOWASP is hiervoor een poging ondernomen. De dynamische beïnvloeding van de populatiedynamica door het individuele gewicht, vindt vooral plaats door middel van de voorspelling van spawning onder invloed van de gewichtontwikkeling. Hoewel deze benadering voor de Westelijke Waddenzee gelukt is, is het de vraag of deze aanpak voor bijvoorbeeld de Oosterschelde succesvol kan zijn. In de Oosterschelde is er nauwelijks sprake van een relatie tussen de stock en de spawning events. De populatiedynamica in de Oosterschelde wordt hoofdzakelijk bepaald door de schelpdiervisserij en stroomafhankelijke processen.

Hoe dan ook er zullen altijd aannames aangaande de populatiedynamica gemaakt moeten worden.

A.2.3.2 De modellering van de populatiestructuur.

Er zijn globaal drie vormen van structuur te onderscheiden.

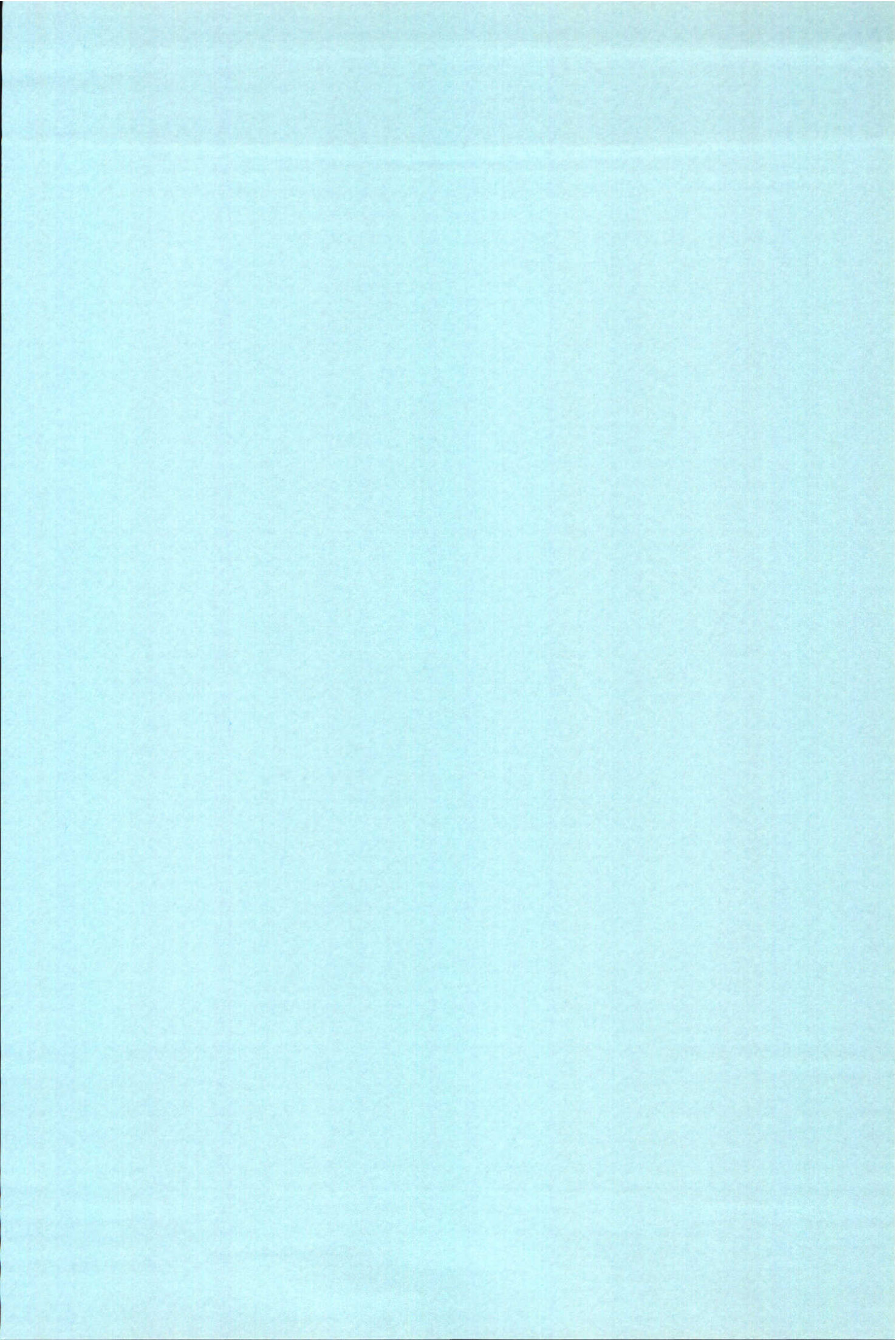
1. jaarklassen
2. generatieklassen
3. gewichtsklassen

De eerste twee varianten kunnen tot de leeftijdklasse gestructureerde modellen gerekend worden. Een belangrijk kenmerk van een leeftijdklasse gestructureerd model is dat er niet meer dan 1 cohort tegelijk in een bepaalde leeftijdsklasse aanwezig kan zijn. De lidmaten van deze leeftijdsklasse hebben op een zeker tijdstip bovendien hetzelfde (gemiddelde) individuele gewicht.

In ECOWASP wordt gesproken van gewichtsklassen, maar feitelijk wordt de verdeling van de individuen over de klassen bepaald door zgn. spawning events. Er is dus sprake van een generatie gestructureerd model.

Voordeel van deze twee varianten is dat het aantal klassen, en dus toestandsvariabelen, beperkt gehouden kan worden. Nadeel van deze twee varianten is dat bij het optreden van "events" op een zekere lokatie, visserij (import, export) en spawning/settling het gewicht van de individuen voorgeschreven wordt, door de lokaal aanwezige populatie op het tijdstip van het "event". Dus als relatief magere mossels worden verscheept naar een perceel/compartiment met relatief vette mossels, dan moet de populatiegrootte gecorrigeerd worden.

In een gewichtsklasse gestructureerd model kunnen meerdere cohorten tegelijk (en dus ook verschillende leeftijden) in een bepaalde gewichtsklasse voorkomen. Belangrijk nadeel van deze benadering is dat er veel kleine klassen nodig zijn om numeriek verantwoord te kunnen werken, waarmee de rekentijden enorm kunnen toenemen. Het voordeel is dat binnen een compartiment subpopulaties van verschillende leeftijden en gewichtsklassen door elkaar heen kunnen voorkomen.



B Discussiedocument workshop primaire consumenten

B.1 Inleiding

Dit discussiestuk is bedoeld als handvat om keuzes met betrekking tot de modellering van primaire consumenten in GEM te maken. Het geeft een overzicht van mogelijke modelformuleringen en invalshoeken in het rapport van Bert Brinkman, de GEM-documentatie en een memo van Marcel van der Tol over dit onderwerp. Punten waarover gediscussieerd kan worden of waarover we graag ervaringen horen zijn cursief gedrukt.

Het is de bedoeling dat er een modelstructuur komt waarin de mate van detail naar eigen goeddunken kan worden ingevuld. De module moet zo worden opgebouwd dat er zowel voor de populatiesamenstelling als de processen gekozen kan worden of iets als constante (= forcing function) of als proces wordt gedefinieerd. Wanneer ergens een forcing function wordt gebruikt moet de module automatisch checken of dit consistent is met de rest van het model. Zo wordt voorkomen dat primaire consumenten meer consumeren dan er beschikbaar is.

Als basisrekenenheid voor de module is de biomassa van de primaire consumenten waarschijnlijk het meest geschikt. Dit kan worden verfijnd naar een gestructureerd model waarin de populatiegrootte en het individuele lichaamsgewicht als extra parameters worden meegenomen. De biomassatoename van het individu wordt dan beschreven met dezelfde kinetiek als de totale biomassakinetiek. De algemene formule is:

$$dB(t)/dt = \text{opname} - \text{excretie} - \text{respiratie} - \text{mortaliteit}$$

Wanneer verschillende klassen worden onderscheiden dan geldt:

$$dB(t)/dt = N(t) * (dW(t)/dt) + W(t) * (dN(t)/dt)$$

waarbij $dW(t)/dt$ van het individu vergelijkbaar is (qua formulering) met $dB(t)/dt$ van de totale populatie als er geen verschillende klassen worden onderscheiden (op mortaliteit na: dit werkt op de populatiegrootte). *Het moet mogelijk zijn om binnen een gestructureerd model het individueel gewicht en / of de populatiegrootte als forcing function te definiëren.* Er zouden in principe een oneindig aantal klassen van individuen moeten kunnen worden onderscheiden. De gebruiker kan dan opgeven of het om leeftijdsklassen, soorten, gewichtsklassen e.d. gaat. *De overgang van gewichtsklassen, jaarklassen of generatieklassen is verschillend.* Soorten kunnen helemaal niet in elkaar overgaan. Gewichtsklassen, jaarklassen en generatieklassen kunnen niet door elkaar gebruikt worden binnen 1 soort. *De verschillende formuleringen kunnen dan als switches worden*

ingebracht. Het is belangrijk dat abrupte veranderingen in de populatiesamenstelling (bijvoorbeeld op het moment van spawning) mogen de *stabiliteit* van het model niet verstoren.

Dus komen er de volgende variabelen:

Biomassa (soort i),

waarin optioneel gewichtsklasse (j)
of generatieklasse (k) (jaarklasse heeft generatie 1 jaar)

en de volgende processen (te beschrijven als forcing functions of formulering $sw = 1-n$):

1. opname
2. excretie
3. respiratie
4. mortaliteit

Wanneer sprake is van verschillende klassen komen daar de volgende processen bij:

1. het proces 'doorgaan naar volgende klasse' indien van toepassing.
2. 'spawning' cq reproductie

Bovendien kunnen processen afhankelijk van het lichaamsgewicht worden gesteld. De afhankelijkheid van een proces van het lichaamsgewicht gaat in het algemeen volgens: $\text{proces rate} = a * W^b$. Waarbij b meestal 2 tot 3 is (gemiddeld 2.7) voor de processen: opname, filtratie en ingestie en 1 voor respiratie. Voor ieder proces zijn a en b weer anders. De waarden voor a en b zijn ook de zwakke punten van de benadering omdat ze niet bekend zijn en er in de literatuurwaarden grote variatie voorkomt. Een randvoorwaarde in de keuze van b is dat de waarden voor groeiprocessen kleiner moeten zijn dan voor groeibeperkende processen zodat op een gegeven moment een evenwichtsgewicht wordt bereikt.

Wanneer gerekend wordt in aantallen individuen met een gemiddeld lichaamsgewicht veroorzaakt mortaliteit een afname in het aantal individuen i.p.v. een afname van de biomassa.

Er moet onderscheid worden gemaakt tussen groepen/ klassen die planktonisch leven en die benthisch leven. In het eerste geval worden ze getransporteerd met het water en komen de afvalprodukten in de waterfase terecht. In het andere geval blijven ze waar ze zijn en komen de afvalprodukten in de bodem terecht. In beide gevallen halen de dieren hun voedsel wel uit de waterfase. Bij sommige dieren (bijv. mosselen) is er ook een klasse die planktonisch is, dit moet door het model worden meegenomen.

B.2 Beschikbare (detail-) formuleringen

B.2.1 Totale biomassa

Volgens Beukema (1981-1) is de totale productie van macrofauna 30 g (AFDW) $m^{-2}y^{-1}$.

B.2.2 Opname

Inleiding

Volgens Baretta and Ruardij (1988) is de totale flow van organisch materiaal door bentische macrofauna 100-200 g (AFDW) $m^{-2}y^{-1}$.

Er zijn drie manieren voor primaire consumenten om voedsel te vergaren:

1. filteren
2. grazen
3. jagen

In het navolgende deel zullen *alleen filter-feeders* verder behandeld worden.

Bij opname kunnen 3 processen worden onderscheiden bij het opname proces:

1. vangst van organisch materiaal
2. ingestie van organisch materiaal (rest is pseudofaeces)
3. opname van een gedeelte van het gevangen organisch materiaal (rest is faeces)

Uiteindelijk wordt alleen het werkelijk opgenomen deel van het organische materiaal gebruikt voor groei. Pseudofaeces wordt maar door een beperkt aantal dieren (waaronder mosselen) geproduceerd en dan alleen onder voedselrijke omstandigheden.

Na opname kan nog een onderscheid worden gemaakt naar het doel waarvoor de opgenomen biomassa wordt gebruikt:

1. opbouw van lichaamswefsel (nog te verdelen in schelp en overig weefsel)
2. opbouw van een voorraad reservevoedsel
3. opbouw van 'reproductive tissue'

Het onderscheid kan van belang zijn om te kunnen beschrijven hoe de groei doorgaat bij voedselschaarste door reservevoedsel en de verminderde reproductie als de organismen door voedselschaarste hun 'reproductive tissue' hebben opgegeten. Het onderscheid is alleen zinnig als er gegevens zijn over hoe de verdeling wordt gemaakt.

Een andere benadering van de consumptie door primaire consumenten wordt beschreven in paragraaf 2.9: Primaire consumenten in GEM-documentatie.

Filtratie

Voor filter feeders kan het proces van vangst of filtratie van organisch materiaal per gram filterfeeder-biomassa worden beschreven volgens:

$$\begin{aligned} \text{filtratie (g/g DW.d}^{-1}\text{)} &= V_{\text{filtr}} * C_{\text{food}} \\ \text{waarbij: } V_{\text{filtr}} &= \text{gefilterd watervolume per gram filterfeeder per dag} \\ C_{\text{food}} &= \text{concentratie bruikbaar voedsel} \end{aligned}$$

De variabelen V_{filtr} en C_{food} kunnen nog nader gespecificeerd worden:

1. V_{filtr} kan afhankelijk worden gesteld van de temperatuur:

$$V_{\text{filtr}} = V_{\text{spec}} * F_{\text{temp}}$$

waarbij:

$$V_{\text{spec}} = \text{gefilterd watervolume per gram filterfeeder per dag bij 20 graden}$$

$$F_{\text{temp}} = \text{temperatuurfunctie; niet nader gespecificeerd maar in de GEM-documentatie staat bijvoorbeeld:}$$

$$F_{\text{temp}} = \Theta_{\text{filtr}} = e^{0.04(T-20)}$$

2. V_{filtr} kan worden aangepast aan voedseloverschot. De filtratie kan dan omlaag om energie te sparen:

$$V_{\text{filtr}} = V_{\text{filtrmax}} * \text{MIN}(\mu_{\text{max}} / U_{\text{pot}} 1)$$

waarbij:

$$\mu_{\text{max}} = \text{maximale opname per g lichaamsgewicht (DW) of biomassa per dag}$$

$$V_{\text{filtrmax}} = V_{\text{filtr}} \text{ zonder aanpassing}$$

3. Een andere manier om de filtratie aan te passen aan een voedseloverschot houdt verband met de pseudofaeces-productie en is dus alleen bruikbaar voor soorten die pseudofaeces produceren (zoals mosselen). Zie voor de achtergronden van de formule onder 'Productie van pseudofaeces'.

Als $U_{\text{pot}} / \mu_{\text{max}} > \text{MPFF}$ dan:

$$V_{\text{filtr}} = V_{\text{filtrmax}} * \text{MPFF} * (\mu_{\text{max}} / U_{\text{pot}})$$

Als $U_{\text{pot}} / \mu_{\text{max}} \leq \text{MPFF}$ dan:

$$V_{\text{filtr}} = V_{\text{filtrmax}}$$

waarbij: MPFF = Maximum Pseudo Faeces Factor

4. Bij de concentratie bruikbaar voedsel kan rekening worden gehouden met de voedselpreferentie. De bruikbare hoeveelheid wordt dan bepaald als de som van de verschillende voedselgroepen. Ieder vermenigvuldigd met een preferentiefactor:

$$C_{\text{food}} = \Sigma(\text{preffact}_j * C_j)$$

Wanneer een gestructureerd model wordt gebruikt is V_{filtr} (of V_{spec} als een temperatuurfunctie wordt gebruikt) afhankelijk van het gemiddeld lichaamsgewicht van de klasse:

$$V_{\text{filtr/spec}} = a * W^b$$

De totale filtratie moet nog worden vermenigvuldigd met de biomassa filterfeeders (per klasse).

Ingestie

De ingestie is dan:

$$\text{ingestie} = \text{filtratie} * (1 - \text{fractie pseudofaeces productie})$$

Wanneer geen pseudofaeces wordt geproduceerd geldt: ingestie = filtratie. Voor een inschatting van fractie pseudofaeces productie zie onder 'Productie van pseudofaeces'.

Opname

De opname (g voedsel per gram filterfeeder drooggewicht per dag) is:

$$\text{uptake rate} = \mu_{\max} * F_{\text{limitations}}$$

Slechts een deel van de ingestie is geschikt voor opname:

$$U_{\text{pot}} = \text{ingestie} * f_{\text{us}}$$

waarbij: U_{pot} = potentiële uptake: hoeveelheid voedsel beschikbaar voor opname
 f_{us} = fractie van de ingestie die bruikbaar is voor opname

De functie $F_{\text{limitations}}$ kan op twee manieren benaderd worden:

1. Holling type II response (of Monod relatie)
2. Holling type III response

Holling type II:

$$F_{\text{limitations}} = U_{\text{pot}} / (K_{\text{monod}} + U_{\text{pot}})$$

Holling type III:

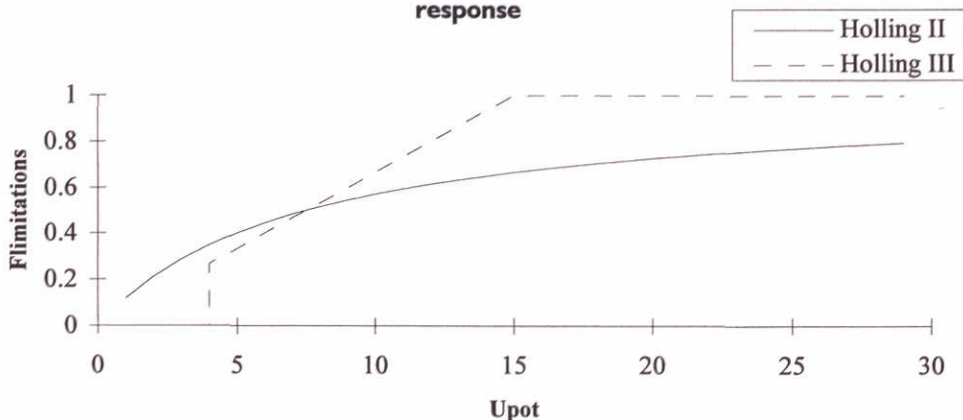
$$F_{\text{limitations}} = 0 \quad (\text{als } U_{\text{pot}} < \text{activity} + \text{uptake losses} \quad)$$

$$F_{\text{limitations}} = U_{\text{pot}} / \mu_{\max} \quad (\text{als } \text{act} + \text{upt loss} < U_{\text{pot}} < \mu_{\max} \quad)$$

$$F_{\text{limitations}} = 1 \quad (\text{als } U_{\text{pot}} > \mu_{\max} \quad)$$

(De μ_{\max} in de onderstaande figuur is 15, de act. + uptake losses zijn 3 en $K_{\text{monod}} = 7.5$)

Flimitations bij een Holling type II response en een Holling type III response



Verder kan weer de temperatuurafhankelijkheid F_{temp} worden toegepast zoals bij filtratie.

In geval van een gestructureerd model kan μ_{max} afhankelijk worden gesteld van het gemiddeld lichaamsgewicht in de klasse:

$$\mu_{max} = a * W^b$$

Productie van pseudofaeces

Pseudofaeces wordt alleen geproduceerd in geval van een voedseloverschot. Er worden drie fasen onderscheiden bij toenemend voedselaanbod:

1. $U_{pot} < \mu_{max}$: geen pseudofaeces productie
2. $\mu_{max} < U_{pot} < MPFF * \mu_{max}$: toenemende productie van pseudofaeces
3. $U_{pot} > MPFF * \mu_{max}$: maximale productie van pseudofaeces

in fase 2 geldt:

$$\text{fractie pseudofaeces productie} = (RFA - 1) / RFA$$

in fase 3 geldt:

$$\text{fractie pseudofaeces productie} = (MPFF - 1) / MPFF$$

waarbij:

$$MPFF = \text{Maximum Pseudo Faeces Factor}$$

$$RFA = \text{Relative Food Availability} = U_{pot} / \mu_{max}$$

De uiteindelijke productie van pseudofaeces is dan:

$$\text{pseudofaeces productie} = \text{ingestie} * \text{fractie pseudofaeces productie}$$

Productie van faeces

De productie van faeces is gelijk aan:

$$\text{faeces productie} = \text{ingestie} * (1 - f_{us})$$

(moet dit niet zijn: 'ingestie - opname'? aangezien opname niet altijd gelijk is aan U_{pot}). De geproduceerde faeces moet worden toegevoegd aan de detrituspool. Je kunt er over discussiëren of dit nu de snel afbreekbare pool moet zijn omdat het al gedeeltelijk is voorverteerd of de slecht afbreekbare pool omdat de goed verteerbare delen eruit zijn gehaald.

B.2.3 Excretie

Strikt genomen is dit alleen de excretie van organische stof die heeft deelgemaakt van het organisme zelf. Productie van faeces (wel door de darmen maar niet opgenomen) en pseudofaeces (wel gevangen/gefilterd maar uitgescheiden voor het in de darmen kon komen) worden als aparte processen onderscheiden. Afhankelijk of je als opname de bruto vangst of netto opname beschouwt komen de productie van pseudofaeces en faeces onder excretie of bijprodukten van de opname. In de huidige opzet worden ze als bijprodukten van de opname gezien.

Er kan onderscheid worden gemaakt tussen:

1. rust-excretie (E_{rest})
2. activiteits-excretie (E_{act})
3. opname-excretie (E_{upt})

De bijbehorende formules zijn:

1. $E_{rest} = k_{er} * F_{temp}$
2. $E_{act} = k_{ea} * V_{filtr}$
3. $E_{upt} = k_{eu} * F_{uptake}$

De activiteits-respiratie wordt vaak weggelaten (in het rapport van B. Brinkman)

In een gestructureerd model kan k_{er} afhankelijk worden gesteld van het lichaamsgewicht binnen de klasse volgens:

$$k_{er} = a * W^b$$

De aanpassing van activiteits- en opname-excretie is al verdisconteerd in V_{filtr} en F_{uptake} .

B.2.4 Respiratie

Er kan onderscheid worden gemaakt tussen:

1. rust-respiratie (R_{rest})
2. activiteits-respiratie (R_{act})
3. opname respiratie (R_{upt})

De activiteits-respiratie wordt vaak weggelaten (in het rapport van B. Brinkman)

De bijbehorende formules zijn:

1. $R_{rest} = k_{rr} * F_{temp}$
2. $R_{act} = k_{ra} * V_{filtr}$
3. $R_{upt} = k_{ru} * F_{uptake}$

In een gestructureerd model kan k_{rr} afhankelijk worden gesteld van het lichaamsgewicht binnen de klasse volgens:

$$k_{rr} = a * W^b$$

De aanpassing van activiteits- en opname-respiratie is al verdisconteerd in V_{filtr} en F_{uptake} .

B.2.5 Mortaliteit

Mortaliteit kan worden onderscheiden in natuurlijke mortaliteit en mortaliteit door predatie (bijv. door mensen):

$$Mort = Mort_{nat} + Mort_{pred}$$

Natuurlijke mortaliteit wordt beschreven door:

$$Mort_{nat} = k_{mort} * F_{temp}$$

In een biomassamodel heeft de mortaliteit betrekking op de totale biomassa:

$$dB/dt_{mort} = -k_{mort} * F_{temp} * B$$

In een gestructureerd model op het aantal individuen:

$$dN/dt_{mort} = -k_{mort} * F_{temp} * N$$

k_{mort} kan worden gespecificeerd als functie van leeftijd, conditie en gewicht. Alleen voor de functie van gewicht geldt:

$$k_{\text{mor}} = a * W^b$$

De biomassa van de gestorven individuen gaat naar een detritus-pool.

B.2.6 Doorgaan naar volgende klasse

Blauwe mossel: generatietijd = 1 jaar. (Er is ook informatie over de lengte van de verschillende jaarklassen, maar niet over de biomassa)

Bij een indeling in generatieklassen schuiven alle groepen op het moment van spawning (of even daarvoor) naar een klasse hoger.

Bij sommige dieren (bijv. mosselen) is er ook een klasse die planktonisch is.

Het is de vraag hoe de overgang van gewichtsklassen kan worden geregeld zonder dat er allerlei lege klassen ontstaan, wanneer er een klasse doorschuift.

B.2.7 Reproductie

Een spawning event kan op twee manieren worden gemodelleerd.

1. alle spawning op 1 moment: unit step methode
2. spawning uitgesmeerd over een bepaalde periode.

De fractie biomassa die vanuit een klasse wordt omgezet in larven wordt beschreven volgens:

$$dB/B = -k_{\text{spawn}} * F_{\text{conditions}} * F_{\text{time of year}}$$

Het totaal van de biomassa voor larven uit alle geslachtsrijpe klassen wordt verdeeld over de larven. Waarbij *het gewicht per larve vast staat* en *het aantal larven bepaald wordt door de geleverde biomassa*. Wanneer de spawning verdeeld wordt over meerdere tijdstappen neemt het gewicht per larve per tijdstap toe door groei, waardoor relatief minder maar wel grotere larven aan de larvenklasse worden toegevoegd.

Parameters die nodig zijn om de spawning te beschrijven zijn:

- minimum leeftijd of gewicht voor spawning
- tijdstip van spawning (wanneer uitgesmeerd over een periode: het midden van die periode)
- lengte van de spawning-periode
- fractie biomassa van adults beschikbaar voor spawning
- gewicht van de larven op de eerste tijdstap van de spawning periode

Voor $F_{\text{conditions}}$ bestaan wel formuleringen van Brylinski en Septhon maar die zitten nog niet in Ecowasp.

Formuleringen om de spawning uit te smeren zijn nog in ontwikkeling. Met de unit step-methode krijgt het systeem nogal een schok te verwerken. Dit hoeft niet tot numerieke problemen te leiden. *Het is de vraag of een dergelijke schok bezwaarlijk is voor het model en of de schok realistisch is.* In Ecowasp is een normale verdeling rond het middelpunt van de spawning periode uitgetoet. Dit leverde een aanzienlijk verschil in het uiteindelijke aantal larven dan de unit-step methode (wegens mortaliteit en het toenemend gewicht)

B.2.8 Mogelijke andere verfijningen (in de toekomst)

- Door een langere verblijftijd in darmen komt meer materiaal beschikbaar voor opname.
- De habitat-geschiktheid kan worden verwerkt in de groei- en of sterftetermen.

$$\text{Opname}^* = \text{HGI} * \text{opname}$$

$$\text{Mortaliteit}^* = \text{mortaliteit} / \text{HGI}$$
 waarbij: $\text{HGI} = \text{Habitat Geschiktheids Index (tussen 0 en 1)}$
- Afhankelijk van het gewicht kan ook het formaat van de individuen worden berekend, i.v.m. effecten op predatie.
- correctie voor voedselconcentratie in bepaalde subgebieden binnen het grid.
 Volgens:

$$C_{\text{food}}^* = C_{\text{food}} * \text{correctiefactor} (>1)$$
- testen op validatie Ecowasp die in het rapport ontbreekt.

B.2.9 Primaire consumenten in GEM-documentatie

In de GEM-documentatie is de hoeveelheid biomassa van primaire consumenten een forcing function. De hoeveelheid consumptie door primaire consumenten is afhankelijk van de temperatuur en de maximale opname en maximale filtratie:

$$\Theta_{\text{uptake}} = \Theta_{\text{uptakemax}} * F_{\text{temp}}$$

$$\Theta_{\text{filtratie}} = \Theta_{\text{filtratiemax}} * F_{\text{temp}}$$

$$\text{Als } C_{\text{food}} < \Theta_{\text{uptake}} / \Theta_{\text{filtratie}}:$$

$$\text{consumptie (=vangst?)} = C_{\text{primcons}} * \Theta_{\text{filtratie}} * C_{\text{food}} / (C_{\text{food}} + K_{\text{av}})$$

$$\text{Als } C_{\text{food}} > \Theta_{\text{uptake}} / \Theta_{\text{filtratie}}:$$

$$\text{consumptie (=vangst?)} = C_{\text{primcons}} * \Theta_{\text{uptake}} * 1 / C_{\text{food}}$$

waarbij:

$$C_{\text{primcons}} = \text{concentratie primaire consumenten}$$

$$K_{\text{av}} = \text{half saturation value (Monod)}$$

Dus bij lage voedselconcentratie wordt de Monod-kinetiek gebruikt (Holling type II) en bij hogere conc. Holling type III

B.3 Keuzes

B.3.1 Vragen volgend uit procesformuleringen

1. Faeces en pseudofaeces als bijproduct van opname of als aparte processen of als sub-stofstromen binnen excretie.?
2. spawning event unit step of uitgesmeerd over een periode?.
3. Hoe worden faeces, pseudofaeces, excretie en gestorven biomassa verdeeld over de detritus-pools?.
4. voor en nadelen van een gestructureerd model?
5. Keuze van parameterwaarden
6. Voor de beschrijving van de opname kan gekozen worden voor een Holling type II response of een Holling type III response of voor beiden of voor de combinatie van beiden zoals in de GEM-documentatie. Bij dergelijke overgangen moet wel worden opgepast voor discontinuïteiten.
7. Hoe kan de mortaliteit en het transport ten gevolge van menselijke acties worden gemodelleerd?

Praktische overwegingen omtrent rekentijd, geheugenruimte, hanteerbaarheid en de mate van detail en dergelijke.



wL | delft hydraulics

**Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon 015 285 85 85
telefax 015 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl**

**Rotterdamseweg 185
p.o. box 177
2600 MH Delft
The Netherlands
telephone +31 15 285 85 85
telefax +31 15 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl**

