

Opdrachtgever:

DG Rijkswaterstaat

Rijksinstituut voor Kust en Zee/ RIKZ

Ontwikkeling van zeesla in het Veerse Meer

Expert opinion en modelonderzoek

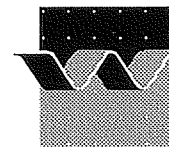
drs. A.J. Nolte

Verslag

november 2001



wl | delft hydraulics



OPDRACHTGEVER: DG Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ
Postbus 8039
4330 EA Middelburg

TITEL: Ontwikkeling van zeesla in het Veerse Meer - expert opinion en modelonderzoek

SAMENVATTING:

Een doorlaatmiddel in de Zandkreekdam gaat de uitwisseling tussen de Oosterschelde en het Veerse Meer vergroten. Het doel is te komen tot een verbetering van de waterkwaliteit en de ecologie in het Veerse Meer, dat momenteel kampt met eutrofiëringsproblematiek. Dit uit zich het duidelijkst in excessieve groei en monocultuur van zeesla (*Ulva*), veroorzaakt door hoge nutriëntconcentraties en een relatief laag zoutgehalte. Eerdere modelstudies gaven aan dat na aanleg van het doorlaatmiddel de hoeveelheid zeesla niet significant zou afnemen en mogelijk zelfs zou toenemen. Deze studie heeft tot doel de ontwikkeling van zeesla in het Veerse Meer nader te beschouwen. Hiervoor zijn interviews gehouden met experts van het RIVO, NIOO-CEMO, RIKZ Middelburg, de Katholieke Universiteit Nijmegen en WL | Delft Hydraulics. Daarnaast is een schematisch 'quick-scan' model opgezet voor het Veerse Meer, waarmee een eerste indruk van het effect van maatregelen wordt verkregen.

Op basis van modelresultaten en expert opinion concluderen experts dat zeesla niet significant zal afnemen na aanleg van het doorlaatmiddel. Het niet afdoende afvoeren van de beschikbare nutriënten in combinatie met een verbetering van het lichtklimaat is hiervan de oorzaak. Het verzouten van het meer is gunstig voor de ontwikkeling van andere soorten waarvoor het huidige zoutgehalte te laag is. Overigens is ook voor zeesla een hoger zoutgehalte gunstiger.

Aanvullende maatregelen zijn nodig om de hoeveelheid zeesla terug te dringen. Het vergroten van de efficiëntie van het doorlaatmiddel zodanig dat het netto verversingsdebiet verdubbelt leidt tot een aanzienlijke reductie van de hoeveelheid zeesla. Het verminderen van de stikstofbelasting is met minimaal 25% is eveneens een optie, omdat stikstof nu en na aanleg van het doorlaatmiddel limiterend is voor de groei van zeesla. Het verminderen van de fosfaatbelasting is niet direct een praktische optie, gezien de grote beschikbaarheid van fosfaat.

Naast het ontmoedigen van zeesla is het bevorderen van de groei van andere organismen wenselijk om te komen tot een gevarieerder ecosysteem. Het handhaven van een vast peil creëert een stabiel(er) systeem, waardoor andere organismen (bijvoorbeeld roodwieren en borstelwieren) meer kans krijgen. Hetzelfde geldt voor het vergroten van het oppervlak hard substraat. Beleidsmakers en beheerders dienen zich ervan bewust te zijn dat het doorlaatmiddel een onmisbare stap is ter verbetering van het ecosysteem van het Veerse Meer, maar voor een gevarieerd en evenwichtig ecosysteem zal meer nodig zijn. Aanbevolen wordt met name (de mogelijkheden tot) een betere verversing van het Veerse Meer nader te onderzoeken.

REFERENTIES:

VER.	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING			
01	A.J. Nolte	26 oktober 2001		M.T. Villars				
02	A.J. Nolte	30 november 2001		A.N. Blauw	T. Schilperoort			
PROJECTNUMMER:		Z3157						
TREFWOORDEN:		Veerse Meer, zeesla, quick-scan						
INHOUD:	TEKST	23	TABELLEN	1	FIGUREN	8	APPENDICES	-
STATUS:	<input type="checkbox"/> VOORLOPIG		<input type="checkbox"/> CONCEPT		<input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF			

Inhoud

1 Inleiding	1-1
1.1 Achtergrond.....	1-1
1.2 Doelstelling.....	1-1
1.3 Methodiek.....	1-1
1.4 Dankwoord.....	1-2
2 Quick-scan Veerse Meer	2-1
2.1 Opzet van het model.....	2-1
2.2 Verificatie.....	2-3
2.2.1 Modelinvoer.....	2-3
2.2.2 Resultaat.....	2-5
2.3 Effect van maatregelen.....	2-7
2.3.1 Aanleg van het doorlaatmiddel: verversing van het Veerse Meer....	2-7
2.3.2 Handhaven van een vast peil.....	2-11
2.3.3 Reduceren van de stikstofbelasting.....	2-12
2.3.4 Reduceren van de fosfaatbelasting.....	2-14
2.4 Discussie.....	2-15
3 Interviews	3-1
3.1 Inleiding.....	3-1
3.2 Bewerkte weergave van de interviews.....	3-1
3.2.1 Zeesla in het huidige Veerse Meer.....	3-1
3.2.2 Na het doorlaatmiddel en de modelvoorspelling.....	3-2
3.2.3 Aanvullende maatregelen.....	3-3
3.2.4 Streefbeeld voor het Veerse Meer.....	3-4
3.2.5 Invloed van het variabele winter- en zomerpeil.....	3-4
3.2.6 Nalevering van nutriënten uit het sediment.....	3-5
4 Discussie	4-1
5 Conclusies en aanbevelingen	5-1
5.1 Conclusies.....	5-1

5.2 Aanbevelingen voor verdere studie 5-2

A Referenties

I Inleiding

I.1 Achtergrond

Momenteel kampt het Veerse Meer met eutrofiëringsproblematiek doordat grote hoeveelheden nutriëntrijk polderwater op het meer geloosd worden. De saliniteit van de voorheen zoute zeearm is daardoor gedaald tot 15 à 20‰. Zeesla (*Ulva*) manifesteert zich als het meest zichtbare gevolg van de eutrofiëring. De massale bloei en het daarop volgende afsterven leiden onder andere tot stankoverlast door rottende restanten. De dominantie van zeesla staat bovendien een meer gevarieerd ecosysteem in de weg.

Onlangs is door het parlement definitief besloten tot de aanleg van een doorlaatmiddel in de Zandkreekdam ter vergroting van de uitwisseling tussen het Veerse Meer en de Oosterschelde. Het doorlaatmiddel heeft tot doel de waterkwaliteit te verbeteren en in het kielzog daarvan een gevarieerder ecosysteem te creëren door het Veerse Meer te verversen met relatief nutriëntarm en zout Oosterscheldewater.

In samenwerking met RIKZ Middelburg heeft WL | Delft Hydraulics een modelstudie uitgevoerd naar de effectiviteit van het doorlaatmiddel voor de verbetering van de waterkwaliteit (WL | Delft Hydraulics, 2000). Uit de modelberekening bleek dat (de aanleg van) het doorlaatmiddel een minimaal effect op zeesla had, of dat zelfs een toename van zeesla werd bewerkstelligd. Nader onderzoek werd noodzakelijk geacht.

I.2 Doelstelling

De doelstelling van deze studie wordt als volgt omschreven:

- Inzicht geven in de effectiviteit van het doorlaatmiddel als maatregel tegen zeesla
- Inzicht geven in de effectiviteit van aanvullende maatregelen ter vermindering van de hoeveelheid zeesla
- Inventarisatie van de opinie van experts over zowel de verwachte (expert opinion) als berekende ontwikkeling van zeesla na aanleg van het doorlaatmiddel en hun oordeel over aanvullende maatregelen

I.3 Methodiek

Twee methoden zijn aangewend:

- een modelstudie met een vereenvoudigde weergave van het Veerse Meer, de zogenaamde *quick-scan* (hoofdstuk 2)
- interviews met experts ofwel een *expert opinion* (hoofdstuk 3)

1.4 Dankwoord

De auteur is de geïnterviewde experts zeer erkentelijk voor hun enthousiaste bijdrage. Het is goed om te weten dat geïnspireerd en met grote betrokkenheid meegedacht wordt over de toekomst van het Veerse Meer.

2 Quick-scan Veerse Meer

2.1 Opzet van het model

Een voorgaande studie naar het effect van het doorlaatmiddel op de waterkwaliteit en ecologie van het Veerse Meer is uitgevoerd met een volledig 3-dimensionaal model. Het voordeel van deze aanpak is de grote detaillering zowel in de verticaal als in de horizontaal, waardoor ruimtelijke variabiliteit en fysische processen nauwkeurig beschreven kunnen worden. Zo kon een gedetailleerde bathymetrie van geulen en platen in het model opgenomen worden en kon de stroming van zout water uit de Oosterschelde over de bodem van de geul nauwkeurig worden berekend. Het nadeel van de 3D modellering betrof de aanzienlijke rekentijd, waardoor het snel en tentatief doorrekenen van alternatieven werd gehinderd.

Om snel een eerste inzicht te krijgen in het gedrag van zeesla bij het implementeren van aanvullende maatregelen is een sterk vereenvoudigd model van het Veerse Meer opgezet. Het model is toegespitst op zeesla en benadrukt derhalve de ondiepe delen (Figuur 2.1). De schematisatie bestaat uit tien segmenten. Het ondiepe deel wordt weergegeven door negen segmenten waarvan de diepte oploopt van -5 m NAP tot -1 m NAP. Het tiende segment omvat het deel van het Veerse Meer met een diepte van meer dan -5 m NAP en bevat het grootste deel van het volume (dit segment wordt in het vervolg het 'bulksegment' genoemd). De volumes en oppervlaktes komen overeen met de meest recent bekende bathymetrie, zoals weergegeven in Tabel 2.1. Evenals in het 3D model wordt geen rekening gehouden met het onderlopen van ondiepe delen tijdens peilopzet.

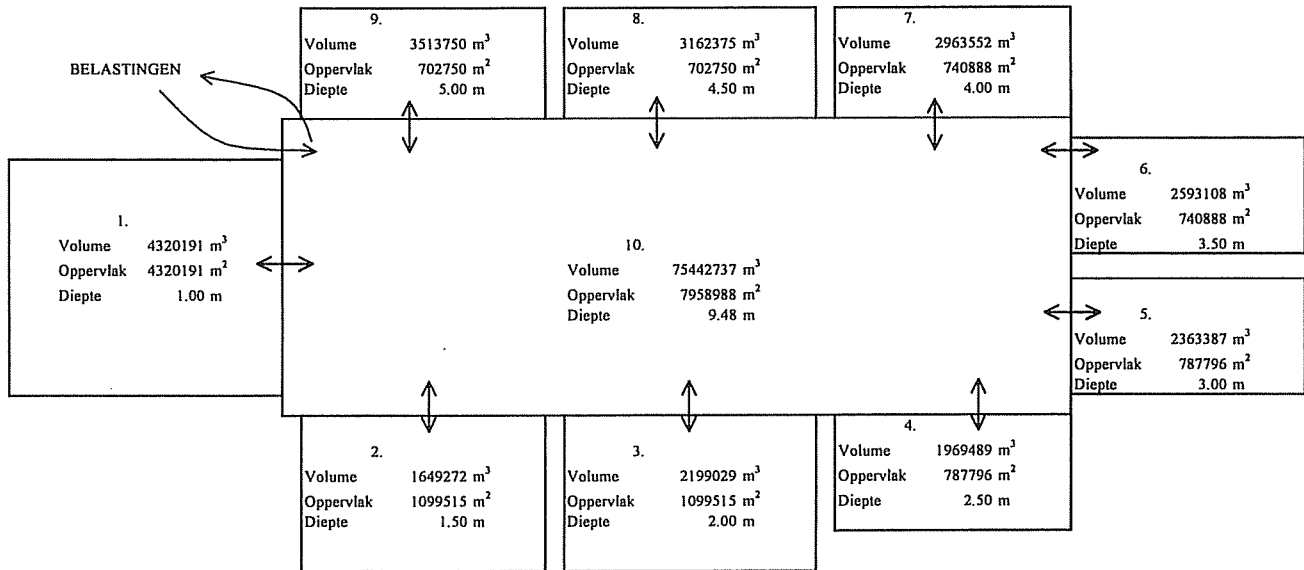
Alle belastingen (Zandkreeksluis, polderafwateringen, directe afstroming en neerslag) en alle onttrekkingen (Zandkreeksluis en verdamping) worden gedaan op het bulksegment. Het stoftransport vindt verder plaats door middel van dispersie tussen het bulksegment en de ondiepe segmenten. De ondiepe segmenten staan onderling niet in contact. Door een hoge dispersiecoëfficiënt te kiezen wordt ervoor gezorgd dat een voortdurende menging van het gehele systeem optreedt.

De gekozen opzet heeft de volgende beperkingen:

- Ruimtelijke variabiliteit is uitgesloten. Doordat alle belastingen en onttrekkingen in hetzelfde segment plaatsvinden, treedt instantane menging op. Het oost-west patroon dat gekarakteriseerd wordt door de inlaat van zout Oosterscheldewater in het oosten bij de Zandkreeksdam, wordt in de eenvoudige schematisatie niet onderkend.
- Aangezien de eenvoudige modeltoepassing slechts een 2-dimensionale weergave is, waarbij alleen de grootte van het volume en het oppervlak waarheidsgetrouw zijn uitgedrukt, wordt stratificatie niet meegenomen. Overigens heeft het doorlaatmiddel mede tot de doel de stratificatie te verminderen, zodat deze beperking mogelijk van minder belang is.

Tabel 2.1 Volume Veerse Meer per put per diepteklasse afgeleid uit dieptemetingen

Diepte (m NAP)	Zandkreek	Kortgene	Middelplaten	Soelekerk	De Piet	Vrouwenpolder	Schotsman	Haringvretter	Totaal	% van Totaal
0 tot -1	1,775,915	1,784,046	1,630,518	1,923,808	3,762,470	3,021,459	1,277,172	3,765,687	18,941,075	18.9%
-1 tot -2	1,004,509	1,152,390	877,424	1,640,753	3,156,916	2,848,527	1,055,908	2,884,457	14,620,884	14.6%
-2 tot -3	699,877	898,039	759,155	1,510,994	2,757,320	2,636,015	872,875	2,287,580	12,421,855	12.4%
-3 tot -4	634,153	818,090	711,673	1,434,041	2,419,390	2,347,057	764,383	1,717,477	10,846,264	10.8%
-4 tot -5	580,474	703,041	671,490	1,353,465	2,115,160	1,990,744	664,181	1,285,932	9,364,488	9.3%
-5 tot -6	511,057	530,291	623,662	1,247,448	1,868,643	1,679,104	588,110	910,673	7,958,988	7.9%
-6 tot -7	385,275	303,524	529,229	1,050,601	1,548,671	1,454,707	543,860	636,728	6,452,595	6.4%
-7 tot -8	306,714	206,509	421,678	859,046	1,169,677	1,239,455	497,234	474,429	5,174,742	5.2%
-8 tot -9	225,594	145,453	338,364	628,699	819,197	1,007,129	452,577	334,170	3,951,182	3.9%
-9 tot -10	152,352	85,532	234,550	432,745	550,884	823,594	392,353	218,403	2,890,412	2.9%
-10 tot -11	117,111	47,709	158,652	315,197	378,466	692,481	327,824	127,098	2,164,539	2.2%
-11 tot -12	90,511	28,861	107,591	195,535	275,325	573,100	281,216	69,067	1,621,206	1.6%
-12 tot -13	67,419	15,779	71,441	117,188	203,502	461,360	228,433	37,872	1,202,994	1.2%
-13 tot -14	48,955	6,433	45,859	85,646	164,736	365,498	181,797	16,175	915,100	0.91%
-14 tot -15	33,461	24	20,306	64,707	129,127	271,875	127,265	3,645	650,411	0.65%
-15 tot -16	23,335	0	5,645	44,162	94,486	194,892	76,513	101	439,135	0.44%
-16 tot -17	14,249	0	139	30,598	62,132	129,367	36,813	0	273,298	0.27%
-17 tot -18	4,796	0	0	24,692	31,108	75,794	14,683	0	151,073	0.15%
-18 tot -19	0	0	0	19,785	10,458	40,020	3,524	0	73,787	0.07%
-19 tot -20	0	0	0	13,100	1,045	19,902	48	0	34,095	0.03%
-20 tot -21	0	0	0	9,367	2	8,705	0	0	18,074	0.02%
-21 tot -22	0	0	0	5,544	0	2,745	0	0	8,289	0.01%
-22 tot -23	0	0	0	1,507	0	796	0	0	2,303	0.00%
-23 tot -24	0	0	0	23	0	76	0	0	100	0.00%
Totaal	6,675,757	6,725,723	7,207,377	13,008,651	21,518,715	21,884,404	8,386,768	14,769,495	100,176,889	100.0%



Figuur 2.1 Schematisatie van het Veerse Meer bestaande uit 10 segmenten (niet op schaal). Negen ondiepe segmenten variërend in diepte van 1 tot 5 meter, wisselen uit met een bulksegment. Alle belastingen en onttrekkingen vinden plaats op het bulksegment. Volumes en dieptes hebben betrekking op een waterpeil van 0 m NAP.

- De wind drijft voor een belangrijk deel de waterbeweging van het Veerse Meer en kan voor ruimtelijke variabiliteit zorgen. Watertransport is in de schematisatie van het quick-scan model gereduceerd tot een waterbalans en windgedreven stroming kan niet meegenomen worden.

De bovengenoemde beperkingen maken het quick-scan model minder geschikt voor een **zeer gedetailleerde** studie naar het effect van het doorlaatmiddel en van eventuele aanvullende maatregelen. Immers de quick-scan berekent slechts een (diepte)gemiddeld effect dat derhalve lokaal kan afwijken. De quick-scan moet dan ook beschouwd worden als **indicatief en richtinggevend**. De quick-scan doet wel een uitspraak over het effect van maatregelen voor het *gemiddelde* Veerse Meer.

2.2 Verificatie

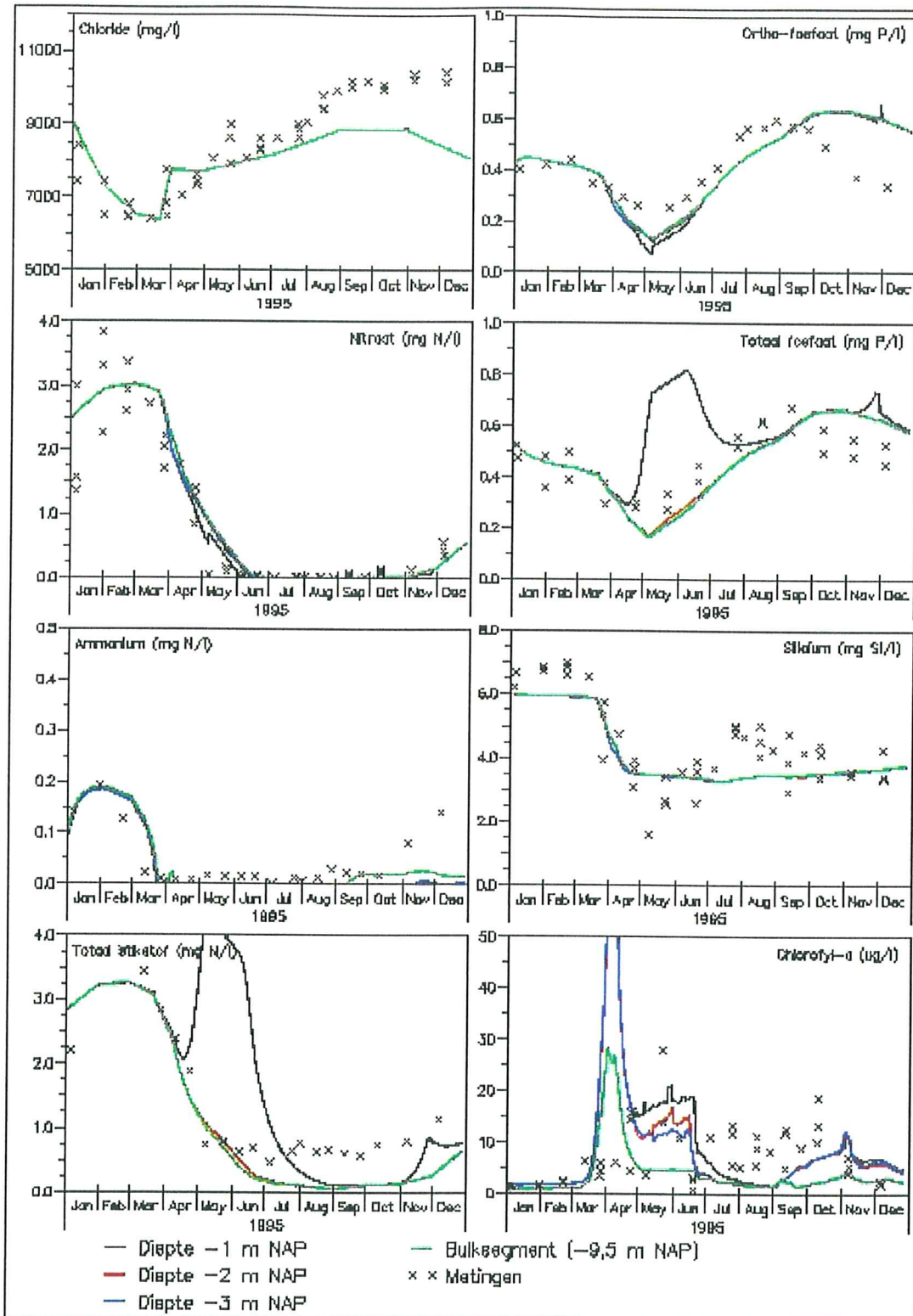
2.2.1 Modelinvoer

Ter verificatie is het model getoetst voor het jaar 1995. Voor 1995 zijn de waterbalans (in- en uitstroming), de (nutriënten)belasting en de meteorologische gegevens (instraling¹) gebruikt. De modeldefinitie, die bestaat uit het geheel van processen zoals sedimentatie en denitrificatie en procesparameters zoals afbraaksnelheid van organisch materiaal, is voor ieder jaar gelijk.

De quick-scan is in eerste instantie uitgevoerd met de parametersetting van het 3D model (WL | Delft Hydraulics, 2000). In het 3D model wordt de schuifspanning berekend op basis van de lokale stroomsnelheid en de golfinteractie met het sediment. In het quick-scan model is dit vanzelfsprekend niet aan de orde. Vandaar dat sedimentatie en erosie op een pragmatische wijze door middel van geparametriseerde sedimentatie- en erosiefluxen worden behandeld.

De belangrijkste wijziging ten opzichte van de parametersetting van het 3D model betreft de modellering van geadsorbeerd fosfaat. De metingen laten een afname van de fosfaatconcentratie in het voorjaar zien wanneer fosfaat door fytoplankton wordt opgenomen. Al vrij snel treedt een herstel op en bereikt fosfaat in augustus een concentratie die zelfs hoger is dan de winterconcentratie (respectievelijk 0,6 versus 0,4 mg P/l in 1995). In het najaar daalt de concentratie vervolgens weer tot het winterniveau. Deze toename in de zomermaanden wordt verklaard door een (na)levering van fosfaat vanuit de bodem. Na de bloei van fytoplankton in het voorjaar bezinkt het organisch materiaal naar de bodem. De oxische bovenlaag van het sediment neemt in dikte af, doordat zuurstof wordt verbruikt bij de mineralisatie van organisch materiaal. Aangezien fosfaat vele malen sterker gebonden is aan de vaste fase in de oxische laag dan in de anoxische laag, resulteert een afname van de oxische laag in het vrijkomen van fosfaat vanuit de bodem.

¹ Windsnelheid en windrichting zijn in de quick-scan schematisatie niet meegenomen in de meteorologische condities (zie ook de eerder genoemde beperkingen).



Figuur 2.2 Vergelijking van het quick-scan modelresultaat met metingen voor Wolphaartsdijk, Soelekerke en Vrouwenpolder voor 1995 (niet onderling onderscheidbaar)

Met de originele parametersetting van het 3D model kon de toename van fosfaat in de zomer niet worden gereproduceerd. In het quick-scan model wordt het vrijkomen van fosfaat uit de bodem derhalve niet direct gerelateerd aan de hoeveelheid organisch materiaal

in het sediment, maar aan de temperatuur van het water. Teruglevering van fosfaat uit het sediment wordt geïnitieerd bij een temperatuur van 12°C hetgeen overeenkomt met de temperatuur aan het eind van de piek in fytoplankton. De grootte van de flux is afgeregeld op basis van de helling in de metingen.

2.2.2 Resultaat

Figuur 2.2 geeft de resultaten van de verificatie weer. Het modelresultaat wordt vergeleken met metingen in de oppervlaktelaag van het Veerse Meer. Er is geen onderscheid gemaakt tussen de meetpunten Wolphaartsdijk in het oosten, Soelekerkepolder in het midden en Vrouwenpolder in het westen van het Veerse Meer.

De chlorideconcentratie aan het eind van de berekening is in het gehele model lager dan de metingen (Figuur 2.2). Dit zou kunnen betekenen dat de waterbalans wat betreft zout/zoet-verhouding niet op orde is, maar waarschijnlijker is dat de grove quick-scan schematisatie een rol speelt. In de gedetailleerde 3D schematisatie komt het zoutgehalte met dezelfde waterbalans wel goed overeen met de metingen.

De nutriëntconcentraties komen goed overeen met de metingen. Zowel voor nitraat als ammonia komt de hoogste concentratie in de winter voor. In het voorjaar neemt de concentratie af tot zeer lage waarden om in het najaar weer op te lopen. Het model reproduceert dit verloop uitstekend (Figuur 2.2). De piek in het model voor totaal stikstof in het 1 meter diepe segment wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van zeesla dat bij de totaal-nutriëntpool is opgeteld. In de metingen heeft totaal stikstof van mei tot november een vrijwel constante concentratie van circa 0,5 mg N/l. Het quick-scan model berekent hier een lagere concentratie. Aangezien de nitraat- en ammoniumconcentratie in zowel het model als de metingen laag zijn, moet het merendeel van het totaal stikstof in de organische fractie zitten. Een hoeveelheid van 0,5 mg N/l organisch materiaal wordt echter niet door het model voorspeld en lijkt ook in werkelijkheid erg veel.

De ortho-fosfaatconcentratie vertoont een iets ander patroon (zie voor een beschrijving de vorig paragraaf). De berekende concentratie komt goed overeen met de metingen, met uitzondering van het najaar. Aangezien totaal-fosfaat in het najaar beter overeenkomt met de metingen dan ortho-fosfaat, kan geconcludeerd worden dat alleen de onderlinge verdeling van fosfaat in het najaar niet geheel juist is. Ook hier wijkt in het model de totaal component in het ondiepe deel (-1 m NAP) af van de metingen doordat de hoeveelheid fosfaat die is vastgelegd in zeesla, is meegeteld in de totaal-fosfaatconcentratie. In werkelijkheid zal een watermonster gefilterd worden, zodat zeesla niet in de metingen is terug te vinden.

Silicium wordt voornamelijk bepaald door de mengverhouding van zoet water met een hoge concentratie en zout water met een lage concentratie. In de quick-scan is een siliciumconcentratie van 8 mg Si/l in het polderwater gehanteerd. Metingen en modelresultaat zijn goed in overeenstemming.

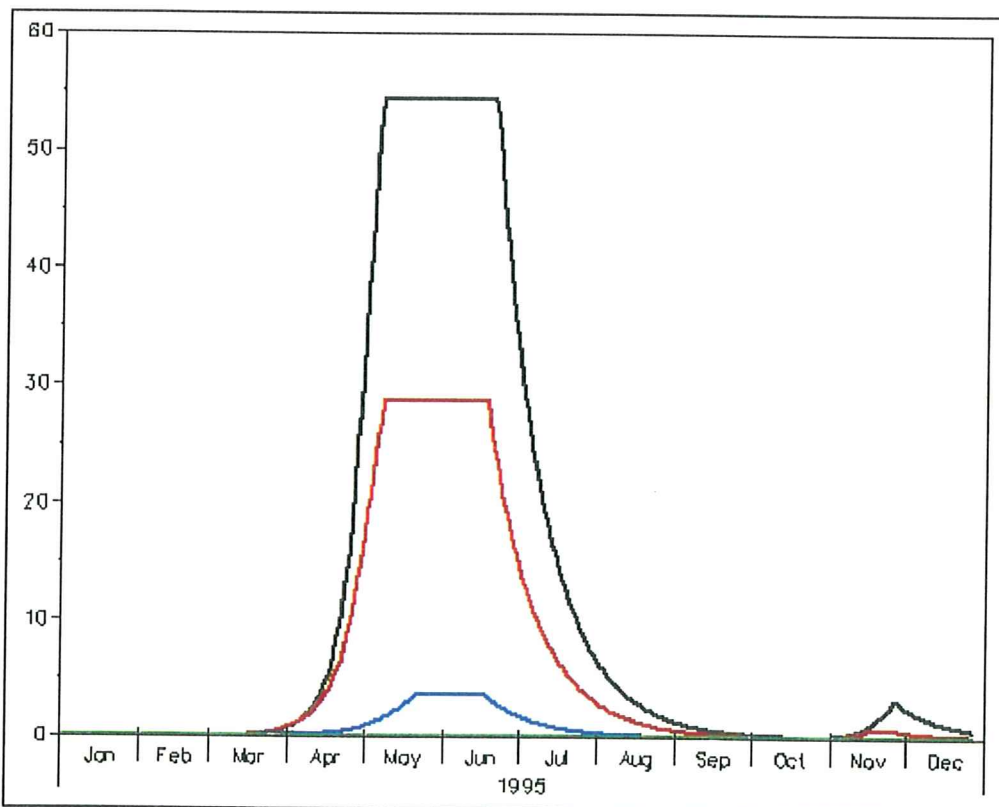
In tegenstelling tot de eerder beschreven variabelen treedt voor chlorofyl wel een ruimtelijk verschillend beeld op. Dit wordt gestuurd door de diepte. De voorjaarspiek van chlorofyl

ligt iets te vroeg in het jaar. Het berekende niveau is over het algemeen wat lager dan de metingen, hetgeen veroorzaakt wordt doordat in de vereenvoudigde schematisatie een gestratificeerde bovenlaag ontbreekt. Hierdoor wordt de lichtbeschikbaarheid over een grotere diepte geïntegreerd (namelijk de gehele waterkolom in plaats van alleen de bovenlaag), waardoor netto minder licht beschikbaar is.

Voor zeesla is duidelijk dat bij een diepte groter dan 2 meter de hoeveelheid zeesla minimaal is (Figuur 2.3). Het verloop van de hoeveelheid zeesla heeft een symmetrisch patroon hetgeen veroorzaakt wordt door de geschematiseerde opzet van het quick-scan model en de regelmatige forcering (dagelijkse variatie in bijvoorbeeld wind is buiten beschouwing gelaten). De afvlakking treedt op wanneer groei en sterfte van zeesla elkaar compenseren. De toename in november is het gevolg van het verlagen van het waterpeil waardoor de beschikbaarheid van licht toeneemt.

Door Kamermans *et al.* (1999) is (onder andere) de hoeveelheid zeesla in het Veerse Meer geïnventariseerd. Uit de kaartbeelden kan afgeleid worden dat zeesla inderdaad bij geringe waterdiepten wordt aangetroffen. De maximale gemeten biomassa bedraagt (in 1999) 488 g DW/m² (≈ 150 gC/m²); het gemiddelde ligt rond de 200 g DW/m² (≈ 60 gC/m²).

Op basis van de hierboven gepresenteerde vergelijking van metingen en modelresultaten kan worden geconcludeerd dat het quick-scan model het systeem van het Veerse Meer goed reproduceert. De quick-scan is geschikt om op indicatieve basis het effect van (beheers)maatregelen te voorspellen.



Figuur 2.3 Ontwikkeling van zeesla (gC/m²) in het quick-scan model bij verschillende diepten. Zwarte lijn: -1 m NAP, rode lijn: -1,5 m NAP, blauwe lijn: -2 m NAP, groene lijn: -2,5 m NAP.

2.3 Effect van maatregelen

Het effect van maatregelen wordt onderzocht door de maatregel met het quick-scan model te simuleren en het resultaat te vergelijken met de uitgangssituatie. De volgende (potentiële) maatregelen zijn beschouwd:

1. Aanleg van het doorlaatmiddel in de Zandkreekdam
2. Hanteren van een vast peil op 0 m NAP
3. Reduceren van de stikstofbelasting uit de polders
4. Reduceren van de fosfaatbelasting uit de polders

Een belangrijk onderscheid dat ook in eerdere studies wordt gemaakt, is het verschil tussen uitwisselen en doorspoelen van het Veerse Meer. Het geplande doorlaatmiddel wisselt water met de Oosterschelde uit op een punt, namelijk de Zandkreekdam. Water dat het Veerse Meer instroomt moet door dezelfde opening het meer weer verlaten: het doorlaatmiddel fungeert tegelijkertijd als inlaat en uitlaat. In het geval van doorspoelen zijn de in- en uitlaat ruimtelijk van elkaar gescheiden. Zo is bijvoorbeeld geopperd water bij de Veersedam in te laten (door middel van de Zoute Kreek optie) en het vervolgens bij de Zandkreekdam uit te laten.

De opzet van het quick-scan model maakt het niet mogelijk een onderscheid te maken tussen uitwisselen en doorspoelen. Immers, afgezien van de ondiepe delen bestaat de quick-scan slechts uit een bulksegment, waardoor geen onderscheid mogelijk is tussen inlaat in het westen (bij de Veersedam) of in het oosten (bij de Zandkreekdam); in modeltermen zijn beide mogelijkheden identiek. Een lozing of onttrekking wordt instantaan toegepast op het gehele meer. In werkelijkheid zullen de geografische positie en de lengte van het meer een belangrijke rol spelen.

In de 3D modellering is aangetoond dat uitwisselen relatief inefficiënt is in het verversen van het Veerse Meer. Volgens de 3D modelberekeningen werd in de huidige situatie 70% van het meer binnen een jaar verversd. Met uitwisselen door middel van het doorlaatmiddel was dat 85%, maar in het geval van doorspoelen 99%. In het quick-scan model kan derhalve toch een uitspraak gedaan worden over uitwisselen of doorspoelen door te spreken in termen van efficiëntie. Bijvoorbeeld, stel dat gedurende een vloedperiode $80 \text{ m}^3/\text{s}$ van de Oosterschelde het Veerse Meer instroomt. Stel vervolgens dat tijdens de daarop volgende eb $75 \text{ m}^3/\text{s}$ van dit water direct weer naar buiten stroomt samen met $5 \text{ m}^3/\text{s}$ Veerse Meer water. De **efficiëntie** van het doorlaatmiddel wordt in deze studie dan gedefinieerd als $6,25\%$ ($= (80 - 75) / 80$) en het **netto verversingsdebiet** als $5 \text{ m}^3/\text{s}$. In het quick-scan model kan nu het verschil tussen uitwisselen en doorspoelen worden uitgedrukt doordat doorspoelen een hogere efficiëntie heeft dan uitwisselen. Of met andere woorden: het netto verversingsdebiet zal voor uitwisseling lager zijn dan voor doorspoeling.

2.3.1 Aanleg van het doorlaatmiddel: verversing van het Veerse Meer

In deze paragraaf wordt gekeken naar het effect van de efficiëntie van het doorlaatmiddel op de waterkwaliteit en ecologie van het Veerse Meer. De volgende scenario's worden vergeleken:

1. Huidige situatie

2. Met doorlaatmiddel, efficiëntie 5% (netto verversingsdebiet 2 m³/s en 1,25 m³/s voor respectievelijk zomerpeil en winterpeil)
3. Met doorlaatmiddel, efficiëntie 10% (netto verversingsdebiet 4 m³/s en 2,5 m³/s voor respectievelijk zomerpeil en winterpeil)
4. Met doorlaatmiddel, efficiëntie 25% (netto verversingsdebiet 10 m³/s en 6,25 m³/s voor respectievelijk zomerpeil en winterpeil)
5. Met doorlaatmiddel, efficiëntie 50% (netto verversingsdebiet 20 m³/s en 12,5 m³/s voor respectievelijk zomerpeil en winterpeil)

De capaciteit van het doorlaatmiddel bedraagt gemiddeld 80 m³/s bij een waterpeil van 0 m NAP. Bij het winterpeil (-0,70 m NAP) is de capaciteit gemiddeld 50 m³/s. Dit houdt in dat bij vloed gedurende circa 6 uur het instromende debiet 80 m³/s is. Bij eb is het uitstromende debiet 80 m³/s. Getijgemiddeld is het uitwisselingsdebiet derhalve 40 m³/s (respectievelijk 25 m³/s bij winterpeil). Een efficiëntie van 5% betekent derhalve een netto verversingsdebiet van 2 m³/s bij zomerpeil en 1,25 m³/s bij winterpeil.

De verversing per jaar is voor het quick-scan model uitgerekend en ter vergelijking met de 3D simulatie weergegeven in Tabel 2.2. Wiskundig is aan te tonen dat onder aanname van een goed gemengd systeem 63% van het water vervangen is na een verblijftijd. In Tabel 2.2 is derhalve ook de verblijftijd opgenomen, berekend uit het verversingspercentage na 1 jaar.

Tabel 2.2 Percentage van het watervolume dat binnen 1 jaar ververs wordt en vergelijking 3D modellering en Quick-scan.

Model	Berekening	% ververs na 1 jaar	verblijftijd
3D	Huidige situatie	70%	10 maanden
	Met doorlaatmiddel (uitwisseling)	85%	6 maanden
	Doorspoelen (10 m ³ /s)	99%	2,5 maanden
Quick-scan	Huidige situatie	73%	9 maanden
	Met doorlaatmiddel - efficiëntie 5%	84%	6,5 maanden
	Met doorlaatmiddel - efficiëntie 10%	91%	5 maanden
	Met doorlaatmiddel - efficiëntie 25%	98%	3 maanden
	Met doorlaatmiddel - efficiëntie 50%	99%	2,5 maanden

Uit Tabel 2.2 valt af te lezen dat de 3D simulatie met doorlaatmiddel te vergelijken is met een efficiëntie van 5% in het quick-scan model (netto verversingsdebiet 2 m³/s bij zomerpeil). Het doorspoelscenario in de 3D modellering is te vergelijken met een efficiëntie van 25% tot 50% (netto verversingsdebiet 10 tot 20 m³/s bij zomerpeil).

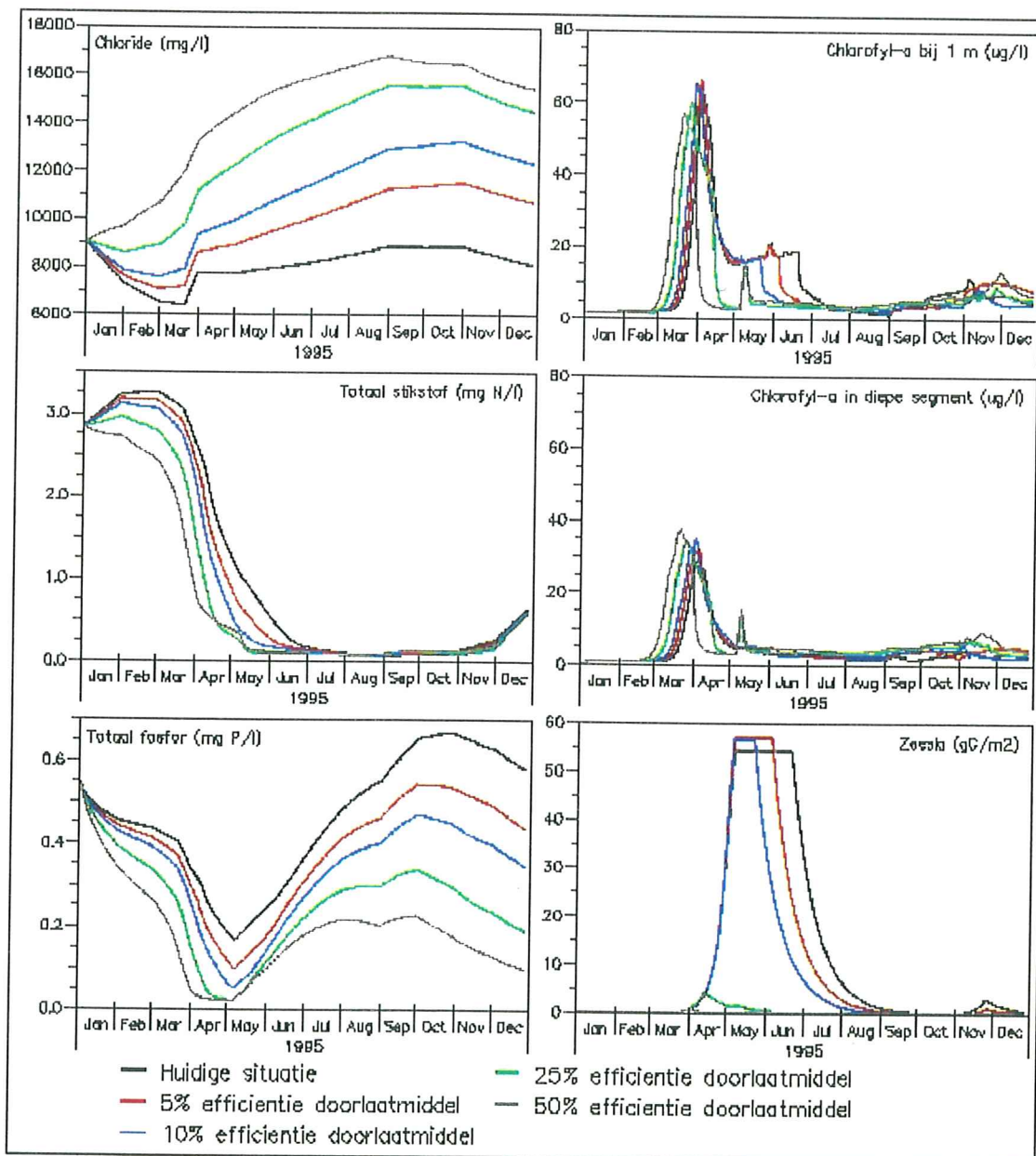
Resultaat

Het effect van het doorlaatmiddel vertaalt zich het meest duidelijk in het zoutgehalte (Figuur 2.4): hoe groter de uitwisseling met de Oosterschelde, hoe hoger het zoutgehalte. Ook voor de nutriënten is het effect zichtbaar, maar met name voor stikstof is het effect relatief beperkt. De concentratie in de winter neemt slechts langzaam af naarmate het doorlaatmiddel efficiënter wordt. De bloei van fytoplankton – uitgedrukt in chlorofyl-a – wordt in de modelberekening niet door het doorlaatmiddel beïnvloed. Zelfs bij een hoge efficiëntie van 50% bereikt chlorofyl vrijwel hetzelfde niveau als in de huidige situatie. De

duur van hoge(re) chlorofylconcentraties in de ondiepe gedeelten van het meer neemt wel af en is bij een efficiëntie van 25% beperkt tot de voorjaarspiek.

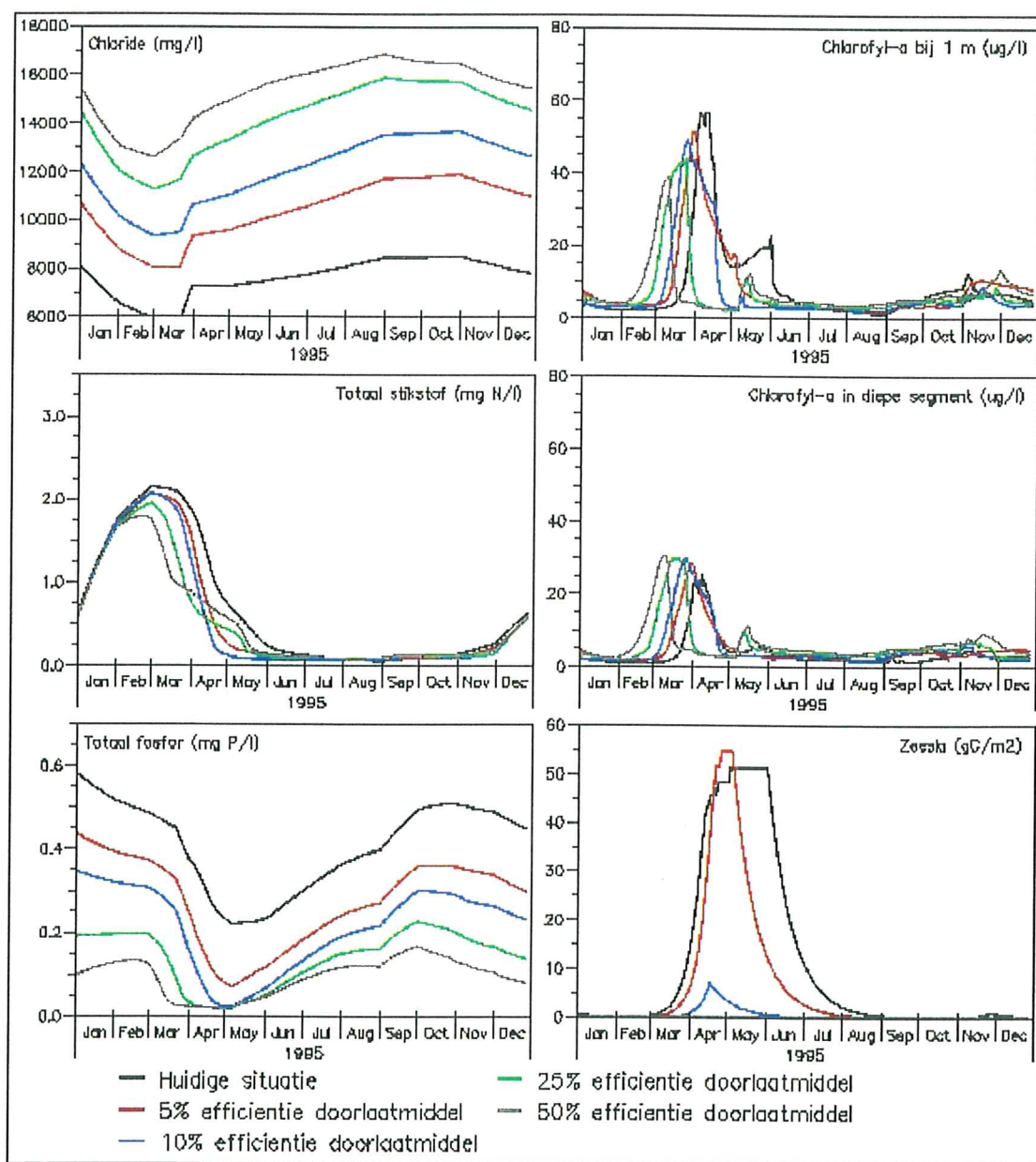
De quick-scan geeft hetzelfde beeld als de 3D modellering: bij een geringe efficiëntie van het doorlaatmiddel kan een verhoging van de biomassa zeesla optreden. Echter, doordat toch versnelt nutriënten worden afgevoerd naar de Oosterschelde is de duur korter.

Uit Figuur 2.4 blijkt dat de concentratie aan het eind van het jaar niet overeenkomt met de concentratie aan het begin van het jaar. Deze afwijking wordt veroorzaakt doordat de initiële conditie is afgeleid uit de bestaande situatie. Om de invloed van de initiële conditie te omzeilen is een doorstart gemaakt (Figuur 2.5).



Figuur 2.4 Effect van het doorlaatmiddel op relevante parameters en invloed van de efficiëntie van het doorlaatmiddel (startend met dezelfde initiële conditie). 5% efficiëntie van het doorlaatmiddel komt overeen met een netto verversingsdebiet van 2 m³/s bij zomerpeil en 1,25 m³/s bij winterpeil. Overige percentages naar rato.

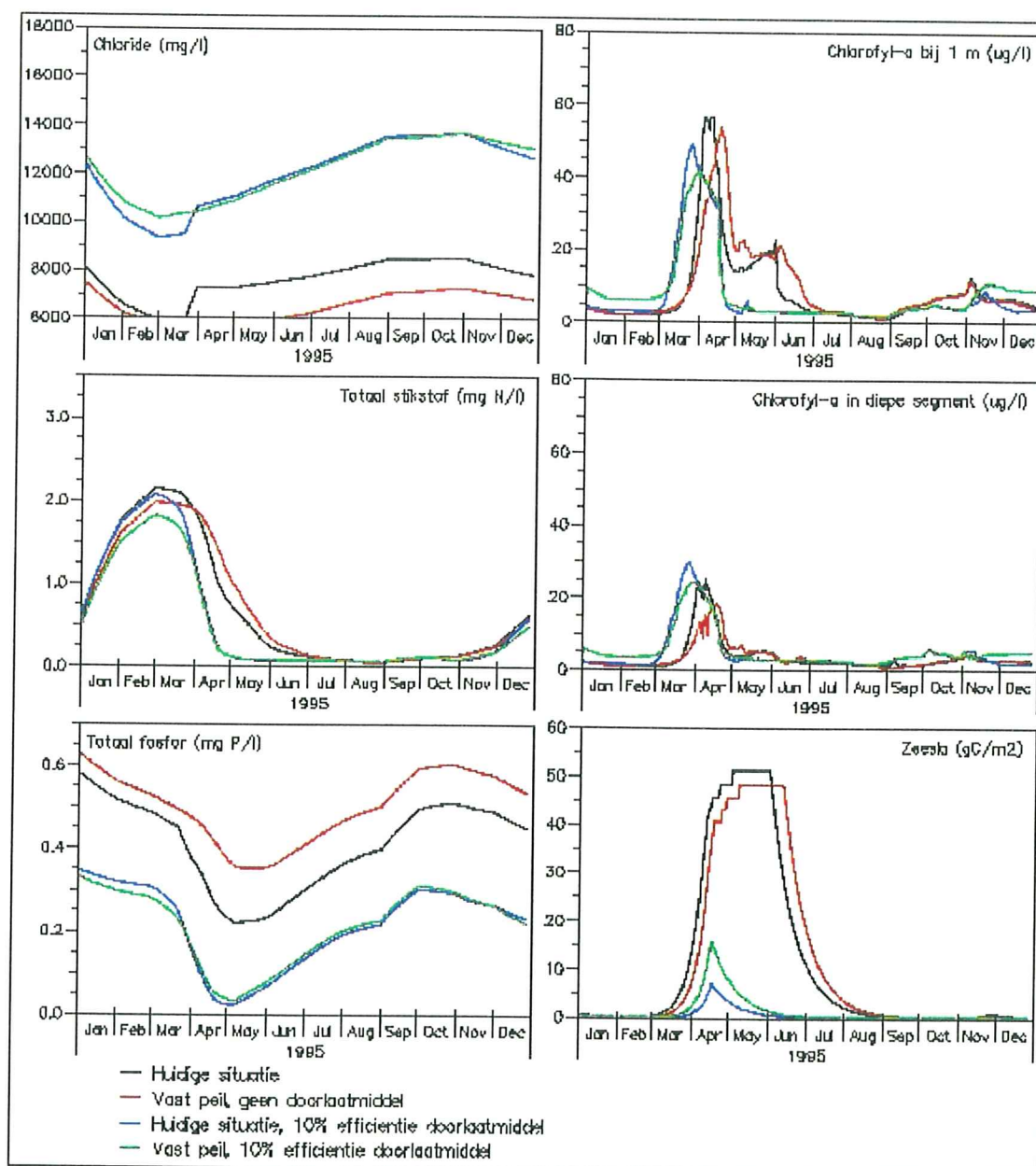
De opmerkelijke uitkomst is dat het resultaat nauwelijks verschilt van de eerste berekening. Uiteraard is het Veerse Meer nu over het hele jaar zouter en tonen de scenario's een grotere variatie voor de nutriëntconcentraties. De hoeveelheid chlorofyl neemt licht af ten opzichte van Figuur 2.4. Een belangrijke wijziging treedt op voor zeesla. Waar in Figuur 2.4 een efficiëntie van 10% niet toereikend om de hoeveelheid zeesla substantieel omlaag te brengen, slaagt dat bij een andere initiële conditie wel. De wintervoorraad stikstof bereikt nu een maximum van circa 2 mg N/l in tegenstelling tot circa 3 mg N/l in de eerste berekening. Hoewel de winterconcentratie fosfaat aanzienlijk afwijkt tussen Figuur 2.5 en Figuur 2.4, is het verschil in concentratie in april/mei relatief beperkt. Gezegd moet worden dat bij lage concentraties een kleine afname al kan resulteren in een omslag naar fosfaatlimitatie en zodoende toch een groot effect kan hebben.



Figuur 2.5 Effect van het doorlaatmiddel op relevante parameters als functie van de efficiëntie van het doorlaatmiddel (na één jaar). 5% efficiëntie van het doorlaatmiddel komt overeen met een netto verversingsdebiet van 2 m³/s bij zomerpeil en 1,25 m³/s bij winterpeil. Overige percentages naar rato.

2.3.2 Handhaven van een vast peil

De peilopzet in het voorjaar is een belangrijke aanzet tot het ontstaan van stratificatie. Het zoute Oosterscheldewater stroomt via de geul in de putten die daardoor afgesloten worden van de aanmerkelijk zoetere bovenlaag. Het handhaven van een vast peil voorkomt de toevloed van zout water in het voorjaar, waardoor de aanzet tot stratificatie wordt weggenomen. Modelberekeningen hebben overigens laten zien dat stratificatie nooit helemaal te voorkomen is, ook niet na aanleg van het doorlaatmiddel.



Figuur 2.6 Effect van een variabel of vast peil op relevante parameters. 10% efficiëntie van het doorlaatmiddel komt overeen met een netto verversingsdebiet van 4 m³/s bij zomerpeil en 2,5 m³/s bij winterpeil.

De volgende scenario's zijn vergeleken:

1. Huidige situatie, variabel peil
2. Huidige situatie met een vast peil op 0 m NAP
3. Met doorlaatmiddel (efficiëntie 10%), variabel peil
4. Met doorlaatmiddel (efficiëntie 10%), vast peil op 0 m NAP

Figuur 2.6 toont het resultaat voor deze scenario's waarbij ook nu een doorstart is gemaakt om het effect van de initiële conditie te verminderen.

Bij een vergelijking van het variabele peil tegenover het vaste peil valt op dat relatief weinig verschil optreedt. De totaal-stofstofconcentratie is een fractie lager bij een vast peil. Totaal-fosfaat is beduidend hoger bij een vast peil in de huidige situatie, maar vergelijkbaar bij een doorlaatmiddel. Het verhogen van het peil heeft tot gevolg dat verdunning optreedt met Oosterscheldewater dat een lage fosfaatconcentratie heeft. In de huidige situatie is de verdunning significant, omdat de peilopzet een groot aandeel heeft in de uitwisseling met de Oosterschelde. Met het doorlaatmiddel neemt de significantie af, doordat continue met de Oosterschelde uitgewisseld wordt. De hoeveelheid fytoplankton en zeesla is redelijk vergelijkbaar voor een vast en variabel peil.

Ten aanzien van deze scenario's moet een voorbehoud gemaakt worden. De peilopzet speelt, zoals gezegd, een belangrijke rol bij de stratificatie van het Veerse Meer. Door de 2-dimensionale opzet van de quick-scan maakt stratificatie geen deel uit van de berekening. Daarnaast is de invloed van het (langdurig) droogvallen en onderlopen van de ondiepe delen op de waterkwaliteit en ecologie onbekend. De quick-scan bevat geen droogvallende delen, zodat geen rekening gehouden wordt met dit aspect.

2.3.3 Reduceren van de stikstofbelasting

Het reduceren van de hoeveelheid beschikbare nutriënten wordt gezien als een mogelijkheid om de primaire productie van fytoplankton en zeesla te beperken. De reductie van nutriënten wordt in twee stappen in beschouwing genomen: een reductie van de stikstofbelasting en een reductie van de fosfaatbelasting.

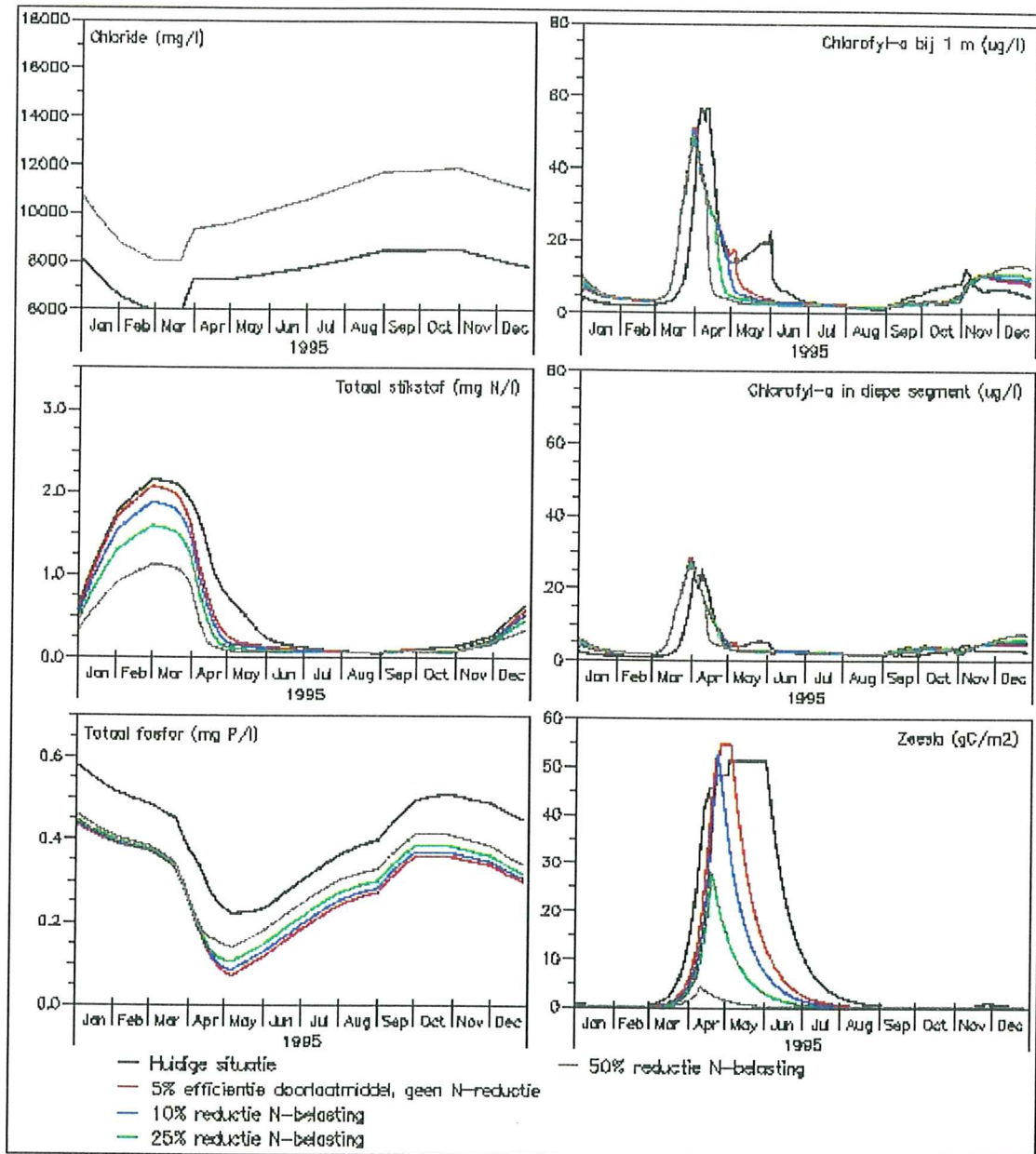
In deze paragraaf worden de volgende vijf scenario's vergeleken:

1. Huidige situatie
2. Met doorlaatmiddel (5% efficiëntie)
3. Met doorlaatmiddel (5% efficiëntie), 10% reductie van de N-belasting uit polders
4. Met doorlaatmiddel (5% efficiëntie), 25% reductie van de N-belasting uit polders
5. Met doorlaatmiddel (5% efficiëntie), 50% reductie van de N-belasting uit polders

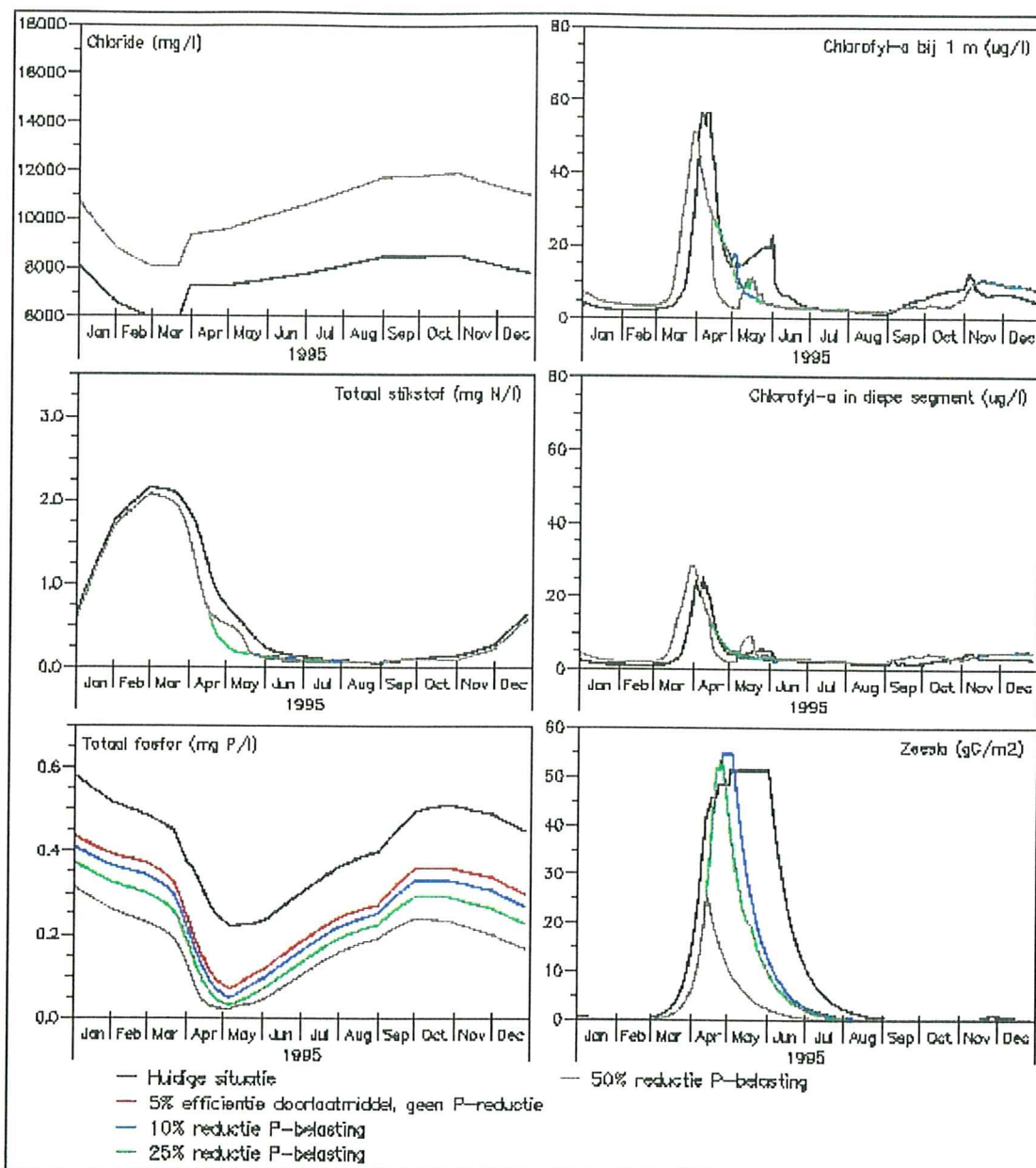
Figuur 2.7 toont de resultaten van de vijf scenario's. Duidelijk zal zijn dat in de quick-scan aanname voor de efficiëntie van het doorlaatmiddel een belangrijke rol speelt. Hier is gekozen voor 5% efficiëntie gekozen omdat deze vergelijkbaar is met het uitwisselingsscenario van het 3D model (Tabel 2.2).

De reductie van de stikstofbelasting heeft voornamelijk effect op zeesla en veel minder op fytoplankton. De opbouw van stikstof (nitraat en ammonium) in de winter en het bereikte

niveau zijn sturend voor de biomassa zeesla. Een 25% reductie levert ruwweg een halvering van de hoeveelheid zeesla en een kortere bloeiperiode. De beschikbaarheid van nutriënten is dermate ver beperkt dat limitatie voor zeesla gaat optreden.



Figuur 2.7 Effect van de reductie van de stikstofbelasting uit de polders op relevante parameters. Voor het doorlaatmiddel is een efficiëntie van 5% aangenomen hetgeen overeenkomt met een netto verversingsdebiet van 2 m³/s bij zomerpeil en 1,25 m³/s bij winterpeil.



Figuur 2.8 Effect van de reductie van de fosfaatbelasting uit de polders op relevante parameters. Voor het doorlaatmiddel is een efficiëntie van 5% aangenomen hetgeen overeenkomt met een netto verversingsdebiet van 2 m³/s bij zomerpeil en 1,25 m³/s bij winterpeil.

2.3.4 Reduceren van de fosfaatbelasting

In deze paragraaf worden de volgende vijf scenario's vergeleken:

1. Huidige situatie
2. Met doorlaatmiddel (5% efficiëntie)
3. Met doorlaatmiddel (5% efficiëntie), 10% reductie van de P-belasting uit polders
4. Met doorlaatmiddel (5% efficiëntie), 25% reductie van de P-belasting uit polders
5. Met doorlaatmiddel (5% efficiëntie), 50% reductie van de P-belasting uit polders

Figuur 2.8 toont dat een verlaging van de hoeveelheid zeesla pas bereikt wordt bij een substantiële verlaging van de fosfaatbelasting uit de polders. Een reductie met 25% heeft nog nauwelijks effect. Wederom geldt dat het effect op fytoplankton minimaal is.

2.4 Discussie

De uitgevoerde quick-scan geeft een inzichtelijk beeld van de algemene waterkwaliteit van het Veerse Meer en de uitwerking van (de combinatie van) verschillende maatregelen op de waterkwaliteit en de verwachte ontwikkeling van zeesla. Men moet zich er echter van bewust blijven dat de quick-scan een zeer vereenvoudigde weergave van het complexe systeem is dat het tracht te beschrijven. De berekende effecten zijn in relatieve zin zeker betekenisvol, maar aan de absolute berekende waarde of concentratie mag niet te veel gewicht toegekend worden. Zoals geldt voor alle modeltoepassingen is het noodzakelijk dat men notie neemt van de aannames en onzekerheden.

Het Veerse Meer is een langgerekt watersysteem. Het plaatsen van het doorlaatmiddel aan het ene uiteinde introduceert een asymmetrie. Verwacht mag worden dat het doorlaatmiddel bij de Zandkreekdam veel invloed zal hebben (stroming, saliniteit, getij), terwijl dit bij de Veersedam aan het andere uiteinde veel minder zal zijn. Deze asymmetrie is niet in de quick-scan verwerkt.

De efficiëntie van het doorlaatmiddel is zeer bepalend voor de uiteindelijke waterkwaliteit. Ook hiervoor geldt dat de efficiëntie niet als een uniform gegeven beschouwd mag worden. Ter hoogte van de Zandkreekdam zal het doorlaatmiddel uitermate efficiënt zijn in het verversen van het Veerse Meer. Echter, ter hoogte van de Veersedam zal de verversing vele malen trager verlopen. De quick-scan berekent een gemiddelde waterkwaliteit, aangezien de uitwisseling onmiddellijk over het volledige systeem verdeeld wordt. Tabel 2.2 geeft aan dat het doorlaatmiddel een efficiëntie van circa 5% heeft hetgeen neerkomt op een netto verversingsdebiet van $2 \text{ m}^3/\text{s}$ (zomerpeil) of $1,25 \text{ m}^3/\text{s}$ (winterpeil). Het is noodzakelijk meer duidelijkheid te verkrijgen over de effectiviteit van het doorlaatmiddel, om de op modellen gestoelde bewering beter te onderbouwen.

De berekeningen met het quick-scan model geven aan dat de hoeveelheid zeesla bepaald wordt door de wintervoorraad aan stikstof. De afvoer van polderwater naar het Veerse Meer zorgt voor een aanzienlijke toename in de winter van de stikstofconcentratie (nitraat, ammonium). Door de bloei van fytoplankton die voorafgaat aan de bloei van zeesla, wordt een deel (tijdelijk) aan de beschikbare voorraad onttrokken. De resterende stikstof wordt gebruikt voor de bloei van zeesla. Uit de berekening komt naar voren dat stikstof in de huidige situatie het beperkende nutriënt is. Fosfaat is dit zonder twijfel niet. Malta (2000) bevestigt dit in zijn proefschrift. Het verlagen van de beschikbare (winter)voorraad aan stikstof lijkt dan ook de aangewezen methode voor het tegengaan van excessieve bloei van zeesla.

3 Interviews

3.1 Inleiding

Met de volgende personen zijn gesprekken gevoerd:

1. dr. Pauline Kamermans (RIVO Centrum voor Schelpdieronderzoek, Yerseke)
2. dr. ir. Jan Rijstenbil (NIOO-CEMO, Yerseke)
3. dr. Dick de Jong (RIKZ, Middelburg)
4. prof. dr. Piet Nienhuis (Katholieke Universiteit Nijmegen)
5. drs. Hans Los (WL | Delft Hydraulics)
6. dr. Erik-jan Malta (Cadiz, Spanje) - op basis van proefschrift

De gesprekken zijn gevoerd op basis van een algemene vragenlijst die vooraf niet bij de experts bekend was. Het gesprek had als algemeen onderwerp 'Hoe schat u de ontwikkeling in van het ecosysteem in het algemeen en de ontwikkeling van zeesla in het bijzonder na aanleg van het doorlaatmiddel in de Zandkreekdam.' Hierbij wordt gebruik gemaakt van de modelresultaten als indicatie van de 'toekomstige' abiotische factoren.

De vragen kunnen samengevat worden tot de volgende lijst:

- De rol van zeesla in het huidige Veerse Meer
- De ontwikkeling van zeesla na aanleg van het doorlaatmiddel en de betrouwbaarheid van de modelvoorspelling
- Mogelijkheden voor en kans op succes van aanvullende maatregelen ter voorkoming van excessieve groei van zeesla
- Streefbeeld voor het Veerse Meer: welk ecosysteem is waarschijnlijk
- Bijkomende aspecten I: invloed van het winter/zomerregime van het waterpeil
- Bijkomende aspecten II: invloed en belang van het sediment

In de volgende paragrafen wordt een weergave gegeven van de interviews ingedeeld naar de hierboven beschreven vragen. Indien nodig worden uitspraken van de geïnterviewden door middel van initialen aangeduid.

3.2 Bewerkte weergave van de interviews

3.2.1 Zeesla in het huidige Veerse Meer

Het Veerse Meer was opgenomen als een van de proeflocaties in het EUMAC² project. Dit project dat in de jaren '90 is uitgevoerd, had als doel onderzoek te doen naar (de groei van) macroalgen in verschillende Europese systemen. Andere locaties die in het project waren opgenomen, waren onder andere de lagune van Venetië in Italië en de Lannion baai in

² *Eutrophication and MACrophytes*

Frankrijk. Het Veerse Meer bleek een unieke locatie om verscheidene redenen. Ten eerste het hoge nutriëntengehalte met name voor fosfaat (JR). Daarnaast is de specifieke soort zeesla (*Ulva scandinavica*) vrijwel uniek voor het Veerse Meer als overheersende soort.

Alle geïnterviewden geven aan dat het huidige systeem uitermate geschikt is voor het voorkomen van zeesla. Men kan de huidige condities op twee manieren beschouwen. Ze kunnen in het voordeel zijn van zeesla of ze kunnen in het nadeel zijn van andere, concurrerende organismen. Onder de condities vallen de hoge nutriëntconcentraties en het slibrijke sediment, die in het voordeel zijn van zeesla. Het lage zoutgehalte in het Veerse Meer is voor veel organismen aan de lage kant en dus belemmerend voor hun voorkomen (PN, DdJ). Zowel groenwieren (*Chaetomorpha*), roodwieren (*Gracilaria*) als zeegras hebben baat bij een hoger zoutgehalte. Overigens is ook zeesla gebaat bij een hoger zoutgehalte, maar is groei van zeesla nog steeds mogelijk bij het huidige lage zoutgehalte. Veelal is ook een hard substraat nodig, hetgeen in het Veerse Meer eigenlijk nauwelijks aanwezig is (PN, DdJ). Door Dick de Jong worden de condities wel gunstig geacht voor *Rupia*. Het is niet duidelijk, waarom *Rupia* blijkbaar in concurrentie met zeesla het onderspit delft.

Ook het variabele peil draagt mogelijk bij aan de dominantie van zeesla. Na peilopzet moeten de ondiepe delen 'gekoloniseerd' worden, aangezien het bodemleven nagenoeg afwezig is en derhalve ieder jaar opnieuw opgebouwd moet worden (PK). Zeesla dat voornamelijk in drijvende of zwevende vorm voorkomt (dat wil zeggen niet vastgehecht aan de bodem) wordt door de wind automatisch naar de ondiepe delen gedreven en heeft daar vervolgens vrij spel. Piet Nienhuis karakteriseert zeesla als een opportunist die optimaal gebruik maakt van de geboden kans.

Zeesla blijkt in fragmenten in het sediment te overwinteren en is dus niet afhankelijk van sporen om de bloei te initiëren (PK, PN, EJM). Het voorkomen van fragmenten in het sediment is aangetoond. Het opwoelen van sediment in het voorjaar brengt waarschijnlijk voldoende fragment naar het lichtrijke bodemoppervlak om zeesla een voorsprong te geven in de concurrentie met andere organismen.

Stikstof en licht zijn beperkend voor de groei van zeesla, fosfaat is zeker niet limiterend (PK, PN, JR, EJM). Lichtlimitatie komt voor in de dikke zeeslamatten, waar de onderkant van de mat wezenlijk andere condities ondervindt dan de bovenkant. Door lichtlimitatie sterft zeesla aan de onderkant van de mat af (lokaal zuurstofloosheid!), terwijl de bovenkant kampt met de lage beschikbaarheid van stikstof en mogelijk zelfs een teveel aan licht (fotoinhibitie). Het vrijkomen van stikstof door het afsterven wordt dan bepalend voor de productie van nieuwe zeesla (PN).

3.2.2 Na het doorlaatmiddel en de modelvoorspelling

Het 3D model berekent een gelijkblijvende of zelfs toenemende hoeveelheid zeesla na aanleg van het doorlaatmiddel (WL | Delft Hydraulics, 2000). Door alle geïnterviewden wordt dit modelresultaat als realistisch beoordeeld. Het doorlaatmiddel wordt als niet afdoende beschouwd om de excessieve groei van zeesla tegen te gaan (DdJ, JR). Een toename van zeesla is in eerste instantie niet verwacht (DdJ, JR), maar gezien de verklaring

van een verbeterd lichtklimaat niet onwaarschijnlijk. De groeisnelheid van zeesla neemt toe met een toename van het zoutgehalte, zoals experimenteel is aangetoond door Malta (2000). Verzouten op zich is derhalve geen maatregel tegen zeesla.

3.2.3 Aanvullende maatregelen

Aangezien het doorlaatmiddel niet leidt tot een afname van zeesla, zijn aanvullende maatregelen noodzakelijk. Het doorlaatmiddel is wel een noodzakelijke en zeer nuttige, edoch eerste stap ter verbetering van de waterkwaliteit en ecologie van het Veerse Meer (JR, DdJ). De meeste geïnterviewden zetten vraagtekens bij (de haalbaarheid van) het variabele winter- en zomerpeil (PN, JR, DdJ).

Het verminderen van de stikstofbelasting op het Veerse Meer is de aanvullende maatregel die als meest veelbelovende wordt gezien. Hieraan ligt ten grondslag dat stikstof nu al limiterend is, zodat een vermindering van de beschikbare hoeveelheid stikstof direct tot een lagere biomassa zeesla zal leiden. Helofytenfilters zijn een optie voor de verwijdering van stikstof uit het polderwater (PN), terwijl het afleiden van polderwater naar de Oosterschelde of Westerschelde ook als mogelijkheid wordt gezien (PK, JR, DdJ). Men is het er overigens niet over eens of het afleiden van zoet, nutriëntrijk water naar de Oosterschelde gunstig (DdJ) of ongunstig (voor wat betreft nutriënten, PK) is voor het ecosysteem in de Oosterschelde.

Het is niet mogelijk een concentratieniveau van stikstof aan te geven waarbij zeesla niet meer (excessief) zal voorkomen. Malta (2000) relateert stikstoflimitatie niet aan de concentratie in het water maar aan de fractie stikstof (in % drooggewicht) in zeesla zelf: stikstoflimitatie treedt op wanneer de fractie stikstof lager is dan 2,3 % van het drooggewicht.

Het verwijderen van fosfaat uit het polderwater wordt beschouwd als een mogelijke, maar niet erg realistische optie (PN).

De hoeveelheid zeesla kan ook verminderd worden door het zogenaamde oogsten. Door op het hoogtepunt van de bloei zeesla te verwijderen, worden nutriënten aan het systeem onttrokken. Men verwacht echter dat slechts een relatief kleine fractie op deze wijze verwijderd kan worden en de maatregel derhalve niet significant aantikt (JR). Bovendien is voor de geogoste zeesla geen afzetmarkt, zodat een afvalprobleem ontstaat (JR, DdJ).

Een tweede periode waarin zeesla geogost zou kunnen worden is de winterperiode voor peilopzet. Door de drooggevallen delen om te ploegen of te 'harken' kunnen de overwinterende fragmenten zeesla verwijderd worden, zodat deze de bloei in het voorjaar niet kunnen initiëren. Ook tot een waterdiepte van circa 1 m zullen de fragmenten in de waterbodem verwijderd moeten worden om de maatregel effectief te laten zijn (PK, PN, JR). Hoewel wellicht haalbaar, lijkt deze maatregel zeer arbeidsintensief, omdat de verwijdering van de fragmenten nagenoeg 100% efficiënt moet worden uitgevoerd. Restanten zeesla zouden alsnog voor een bloei kunnen zorgen. Tevens is niet duidelijk of de verwijdering van fragmenten ieder jaar herhaald zou moeten worden, nog afgezien van de wenselijkheid van het omwerken van de ondiepe delen.

Tot slot twee aanvullende maatregelen die organismen anders dan zeesla moeten bevoordelen: het handhaven van een vast peil en het creëren van hard substraat oppervlakten. Zeesla is in het voordeel bij een onstabiel systeem. Het variabele peil is daar een voorbeeld van (PN), maar ook de pulsgewijze aanvoer van stikstof met het zoete water (JR). *Chaetomorpha* bijvoorbeeld zijn gediend met een lagere constante toevoer. Het creëren van hard substraat vergroot de mogelijke habitat van diverse wieren, die dan meer kans hebben in de concurrentie met zeesla (PN). De verhoging van het zoutgehalte is overigens voor de wieren een noodzakelijke voorwaarde, waaraan door middel van het doorlaatmiddel zal worden voldaan.

3.2.4 Streefbeeld voor het Veerse Meer

Alle geïnterviewden vergelijken het Veerse Meer met de Oosterschelde en de Grevelingen om een inschatting te maken van de gewenste ontwikkeling van het Veerse Meer. De Grevelingen is te zout, zodat zeegras verdwijnt. Een dergelijk hoog zoutgehalte zal voor het Veerse Meer niet optreden.

Men is van mening dat in Veerse Meer een gevarieerd ecosysteem kan ontstaan (DdJ, PN). Het creëren van een stabiel systeem (geen variabel winter- en zomerpeil) wordt hiervoor als zeer wenselijk gezien. Door het vergroten van het oppervlak hard substraat kan een gevarieerd systeem met afwisselend diverse wieren, zeegras en zeesla ontstaan. *Dasia* (PK) en *Rupia* (DdJ) zijn twee andere genoemde soorten. We moeten opmerken dat zeesla niet noodzakelijk uitgeroeid hoeft te worden, aangezien zeesla een natuurlijke plaats in het ecosysteem heeft. Het voorkomen van excessieve groei en de nagenoeg volkomen dominantie van een soort leidt echter tot een verschaald ecosysteem.

In het streefbeeld van Jan Rijstenbil is de terugkeer van de getijslag opgenomen. Een variatie tussen eb en vloed van circa 1 meter lijkt hem ideaal. Hieraan ligt ook ten grondslag dat bij een grote getijslag de verblijftijd in het Veerse Meer relatief kort zal zijn.

3.2.5 Invloed van het variabele winter- en zomerpeil

Bij haar modelberekeningen heeft WL | Delft Hydraulics voortdurend aangegeven dat de invloed van het verschillende waterpeil in winter en zomer op de waterkwaliteit en het ecosysteem onduidelijk is. Bekend is dat de delen die onderlopen na peilopzet minder leven bevatten dan de permanent natte delen (PK). Zoals eerder vermeld profiteert zeesla van deze leegte, doordat het door windtransport deze ondergelopen delen als eerste kan koloniseren.

Voor de geïnterviewden is eveneens niet duidelijk wat precies de invloed is van het variabele peil. Het creëert een instabiel systeem (PN), hetgeen niet bevorderlijk is voor veel organismen.

3.2.6 Nalevering van nutriënten uit het sediment

Een risico dat door alle geïnterviewden wordt onderkend is de nalevering van nutriënten uit het sediment. Door de hoge nutriëntenbelasting op het Veerse Meer van de afgelopen decennia is waarschijnlijk een grote voorraad vastgelegd in het sediment. Wanneer de belasting vanuit het polderwater verminderd zou worden, is een gerede kans aanwezig dat compensatie voor de vermindering zal optreden door een grotere nalevering van nutriënten uit het sediment. Een op zich effectieve maatregel kan op deze wijze in eerste instantie geen zichtbaar resultaat opleveren.

4 Discussie

Hoe moet de toekomst van het Veerse Meer eruit zien? Het doorlaatmiddel gaat aangelegd worden. Zonder aanvullende maatregelen zal het zeeslaprobleem zich blijven manifesteren, hierover zijn de experts het eens op basis van expert opinion en modelonderzoek. De logische vervolgvraag is dan: welke aanvullende maatregelen zijn doeltreffend en haalbaar? Het blijkt eenvoudig om een lijst van aanvullende maatregelen te genereren:

- het handhaven van een vast peil
- het creëren van een doorspoelvariant door middel van aanleg van een Zoute Kreek of het opnieuw in gebruik nemen van de Sloekreek
- het reduceren van de stikstofbelasting
- het oogsten van zeesla
- het verbeteren van de ecologische voorwaarden voor andere organismen (hard substraat)
- etcetera

Ieder van de genoemde aanvullende maatregelen zal theoretisch leiden tot een kwalitatieve verbetering van de waterkwaliteit en ecologie van het Veerse Meer. Het is echter veel moeilijker om het effect van een maatregel te kwantificeren. Met modelberekeningen kan hierover een uitspraak gedaan worden. De in dit rapport gepresenteerde quick-scan is zo'n modelberekening evenals de eerder uitgevoerde 3D modellering. Een vergelijking van beide modellen is mogelijk. Men moet er echter voor waken bij de interpretatie van de modelresultaten de aannames die ten grondslag liggen aan het model, in ogenschouw te blijven nemen. Uit Tabel 2.2 is af te lezen dat de 3D berekening van het uitwisselingsscenario te vergelijken is met een efficiëntie van het doorlaatmiddel in het quick-scan model van 5% ofwel een netto verversingsdebiet van 2 m³/s bij zomerpeil en 1,25 m³/s bij winterpeil. Het 3D doorspoelscenario is te vergelijken met een efficiëntie in het quick-scan model van 25 tot 50% ofwel een netto verversingsdebiet van 10-20 m³/s bij zomerpeil en 6,25-12,5 m³/s bij winterpeil.

De quick-scan geeft aan dat de hoeveelheid zeesla gunstig wordt beïnvloed (dus afneemt) door:

- de afvoer van nutriënten van het Veerse Meer naar de Oosterschelde. Naarmate de capaciteit van het doorlaatmiddel toeneemt om voor deze afvoer te zorgen (met andere woorden de efficiëntie neemt toe), neemt de hoeveelheid zeesla meer af.
- de reductie van de nutriëntenbelasting. Aangezien de groei van zeesla momenteel gelimiteerd wordt door de beschikbaarheid van stikstof, heeft reductie van de stikstofbelasting een groter effect dan een reductie van de fosfaatbelasting.

Daarentegen geeft de quick-scan aan dat het handhaven van een vast peil nauwelijks effect heeft op de hoeveelheid zeesla.

Kwantitatieve conclusies zijn dat de stikstofbelasting met minimaal 25% of de fosfaatbelasting met minimaal 50% gereduceerd moet worden. Met betrekking tot de efficiëntie van het doorlaatmiddel kan geconcludeerd worden dat een efficiëntie van

minimaal 10% ofwel een netto verversingsdebiet van 4 m³/s bij het zomerpeil en 2,5 m³/s bij het winterpeil leidt tot een aanzienlijke reductie van de hoeveelheid zeesla (Figuur 2.5). De modelberekeningen geven aan de efficiëntie van het geplande doorlaatmiddel neerkomt op ongeveer 5% (Tabel 2.2), zodat een verdubbeling van de efficiëntie gerealiseerd zou moeten worden. Overigens gaf het 3D model in het geval van doorspoelen een minder positief resultaat dan door het quick-scan model. Op basis van de verversing is het doorspoelen met 10 m³/s vergelijkbaar met een efficiëntie van minimaal 25% (Tabel 2.2), waarbij zeesla totaal verdwenen zou zijn (Figuur 2.5). In de 3D modellering is dit niet het geval en is de hoeveelheid zeesla vrijwel gelijk aan de huidige situatie. De complexe geografie en bathymetrie (langgerekt geul-plaatsysteem) en de gecompliceerde 3-dimensionale waterbeweging die niet in het quick-scan model zijn meegenomen, maken een precieze voorspelling van de noodzakelijke efficiëntie uiterst ingewikkeld.

Een belangrijk onderwerp van onderzoek zou daarom moeten zijn hoe de effectieve uitwisseling met de Oosterschelde moet worden verbeterd, aangezien keer op keer blijkt dat de huidige efficiëntie niet toereikend zal zijn om zeesla doeltreffende te verminderen. Gedetailleerd onderzoek naar de in- en uitgaande debieten van het doorlaatmiddel, waarbij tevens gekeken wordt wat de netto verversing is (hoeveel water dat bij vloed het Veerse Meer is ingestroomd, stroomt er bij eb gelijk weer uit), is noodzakelijk.

Er zijn verschillende opties voor het (beter) verversen van het Veerse Meer die samenhangen met mogelijke in- en uitlaten. Naast de Zandkreekdijk zijn dat een opening in of ter hoogte van de Veersedijk, het Kanaal door Walcheren en de Sloekreek. In een doorspoelscenario treedt een punt uitsluitend op als inlaat en een ander punt uitsluitend als uitlaat (eenrichtingsverkeer). In principe is elke combinatie van in- en uitlaatpunten mogelijk, uiteraard afhankelijk van de lokale capaciteit. Het is logisch het doorlaatmiddel in de Zandkreekdijk in ieder geval als in- of uitlaatpunt te benutten. Er is op dit moment onvoldoende duidelijkheid over de meest effectieve doorspoelvariant. Naast argumenten op basis van waterkwaliteit en ecologie spelen ook financiële, fysieke en planologische aspecten een cruciale rol.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Hoofdconclusies

1. Op basis van expert opinion en modelresultaten is de verwachting van (ecologische) experts dat de hoeveelheid zeesla niet significant zal verminderen na aanleg van het doorlaatmiddel. Het doorlaatmiddel wordt wel als een noodzakelijke en nuttige stap gezien ter verbetering van het ecologisch systeem van het Veerse Meer. Aanvullende maatregelen zullen echter nodig zijn.
2. Een zeer belangrijke factor blijkt de efficiëntie van het doorlaatmiddel en het vermogen van het doorlaatmiddel de verblijftijd van het water in het Veerse Meer te verkorten. Op basis van het quick-scan model kan voorzichtig geconcludeerd worden dat de efficiëntie van het doorlaatmiddel verdubbeld moet worden om een aanzienlijke reductie van de hoeveelheid zeesla te bewerkstelligen.
3. De gepresenteerde bevindingen moeten bijdragen aan het bewustzijn dat het doorlaatmiddel een onmisbare bijdrage levert aan de verbetering van de waterkwaliteit en het ecosysteem, maar dat aanvullende maatregelen nodig zullen zijn om te komen tot het streefbeeld van een gevarieerd ecologisch systeem in het Veerse Meer.

Nevenconclusies

4. Stikstof is momenteel de belangrijkste limiterende factor voor de groei van zeesla. Het verlagen van de stikstofbelasting is dan ook de aangewezen optie voor het verminderen van zeesla. Een reductie van 25% van de stikstofbelasting uit polderwater is een minimaal wenselijke reductie voor een substantiële afname van zeesla.
5. Door middel van fosfaatreductie is waarschijnlijk geen resultaat te behalen, tenzij de fosfaatbelasting uit polderwater met minimaal 50% wordt gereduceerd.
6. Een combinatie van aanvullende maatregelen is uiteraard mogelijk, maar is in dit kader niet onderzocht.
7. Naast het tegengaan van de groei van zeesla is het bevorderen van de groei van bijvoorbeeld diverse wieren of zeegras gewenst. Alleen al door hun concurrentiekans te vergroten, zou zeesla kunnen afnemen en zou een gevarieerder ecosysteem kunnen ontstaan.
8. Het handhaven van een vast peil bevordert het ontstaan van een stabiel ecosysteem en daarmee de kansen voor andere organismen dan zeesla. Het creëren van een groter oppervlak hard substraat bevordert eveneens deze kansen, aangezien dit een noodzakelijke ondergrond is voor de groei van veel wieren.

9. Onduidelijk is het absolute effect van het variabele winter- en zomerpeil op de waterkwaliteit en ecologie. Tevens moet rekening gehouden worden met nalevering van nutriënten uit het sediment als belangrijke nutriëntenbron, die (tijdelijk) het effect van een op zich effectieve maatregel teniet kan doen.

5.2 Aanbevelingen voor verdere studie

Deze studie had tot doel het effect van het doorlaatmiddel en enkel aanvullende maatregelen op de waterkwaliteit en de ecologie van het Veerse Meer te beschouwen met de nadruk op zeesla. Er wordt echter geen oordeel gegeven over (het uitvoeren van) eventuele aanvullende maatregelen, maar het inzicht in de effectiviteit van aanvullende maatregelen is vergroot. Dit rapport vormt wel een goede basis voor een discussie tussen verschillende belanghebbenden.

Van groot belang blijkt de efficiëntie van het doorlaatmiddel dat in dit rapport is uitgedrukt met de term netto verversingsdebiet. Een deel van het water dat tijdens vloed het Veerse Meer instroomt, zal tijdens eb direct weer uitstromen en draagt dus niet effectief bij aan de verversing van het meer. De modelberekeningen geven aan dat het netto verversingsdebiet van het geplande doorlaatmiddel circa $2 \text{ m}^3/\text{s}$ is bij een peil van 0 m NAP en $1,25 \text{ m}^3/\text{s}$ bij een peil van -0,70 m NAP hetgeen neerkomt op een efficiëntie van 5%. Dit houdt in dat bij het zomerpeil (0 m NAP) per seconde 2 m^3 water uit het Veerse Meer vervangen wordt door water uit de Oosterschelde. Mogelijk is een verdubbeling van de effectiviteit toereikend voor de reductie van de hoeveelheid zeesla, zonder aanvullende maatregelen. Nader onderzoek naar de werkelijke efficiëntie in termen van netto verversingsdebiet en naar mogelijkheden om dit te verhogen zoals diverse doorspoelvarianten, wordt sterk aanbevolen. Wellicht is het mogelijk met bestaande middelen (Kanaal door Walcheren?) een hogere efficiëntie te bereiken.

Het quick-scan model is zeer bruikbaar voor een eerste indruk van het effect van maatregelen op de waterkwaliteit en ecologie. Echter, enkele wezenlijke aspecten zijn niet meegenomen, te weten stratificatie en de ruimtelijke variabiliteit. Zoals gezegd kan het doorlaatmiddel ter hoogte van de Zandkreekdam uitermate efficiënt zijn, terwijl ter hoogte van de Veersedam de efficiëntie beperkt is. Het verdient aanbeveling om op basis van de resultaten van de quick-scan een aantal scenario's te definiëren die vervolgens met het 3-dimensionale model worden doorgerekend. Daarbij moet tegelijkertijd gestreefd worden naar het operationaliseren van het modelinstrumentarium, zodat het permanent voor beleids- en beheersdoeleinden kan worden ingezet. De link met de impact op de ecologie dient hierbij een belangrijke rol te spelen. Immers het verwezenlijken van een gevarieerd en evenwichtig ecosysteem ligt ten grondslag aan deze ontwikkelingen.

A Referenties

- Kamermans, P., J.M. Verschuure en J.W. Rijstenbil, 1996: De kwaliteit van het Veerse Meer en de Zeesla-bloei, rapporten en verslagen 1996-02, NIOO-CEMO, Yerseke, 1999.
- Kamermans, P., J.M. Verschuure en H. Hummel, 1999: Verspreiding en biomassa van de macro-algen in het Veerse Meer in 1999, rapporten en verslagen 1999-03, NIOO-CEMO, Yerseke, 1999.
- Malta, E-j, 2000: Macroalgal mats in a eutrophic lagoon: dynamics and control mechanisms (proefschrift), NIOO-CEMO, Yerseke, 2000.
- WL | Delft Hydraulics, 2000: Modelonderzoek naar de effectiviteit van een doorlaatmiddel voor de waterkwaliteit van het Veerse Meer, rapportnummer Z2921, A.J. Nolte en M.D.J.P. Bijvelds, september 2000.