

Winning suppletiezand Noordzee 2008-2012

Slibtransport, nutriëntentransport en primaire productie

Eindrapport



WL | delft hydraulics



Schiehaven 13G
3024 EC Rotterdam
Postbus 91
3000 AB Rotterdam
Nederland
T +31 - 10 - 467 13 61
F +31 - 10 - 467 45 59
E info@svasek.com
I www.svasek.com

Document titel	Winning suppletiezand Noordzee 2008-2012 Slibtransport, nutriëntentransport en primaire productie
Verkorte Titel	MER suppletiezand
Status	Eindrapport
Datum	23 oktober 2007
Project naam	MER zandwinning
Project nummer	1414
Opdrachtgever	RWS-DNH
Referentie	BvP/1414/07376C

Auteur	Bram van Prooijen en Bram Blik (Svašek Hydraulics) Hans Los en Xavier Desmit (WL delft hydraulics)
Gecontroleerd door	Bram Blik

**INHOUDSOPGAVE**

	Pag.
LIST OF FIGURES	3
LIST OF TABLES	5
1 ALGEMEEN	7
1.1 Achtergrond	7
2 CALIBRATIE HYDRODYNAMICA	9
2.1 Inleiding	9
2.2 Modelbeschrijving en -schematisatie	10
2.3 Calibratie waterstanden	13
2.4 Stroomsnelheden en debieten	18
2.5 Samenvatting en conclusies	25
3 CALIBRATIE SLIBTRANSPORT	26
3.1 Inleiding	26
3.2 Beschikbare metingen	26
3.3 Modelbeschrijving	27
3.4 Calibratiemethode	29
3.5 Resultaten calibratie	35
3.6 Conclusies	42
4 CALIBRATIE NUTRIËNTEN EN PRIMAIRE PRODUCTIE	43
4.1 Inleiding	43
4.2 Model opzet	43
4.3 Resultaten	45
4.4 Discussie	46
4.5 Conclusie	48
5 SCENARIOSTUDIES SLIB	49
5.1 Inleiding	49
5.2 Aannames	49
5.3 Bandbreedtebepaling	52
5.4 Scenariodefinities	55
5.5 Resultaten en interpretatie	58
5.6 Samenvatting en conclusies	64
6 SCENARIOSTUDIES NUTRIËNTEN EN PRIMAIRE PRODUCTIE	66
6.1 Inleiding	66
6.2 Concept van limiterende factoren	66
6.3 Modelopzet	69
6.4 Resultaten	69
6.5 Conclusies	74
7 CONCLUSIES	76
7.1 Algemeen	76



7.2	Hydrodynamica	76
7.3	Slib	76
7.4	Doorzicht, Nutriënten en primaire productie	77
8	LITERATUUR	79
	BIJLAGEN	80
A.	CALIBRATIE SLIBTRANSPORT	81
B.	SHORT DESCRIPTION OF GEM MODEL	90
B.1	Modelling instrument BLOOM/GEM	90
B.2	Transport of substances	90
B.3	Water quality and ecological processes	91
B.4	History of GEM/BLOOM applications for the North Sea - repeated validations	95
C.	VALIDATIE NUTRIENTEN EN PRIMAIRE PRODUCTIE (MWTL)	98
D.	LIGGING VAN DE WINGEBIEDEN	119
E.	BIJLAGE WINTABELLEN	127
F.	VERGELIJKING MET MAASVLAKTE 2	129
F.1	Inleiding	129
F.2	Vergelijking maximum effect	129
F.3	Vergelijking tijdsverloop	130
F.4	Conclusies	131
G.	RESULTATEN SCENARIO'S: SLIB	132
H.	RESULTATEN SCENARIO'S: PRIMAIRE PRODUCTIE	139

LIST OF FIGURES

Figuur 2.1: a) totaal rekenrooster; b) detail Waddenzee; c) detail Rotterdam.....	11
Figuur 2.2: Bodemligging a) totaal rekenrooster; b) detail Waddenzee; c) detail Rotterdam.12	
Figuur 2.3: Meetstations langs de Nederlandse kust. 1 Aukfieldplatform, 2 Dover, 3 Den Helder, 4 Europlatform, 5 Hoek van Holland, 6 IJmuiden, 7 K13Aplatform, 8 LichteilandGoeree, 9 MeetpostNoordwijk, 10 Portsmouth, 11 Pettenzuid, 12 Scheveningen, 13 TerschellingNoordzee, 14 TexelNoordzee, 15 Den Helder, 16 Den Oever, 17 Kornwerderzand, 18 Harlingen, 19 Holwerd, 20 Lauwersoog, 21 Eemshaven, 22 Delfzijl, 23 Nieuwe Statenzijl, 24 Terschelling West, 25 Nes Ameland, 26 Texel Oudeschild, 27 Wierumergronden, 28 Huibertgat, 29 Brouwershavensegat, 30 RoompotBuiten, 31 WestKapelle, 32 Vlissingen, 33 Cadzand, 34 Stellendam.....	14
Figuur 2.4: Bodemwrijvingscoëfficiënten (Manning-waarden) voor de Nederlandse kust.....	15
Figuur 2.5: Verschillen tussen de gemeten en berekende waarden voor de M2 amplitudes en fases van de waterstanden voor de meetstations in de Noordzee en Waddenzee. De zwarte lijnen zijn calibratieruns; de blauwe lijn geeft de eindcalibratie.....	16
Figuur 2.6: Verschillen tussen de gemeten en berekende waarden voor de M4 amplitudes en fases van de waterstanden voor de meetstations in de Noordzee en Waddenzee. De zwarte lijnen zijn calibratieruns; de blauwe lijn geeft de eindcalibratie.....	17
Figuur 2.7: Gemeten en berekende amplitude en fase van de M2 noord-zuid snelheidscomponent.	20
Figuur 2.8: Gemeten en berekende amplitude en fase van de M2 oost-west snelheidscomponent.	20
Figuur 2.9: Gemeten (op 8 m boven de zeebodem) en berekende noord-zuid (boven) en oost-west (onder) restsnelheden bij Noordwijk12. De noord-zuid en oost-west windcomponenten worden weergegeven door de zwarte blokken (niet op schaal). De tijd $t = 0$ komt overeen met 22 juni, 1992.	21
Figuur 2.10: Windrozen voor de jaren 2000, 2001 en 2002 voor meetstation K13.	23
Figuur 2.11: Gemeten en Berekende debieten door het Vlie op 27 augustus 2002. De doorsnede van het Vlie is opgedeeld in 3 raaien (tussen Vlieland en Terschelling).	24
Figuur 3.1: Schematische weergave van de fysische processen die zorgen voor het slibtransport.	27
Figuur 3.2: Schematisatie van de slibfluxen	28
Figuur 3.3: Scatterdiagram van de berekende golfhoogte tegen de gemeten golfhoogte voor meetlocatie IJmuiden.	30
Figuur 3.4: Instantane significante golfhoogte op basis van jaargemiddeld golfveld en instantane metingen in de zeven golfmeetstations (*).	31
Figuur 3.5: Slibpercentage voor de Nederlandse kust (uit Van Heteren et al., 2006).	32
Figuur 3.6: Concentraties bij Noordwijk 10 voor jaar 2000. a) instellingen MV2, bodemslibpercentage 0.5%; b) instellingen MV2, bodemslibpercentage 2% en c) vernieuwde instellingen, bodemslibpercentage 2%. Rode lijn: simulatie; zwarte lijn: CEFAS; blauwe ster: MWTL.	34
Figuur 3.7: Tijdserie van de gemeten (smartbuoy: zwart; MWTL:*) en berekende (rood) concentratie bij Noordwijk 2 voor 2000 en 2001.	35
Figuur 3.8: a) Tijdserie (2000-2001) van de gemeten (smartbuoy: zwart; MWTL:*) en berekende (rood) concentratie bij Noordwijk 10; b) daggemiddelde concentraties zie verder a); c) 14-daags gemiddelde concentraties zie verder a).	36
Figuur 3.9: Slibfractie in laag 2 na 1 jaar simuleren (op 01/01/2001), halverwege de calibratieperiode.	39

Figuur 3.10: a) gemeten bodemslibpercentage (Van Heteren et al. 2006); b) berekende bodemslibpercentage op 01/01/2001; c) berekende bodemslibpercentage op 01/01/2002.	40
Figuur 3.11: a) gemeten slibfractie in de bodem (RIKZ 1998); b) berekende slibfractie in de Waddenzee.	41
Figuur 4.1: Tijdsree van de saliniteit bij Noordwijk 70 km. Blauw : model resultaat op basis van Finel hydrodynamica in 2000 ; Rood : model resultaat in het Maasvlakte project in 2000 op basis van Delft3D-Flow hydrodynamica ; Groen : observaties in 1998-1999-2000.	46
Figuur 4.2: Concentratie initieel water op vier verschillende momenten van het jaar zoals berekend voor de Finel hydrodynamica in het jaar 2000. Voor meer details, zie de tekst.	47
Figuur 5.1: Suppletiehoeveelheden in vanaf 1991 (uit www.rijksbegroting.minfin.nl).	50
Figuur 5.2: Toelichting effect van de zandwinning uit 2000 op de bepaling van de absolute en relatieve concentraties.	51
Figuur 5.3: Definitie van de clusters voor de winning tot 2m diep.	57
Figuur 5.4: Jaargemiddelde berekende concentraties voor de natuurlijke situatie, de autonome winning en het zandwinscenario gemiddeld over de gebieden a) Voordelta; b) Kustzone; c) Noordzeekustzone; d) Waddenzee.	60
Figuur 5.5: Jaargemiddelde berekende concentratieverhogingen voor vier verschillende zandwinscenario's gemiddeld over de gebieden a) Voordelta; b) Kustzone. Links: alleen de suppletiezandwinning. Rechts: suppletiezandwinning + autonome winning.	62
Figuur 6.1: Chlorofyl concentratie (in $\mu\text{g/l}$) en limiterende factoren op station Noordwijk 2 km in 1998 Limiterende factoren:: licht (bruin), stikstof (rood); fosfor (geel); silicium (licht blauw); groei (blauw); sterfte (donker blauw).	67
Figuur 6.2: Chlorofyl concentratie (in $\mu\text{g/l}$) en limiterende factoren op station Noordwijk 2 km in 1998 Limiterende factoren:: licht (bruin), stikstof (rood); fosfor (geel); silicium (licht blauw); groei (blauw); sterfte (donker blauw).	67
Figuur 6.3: In licht gelimiteerde gebieden wordt al het beschikbare licht gebruikt voor primaire productie. Meer SPM ten gevolge van zandwinning leidt tot verlaging van de primaire productie.	68
Figuur 6.4: In nutriënt gelimiteerde gebieden wordt niet al het beschikbare licht gebruikt voor primaire productie. Meer SPM ten gevolge van zandwinning leidt niet tot verlaging van de primaire productie.	69
Figuur 6.5: Relatieve cumulatieve (suppletiezandwinning+autonome ontwikkeling) verandering in chlorofylgehalte voor de simulaties met een onzekerheidsfactor 2.2 en zonder onzekerheidsfactor.	71
Figuur 6.6: jaargemiddelde chlorofyl concentraties voor de verschillende zandwinscenario's voor de gebieden a) Voordelta; b) Kustzone. Links: alleen de suppletiezandwinning. Rechts: suppletiezandwinning + autonome winning.	72
Figuur A.1: Berekende tijdsree (-) en MWTL-data (*) voor locaties in de Voordelta voor het jaar 2000.	82
Figuur A.2: Berekende tijdsree (-) en MWTL-data (*) voor locaties in de Voordelta voor het jaar 2001.	83
Figuur A.3: Berekende tijdsree (-) en MWTL-data (*) voor locaties in de Waddenzee voor het jaar 2000.	84
Figuur A.4: Berekende tijdsree (-) en MWTL-data (*) voor locaties in de Waddenzee voor het jaar 2001.	85
Figuur C.1: Berekende (getrokken blauwe lijn) en gemeten (rode driehoeken) saliniteit in de Nederlandse kustzone en langs de Noordwijk raai voor het jaar 2000.	99

Figuur C.2: Berekende (getrokken blauwe lijn) en gemeten (rode driehoeken) zwevend stof concentraties in de Nederlandse kustzone en langs de Noordwijk raai voor het jaar 2000.	102
Figuur C.3: Berekende (getrokken blauwe lijn) en gemeten (rode driehoeken) nitraat concentraties in de Nederlandse kustzone en langs de Noordwijk raai voor het jaar 2000.	105
Figuur C.4: Berekende (getrokken blauwe lijn) en gemeten (rode driehoeken) fosfaat concentraties in de Nederlandse kustzone en langs de Noordwijk raai voor het jaar 2000.	108
Figuur C.5: Berekende (getrokken blauwe lijn) en gemeten (rode driehoeken) silicaat concentraties in de Nederlandse kustzone en langs de Noordwijk raai voor het jaar 2000.	111
Figuur C.6: Berekende (getrokken blauwe lijn) en gemeten (rode driehoeken) chlorofyl concentraties in de Nederlandse kustzone en langs de Noordwijk raai voor het jaar 2000.	114
Figuur C.7: Jaargemiddelde waarden voor Chlorofyll a en voor de primaire productie.	117
Figuur G.1: slibconcentratie (c [mg/l]) als gevolg van de winning suppletiezand (Scenario kustwaarts) en als gevolg van de autonome winning voor jaar 2008-2012.	133
Figuur G.2: slibconcentratie (c [mg/l]) als gevolg van de winning suppletiezand (Scenario kustwaarts) voor jaar 2008-2012. Let op de schaal is een factor 5 verkleind tov Figuur G.1.	134
Figuur G.3: slibpercentage in de bodem (p [massa %]) als gevolg van de winning suppletiezand (Scenario kustwaarts) en als gevolg van de autonome winning voor jaar 2008-2012.	135
Figuur G.4: slibpercentage in de bodem (p [massa %]) als gevolg van de winning suppletiezand (Scenario kustwaarts) voor jaar 2008-2012. Let op de schaal is een factor 5 verkleind tov Figuur G.3.	136
Figuur G.5: slibconcentratie (c [mg/l]) als gevolg van de winning suppletiezand (Scenario zeewaarts) voor jaar 2008-2012.	137
Figuur G.6: slibconcentratie (c [mg/l]) als gevolg van de winning suppletiezand (Scenario fasering zs) voor jaar 2008-2012.	138
Figuur H.1: definitie van de vakken waarover gemiddeld wordt in Figuur H.5	140
Figuur H.2: Ligging van de MWTL-locaties, waarvoor de tijdseries in Figuur H.6 zijn gegeven.	140
Figuur H.3a: Contourplots van het jaargemiddelde Chlorofyl a gehalte en primaire productie voor de autonome situatie.	141
Figuur H.4a: Contourplots van het absolute verschil in jaargemiddelde Chlorofyl a gehalte (primaire productie) tussen Scenario Kustwaarts en de autonome situatie.	146
Figuur H.5a: Jaargemiddelde relatieve (tov achtergrond) waarden voor verschillende variabelen gemiddeld over deelgebied Kustzone.	150
Figuur H.6a: Tijdseries voor verschillende variabelen op verschillende MWTL-locaties.	160

LIST OF TABLES

Tabel 2.1: Criteria voor de calibratie van de hydrodynamica uit De Goede en Van Maren (2005).	9
Tabel 2.2: Criteria voor de waterstandscalibratie van de hydrodynamica	13
Tabel 2.3: Criteria voor de snelheids- en debietscalibratie van de hydrodynamica	18
Tabel 2.4: Gemeten (Q_m) en berekende (Q_c) restdebeten door de Straat van Dover	22



Tabel 2.5: Restdebieten en amplitudes door het Marsdiep, subscript 'm' staat voor gemeten en 'c' staat voor berekend.....	22
Tabel 2.6: Criteria voor en resultaten van de calibratie van de hydrodynamica van het FINEL2D model.	25
Tabel 5.1: Overzicht van de definities van de verschillende winscenario's	57
Tabel 5.2: maximale relatieve concentratieverhogingen als gevolg van de suppletiezandwinning voor de verschillende scenario's (gebaseerd op Figuur 5.5).	61



1 ALGEMEEN

1.1 Achtergrond

In de Noordzee wordt jaarlijks een grote hoeveelheid zand gewonnen om de Nederlandse kust te beschermen tegen overstroming. Daarmee wordt de bestaande kustlijn gehandhaafd en wordt het bestaande kustfundament (het zandige gebied tussen de NAP -20 m dieptelijn en de landwaartse grens van de duinen) in stand gehouden. In het Tweede Regionaal Ontgrondingenplan Noordzee (RON2) wordt het beleid beschreven rond het winnen van oppervlaktedelfstoffen op het Nederlandse deel van de Noordzee. Voor het winnen van zand in de Noordzee is een vergunning nodig in het kader van de Ontgrondingenwet. Deze rapportage is een onderdeel van de MER Winning Suppletiezand 2008-2012.

Het voornemen betreft de winning van zand voor de jaarlijks vast te stellen suppletieprogramma's in de periode 2008 t/m 2012, inclusief de zandwinning voor in die periode uit te voeren zwakke schakel projecten. Het doel van de suppleties is om het kustfundament in stand te houden c.q. te versterken. In totaal zal in deze periode ongeveer 130 miljoen m³ zand worden gewonnen. De zandwinning zal plaatsvinden in 17 wingebieden langs de Nederlandse kust, tussen de doorgaande NAP -20 meter dieptelijn en de 12-mijlszone.

Het sediment in de Noordzeebodem bestaat uit verschillende fracties. De grove fractie zal in het beun bezinken. Een deel zal via de overvloed weer buiten het schip komen. De relatief hoge valsnelheid van de grove fractie leidt ertoe dat het in de directe omgeving van het baggerschip terecht zal komen. De fijne fractie (<63µm) heeft een veel lagere valsnelheid (ca 0.25-0.5mm/s) en wordt daarmee door de getijstrooming over een veel grotere afstand verspreid. Bovendien zal tijdens stormen het gesedimenteerde slib weer opgewoeld worden en verder getransporteerd worden. Het invloedsgebied beslaat op de lange duur daarmee vele tientallen/honderden kilometers.

De extra hoeveelheid slib zorgt voor een verminderd doorzicht. Dit geeft in gebieden, waar doorzicht de beperkende factor is, een lagere primaire productie. Een groot deel van het Nederlands kustgebied is doorzicht beperkend, onder andere in ecologisch belangrijke gebieden Voordelta, Noordzeekustzone en de Waddenzee. Een vermindering van het doorzicht heeft daarmee invloed op de primaire productie en zal mogelijk gevolgen hebben op het voedselaanbod voor de hogere organismen. Een verminderd doorzicht kan ook effect hebben op de op zicht jagende vissen/vogels. Een vermindering van het doorzicht zou tot een lagere effectiviteit van het voedsel zoeken voor deze soorten leiden. Het is daarmee essentieel te bepalen wat het effect van de zandwinning is op het doorzicht en de primaire productie.

Het doel van deze studie is daarmee:
De bepaling van het effect van de zandwinning op het doorzicht en de primaire productie in de gehele Nederlandse kustzone.

Deze rapportage is opgebouwd uit verschillende onderdelen. Voor het bepalen van het doorzicht en de primaire productie is allereerst een goed gecalibreerd stromingsmodel van essentieel belang. In Hoofdstuk 2 wordt de opzet en de calibratie van het



hydrodynamica model beschreven. Ten tweede is een gecalibreerd slibtransportmodel benodigd. Hierin dient zowel het transport van het slib in het water als gevolg van getijstrooming meegenomen te worden, als de uitwisseling van slib tussen de bodem en het water. Een uitgebreide beschrijving van de opzet en calibratie is gegeven in Hoofdstuk 3. Tenslotte is een calibratie van het model ter simulatie van het nutriëntentransport en de primaire productie van belang. Een beschrijving is gegeven in Hoofdstuk 4.

Na de beschrijving van de opzet en calibratie van de modellentrein wordt deze toegepast voor de scenariostudies. De resultaten van de scenariostudies zijn gegeven in Hoofdstuk 5 voor het slib en in Hoofdstuk 6 voor het nutriëntentransport en primaire productie.

Uiteindelijk wordt de rapportage afgesloten met Hoofdstuk 7: samenvatting en conclusies.

2 CALIBRATIE HYDRODYNAMICA

2.1 Inleiding

Zoals aangegeven in het inleidende hoofdstuk worden drie modelleerstappen uitgevoerd: hydrodynamica, slibtransport en transport van nutriënten en primaire productie. Alvorens het modelinstrumentarium per stap toe te passen wordt het gecalibreerd en getoetst aan de hand van metingen. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de calibratie van het hydrodynamicamodel. De hydrodynamicamodellering wordt uitgevoerd met FINEL2D¹. Als toetsing worden de criteria uit De Goede en Van Maren (2005) gebruikt, zie Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Criteria voor de calibratie van de hydrodynamica uit De Goede en Van Maren (2005).

Parameter		Criteria
Waterstanden langs de Nederlandse kust	Amplitude M2	<6%
	Fase M2	<10°
	Amplitude M4	<25%
	Fase M4	<25°
Waterstanden in de Waddenzee	Amplitude M2	<6%
	Fase M2	<10°
	Amplitude M4	<25%
	Fase M4	<25°
Stroom snelheden bij Noordwijk	Amplitude M2 (N-Z)	<10%
	Fase M2 (N-Z)	<10°
	Amplitude M2 (O-W)	<10%
	Fase M2 (O-W)	<10°
Debieten door het Marsdiep	Amplitude M2	<10%
	Amplitude M4	<25%
Rest debiet door het Marsdiep (Buijsman, 2006)		O (-1.900) m ³ /s
Rest debiet door de Straat van Dover (Prandle, 1996)		O (94.000) m ³ /s

Allereerst wordt in Paragraaf 2.2 de opzet van het model en de schematisatie gegeven. Vervolgens wordt in Paragraaf 2.3 de calibratie op basis van de waterstanden beschreven. Een vergelijking met (rest)stroomsnelheden en (rest)debieten wordt gemaakt in Paragraaf 2.4. Een samenvatting en conclusies worden gegeven in Paragraaf 2.5.

¹ FINEL2D is een numeriek stromingsmodel dat in de afgelopen 25 jaar is ontwikkeld bij Svasek. Het model is binnen vele projecten toegepast in binnen- en buitenland. Recentelijk wordt het model eveneens aan de TU Delft doorontwikkeld en gebruikt.

2.2 Modelbeschrijving en -schematisatie

2.2.1 FINEL2D

Het hydrodynamische deel van het FINEL2D model is gebaseerd op de dieptegemiddelde ondiepwatervergelijkingen, bestaande uit een massabehoud vergelijking en twee impulsbehoud vergelijkingen. Dit model is geschikt om de stroming in rivieren, estuaria en ondiepe zeeën te simuleren. Externe invloeden zoals wind en luchtdruk kunnen worden opgelegd. Waterstanden, stroomsnelheden en debieten kunnen worden opgelegd als randvoorwaarden. In de huidige gebruikte versie wordt horizontale menging niet meegenomen. De advectie is dominant.

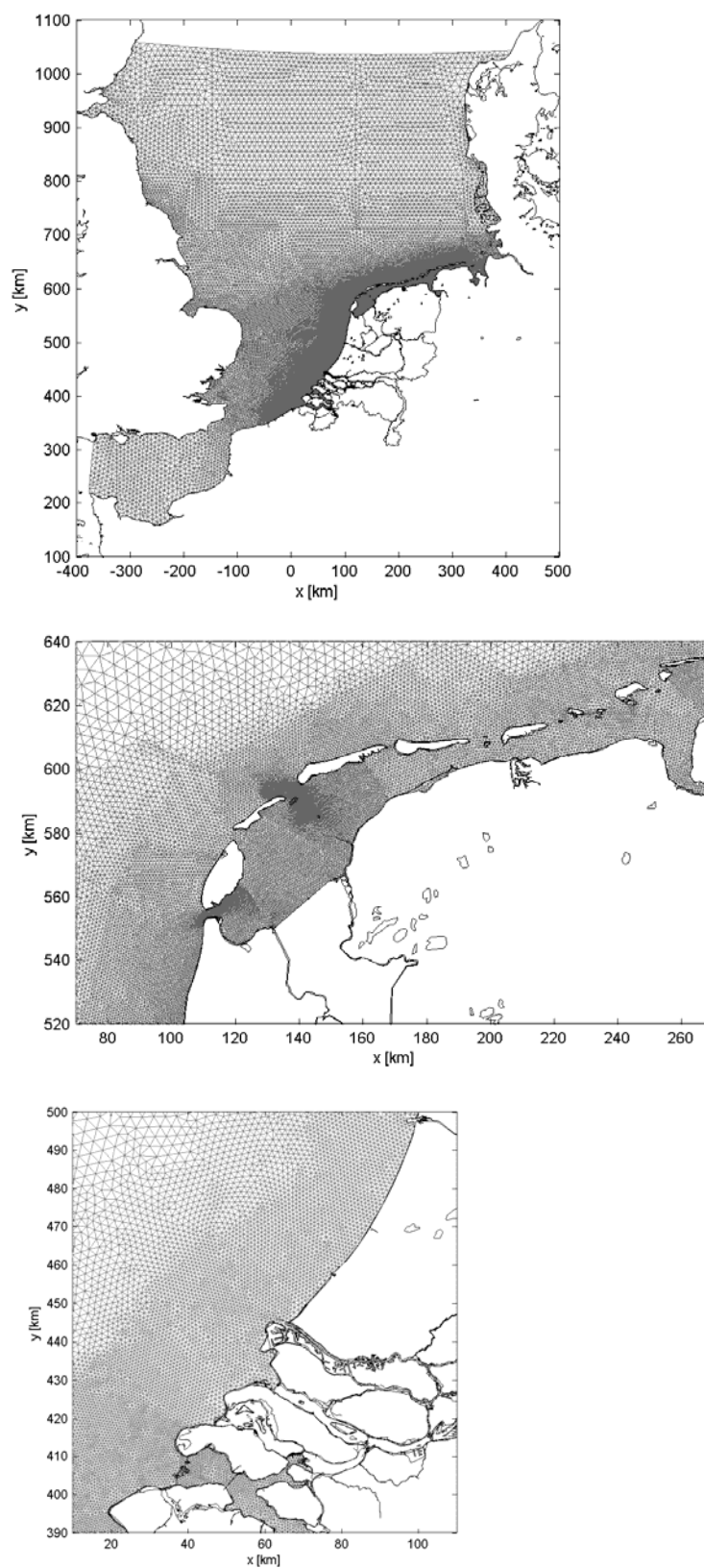
De hoofdvergelijkingen worden numeriek opgelost met een flux-splitting methode. Voor elk volume (element) wordt op de randen de inkomende en uitgaande karakteristiek bepaald. Een belangrijk verschil voordeel van deze methode is dat gebruik gemaakt kan worden van een triangulair rooster. Een dergelijk rooster biedt veel vrijheden voor het volgen van een complexe geometrie en kan eenvoudig lokaal verdicht worden.

2.2.2 Opzet model

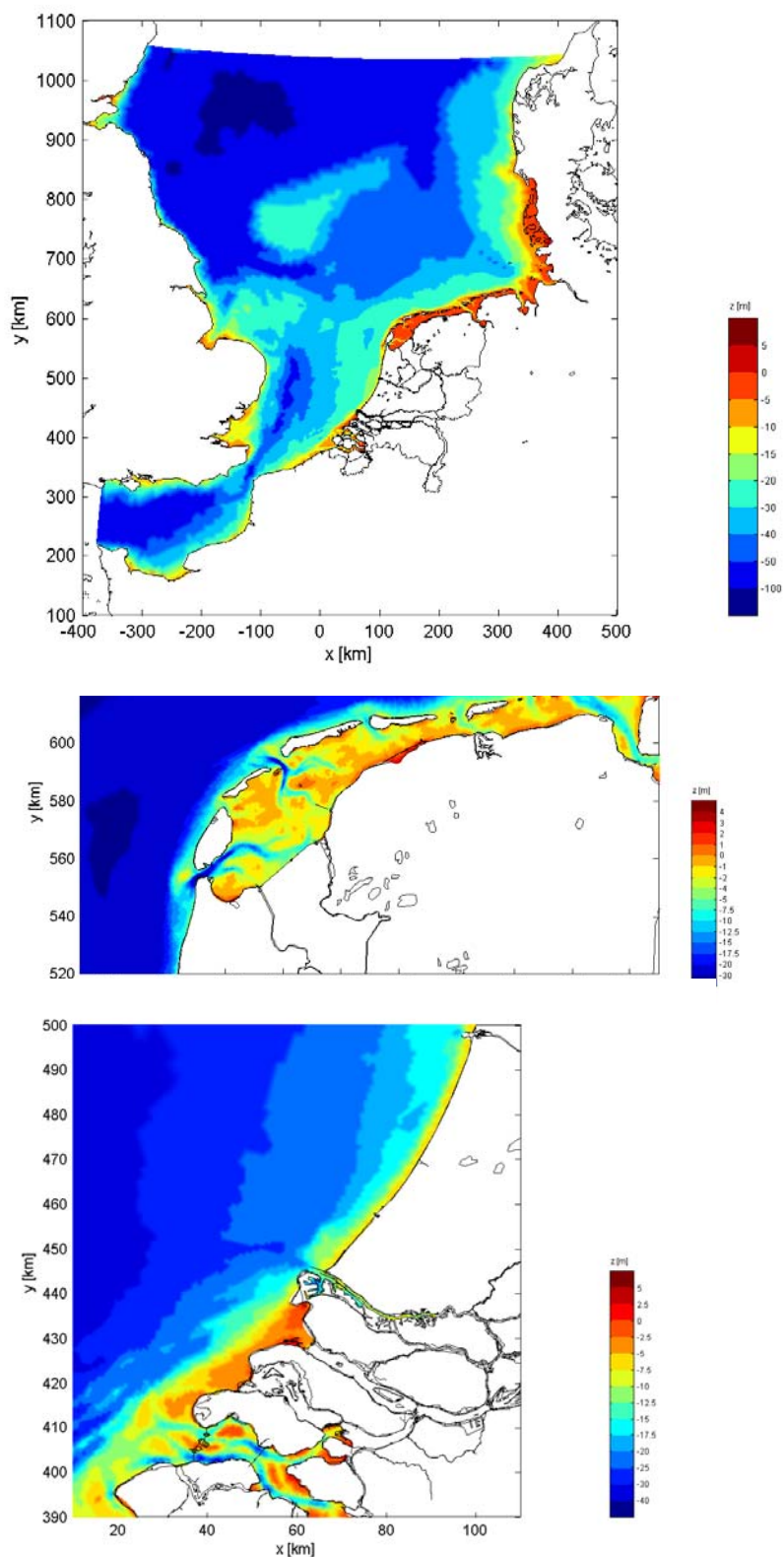
De schematisatie van de Zuidelijke Noordzee is gebaseerd op de schematisatie ZNZ_MV2 zoals gebruikt in de MER Maasvlakte 2. Het rekenrooster is bepaald, voortkomend uit tegenstrijdige belangen zoals rekentijd, beschikbaarheid van randvoorwaarden, gewenste resolutie en de grootte van het rekendomein. De resolutie is van cruciaal belang voor de rekentijd en de nauwkeurigheid. Enerzijds moet de resolutie voldoende groot zijn om de hydrodynamica en het slibtransport nauwkeurig te bepalen, anderzijds moet de resolutie zo klein mogelijk zijn om de rekentijd te minimaliseren. Daarom is een in de ruimte variërende resolutie gebruikt met langs de Nederlandse kust een relatief hoge resolutie en in de rest van de Zuidelijke Noordzee en het Kanaal een relatief lage resolutie. Langs the Nederlandse kust en in de Waddenzee zijn de driehoeken relatief klein ongeveer 0.6 tot 0.7 km², overeenkomend met een karakteristieke lengte van 1.1 km (Figuur 2.1). In het noordelijk deel van de Noordzee en in het westelijke deel van het Kanaal zijn de driehoeken relatief groot ongeveer 50 km², overeenkomend met een karakteristieke lengte van 10 km. Het complete rekenrooster bestaat uit ongeveer 72000 driehoeken. Ten opzichte van de ZNZ_MV2 is het aantal driehoeken uitgebreid met 21000 driehoeken. Voornamelijk in de Voordelta en de Waddenzee met bijbehorende zeegaten is de resolutie vergroot.

De onderliggende bodem is geconstrueerd uit een aantal bodems van de WAQUA modellen van Rijkswaterstaat (Zeedelta, Kustzuid, Kuststrook en ZUNO). De FINEL2D bodem is opgebouwd uit deze bodems in volgorde van een kleiner wordende resolutie. De resulterende bodem, die gebruikt is voor de calibratie, is weergegeven in Figuur 2.2.

Op de noordelijke en zuidelijke rand van het model worden de amplitudes en fases van 100 getij componenten opgelegd. Deze volgen uit het Coastal Shelf Model (CSM) van Rijkswaterstaat. Langs de Noordzeekusten en de kanaalkusten liggen een aantal rivieren die opgenomen moeten worden in het model. De debieten langs de Nederlandse kust zijn opgelegd als tijdseries en de 'buitenlandse' rivieren als constanten. De randvoorwaarden zijn niet aangepast ten opzichte van de schematisatie ZNZ_MV2.



Figuur 2.1: a) totaal rekenrooster; b) detail Waddenzee; c) detail Rotterdam.



Figuur 2.2: Bodemligging a) totaal rekenrooster; b) detail Waddenzee; c) detail Rotterdam.

2.3 Calibratie waterstanden

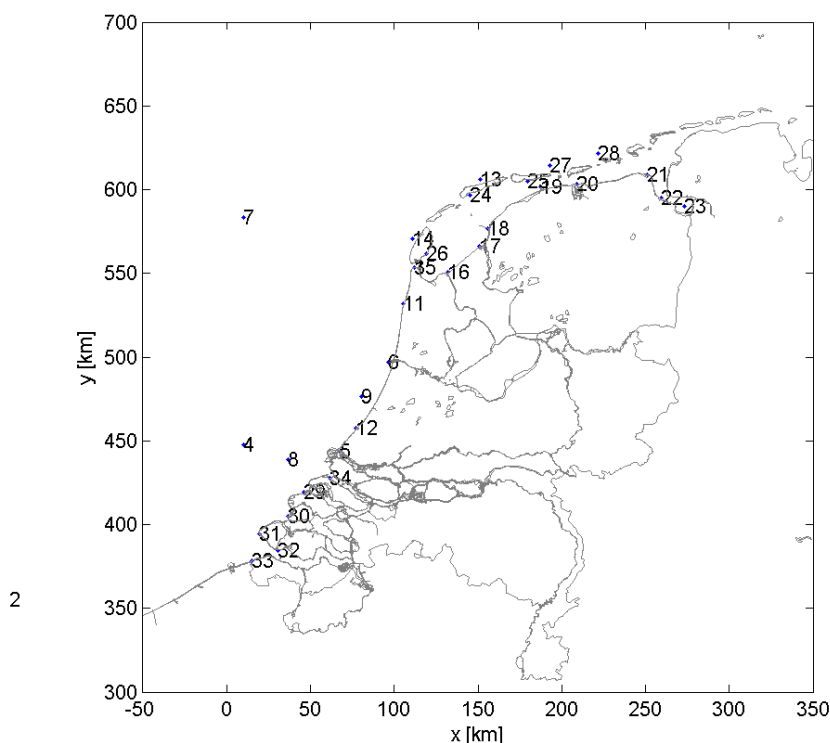
Voor de calibratie van de waterstanden worden de invoerparameters gevarieerd. Om effecten als gevolg van wind te elimineren wordt een windstille periode als calibratieperiode gebruikt: 22 juni tot 22 augustus 1992. De eisen waaraan de waterstandscalibratie dient te voldoen zijn gegeven in Tabel 2.2.

Tabel 2.2: Criteria voor de waterstandscalibratie van de hydrodynamica

Parameter		Criteria
Waterstanden langs de Nederlandse kust	Amplitude M2	<6%
	Fase M2	<10°
	Amplitude M4	<25%
	Fase M4	<25°
Waterstanden in de Waddenzee	Amplitude M2	<6%
	Fase M2	<10°
	Amplitude M4	<25%
	Fase M4	<25°
Stroom snelheden bij Noordwijk	Amplitude M2 (N-Z)	<10%
	Fase M2 (N-Z)	<10°
	Amplitude M2 (O-W)	<10%
	Fase M2 (O-W)	<10°

Het calibratie proces resulteert in een aantal keuzes en aanpassingen, zodanig dat de verschillen tussen gemeten waterstanden, stroomsnelheden en debieten en berekende waarden geminimaliseerd worden. Deze verschillen worden onder andere veroorzaakt door fouten in de randvoorwaarden, de bodem en empirische waarden voor fysieke parameters zoals de bodemwrijvingscoëfficiënt.

Voor de calibratie van de waterstanden zijn de meetgegevens van verschillende meetstations gebruikt. De meetstations die gebruikt zijn om de waterbeweging in de Noordzee en Waddenzee te calibreren zijn weergegeven in Figuur 2.3: Meetstations langs de Nederlandse kust.

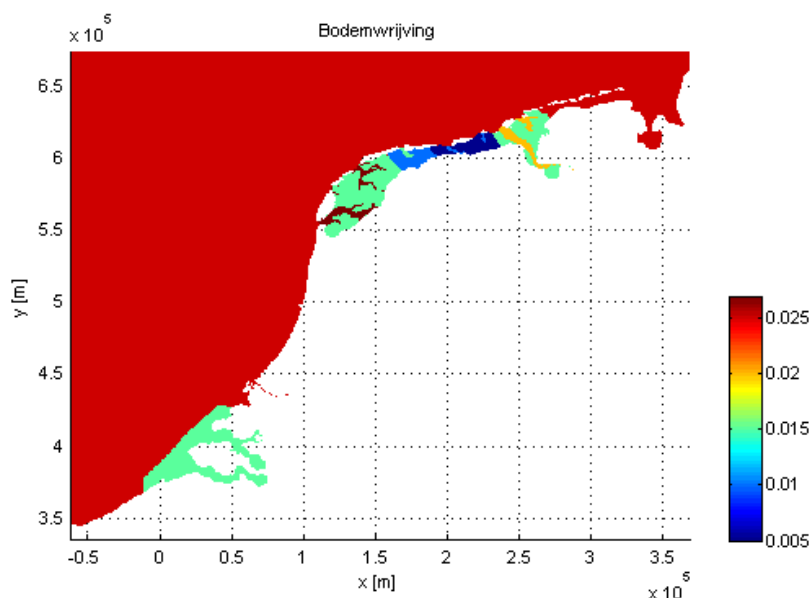


Figuur 2.3: Meetstations langs de Nederlandse kust. 1 Aukfieldplatform, 2 Dover, 3 Den Helder, 4 Europlatform, 5 Hoek van Holland, 6 IJmuiden, 7 K13Aplatform, 8 LichteilandGoeree, 9 MeetpostNoordwijk, 10 Portsmouth, 11 Pettenzuid, 12 Scheveningen, 13 TerschellingNoordzee, 14 TexelNoordzee, 15 Den Helder, 16 Den Oever, 17 Kornwerderzand, 18 Harlingen, 19 Holwerd, 20 Lauwersoog, 21 Eemshaven, 22 Delfzijl, 23 Nieuwe Statenzijl, 24 Terschelling West, 25 Nes Ameland, 26 Texel Oudeschild, 27 Wierumergronden, 28 Huibertgat, 29 Brouwershavensegat, 30 RoompotBuiten, 31 WestKapelle, 32 Vlissingen, 33 Cadzand, 34 Stellendam.

De calibratie is uitgevoerd door de bodemwrijvingscoëfficiënt te variëren. Allereerst is een berekening gedaan met een constante bodemwrijving (dezelfde waarde als in ZNZ_MV2). Uit deze berekening volgt dat de waterstanden in de Noordzee voldoen aan de gewenste nauwkeurigheid met uitzondering van de stations in de Voordelta. De waterstanden in de Waddenzee voldoen niet overal aan de gewenste nauwkeurigheid.

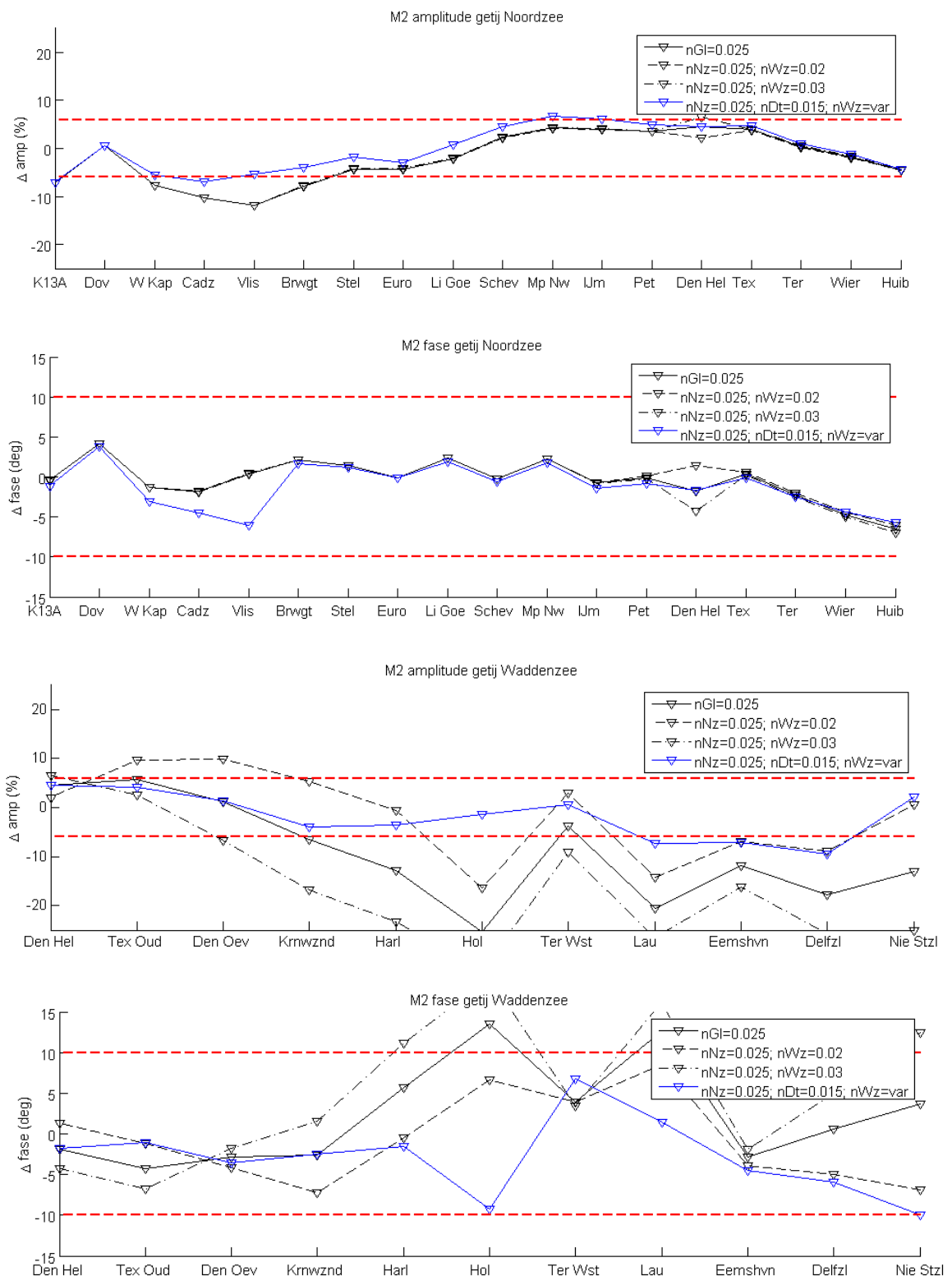
Uit deze eerste berekening volgt dat de Waddenzee en de Voordelta nog gedetailleerder gec calibreerd moeten worden. Eerst is de ruwheid van de hele Waddenzee gevarieerd, daaruit volgde dat met een constante waarde voor de gehele Waddenzee geen goede resultaten behaald kunnen worden. Daar de Waddenzee uit een complex geheel van geulen en platen bestaat, die leiden tot verschillende kombergingsgebieden, is vervolgens per kombergingsgebied de ruwheid gevarieerd. Per kombergingsgebied zijn tevens verschillende waarden voor de bodemwrijving coëfficiënt gebruikt voor de platen en geulen. Ook de ruwheid in de Voordelta is aangepast.

In Figuur 2.4 is de bodemruwheid voor het model weergegeven. De calibratie heeft ertoe geleid dat de platen in de Waddenzee beduidend gladder zijn gemaakt. Dit kan verklaard worden door het feit dat in werkelijkheid tal van kleine geulen over de platen lopen, zodat het water sneller wordt aan- en afgevoerd dan wanneer een plaat vlak zou zijn. In FINEL2D worden deze kleine geulen niet meegenomen daar de resolutie te grof is om deze kleine geulen in beschouwing te nemen.

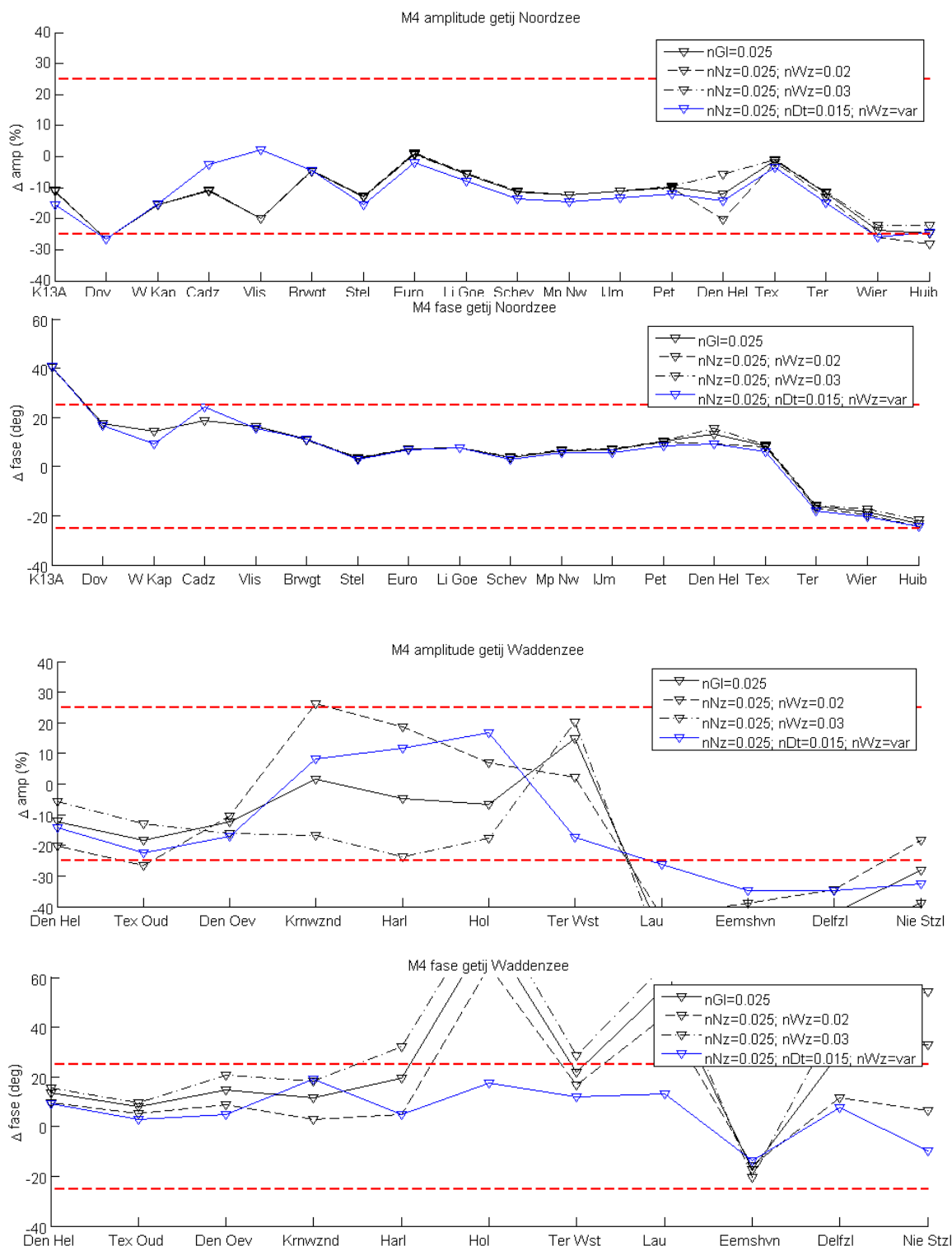


Figuur 2.4: Bodemwrijvingscoëfficiënten (Manning-waarden) voor de Nederlandse kust.

De resultaten van het verschil tussen de gemeten en berekende amplitudes en fases van de waterstanden van de M2 en M4 getij componenten voor verschillende waarden van de bodemwrijving zijn weergegeven in Figuur 2.5. De blauwe lijn geeft het eindresultaat van de calibratie weer.



Figuur 2.5: Verschillen tussen de gemeten en berekende waarden voor de M2 amplitudes en fases van de waterstanden voor de meetstations in de Noordzee en Waddenzee. De zwarte lijnen zijn calibratieruns; de blauwe lijn geeft de eindcalibratie.



Figuur 2.6: Verschillen tussen de gemeten en berekende waarden voor de M4 amplitudes en fases van de waterstanden voor de meetstations in de Noordzee en Waddenzee. De zwarte lijnen zijn calibratieruns; de blauwe lijn geeft de eindcalibratie.

Uit bovenstaande resultaten blijkt dat de waterstanden goed gecalibreerd zijn, de amplitudes en fases van de M2 en M4 waterstanden voor meetstation in de Noordzee en Waddenzee vallen binnen de gewenste nauwkeurigheid. De amplitudes van de waterstanden in de Eemsdollard zijn nog wat aan de lage kant. Dit is niet bezwaarlijk, daar de Eemsdollard buiten het interessegebied ligt.

2.4 Stroomsnelheden en debieten

Helaas is er slechts een beperkte data-set beschikbaar voor de vergelijking van de berekeningen met metingen op basis van stroomsnelheden:

- Stroomsnelheden: Gemeten stroom snelheidsprofielen en berekende diepte gemiddelde stroomsnelheden in Noordwijk 12 voor de periode 22 juni tot en met 22 augustus, 1992.
- Debieten: De berekende en gemeten getijcomponenten van het debiet door het Marsdiep voor de jaren 2000 t/m 2002 en een dertienuursmeting tussen Vlieland en Terschelling op 27 augustus 2002.
- Restdebieten: Gemeten en berekende restdebieten door het Marsdiep en door de Straat van Dover voor de jaren 2000 t/m 2002.
- De criteria zijn gegeven in Tabel 2.3.

Tabel 2.3: Criteria voor de snelheids- en debietscalibratie van de hydrodynamica

Parameter		Criteria
Stroom snelheden bij Noordwijk	Amplitude M2 (N-Z)	<10%
	Fase M2 (N-Z)	<10°
	Amplitude M2 (O-W)	<10%
	Fase M2 (O-W)	<10°
Debieten door het Marsdiep	Amplitude M2	<10%
	Amplitude M4	<25%
Rest debiet door het Marsdiep (Buijsman, 2006)		O (-1900) m ³ /s
Rest debiet door de Straat van Dover (Prandle, 1996)		O (100000) m ³ /s

De stroomsnelheden zijn geanalyseerd voor twee verschillende tijdschalen. Allereerst is de belangrijkste tijdschaal, het M2 getij, beschouwd. Voor het transport van slib is tevens de reststroming van belang.

2.4.1 Noordwijk 12: M2 getij

Voor het vergelijk van de gemeten en berekende getij gedreven stroomsnelheden is de periode van 22 juni tot 22 augustus 1992 genomen ter plaatse van meetstation Noordwijk 12. De windsnelheden zijn buiten beschouwing gelaten.

Finel2D is een diepte gemiddeld rekenmodel, voor de vertaling van de diepte gemiddelde snelheid naar een verticaal snelheidsprofiel is van de volgende formulering gebruik gemaakt:

$$u(z) = u_a \frac{\sqrt{c_f}}{\kappa} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right), \text{ met}$$

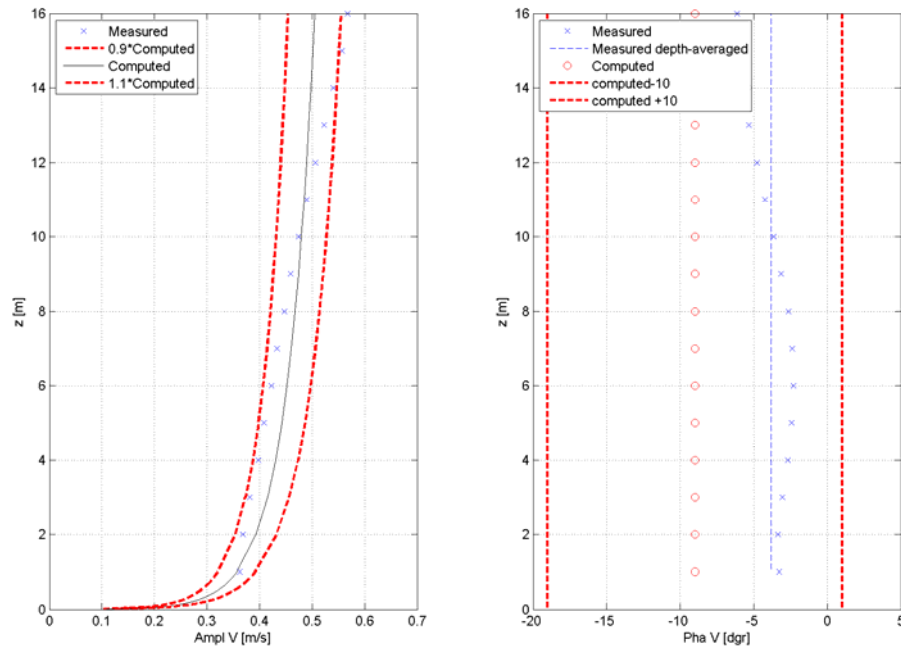
$$c_f = g \frac{n^2}{D^{1/3}}, \text{ en}$$

$$z_0 = D \exp\left[-\frac{\kappa}{\sqrt{c_f}} - 1\right],$$

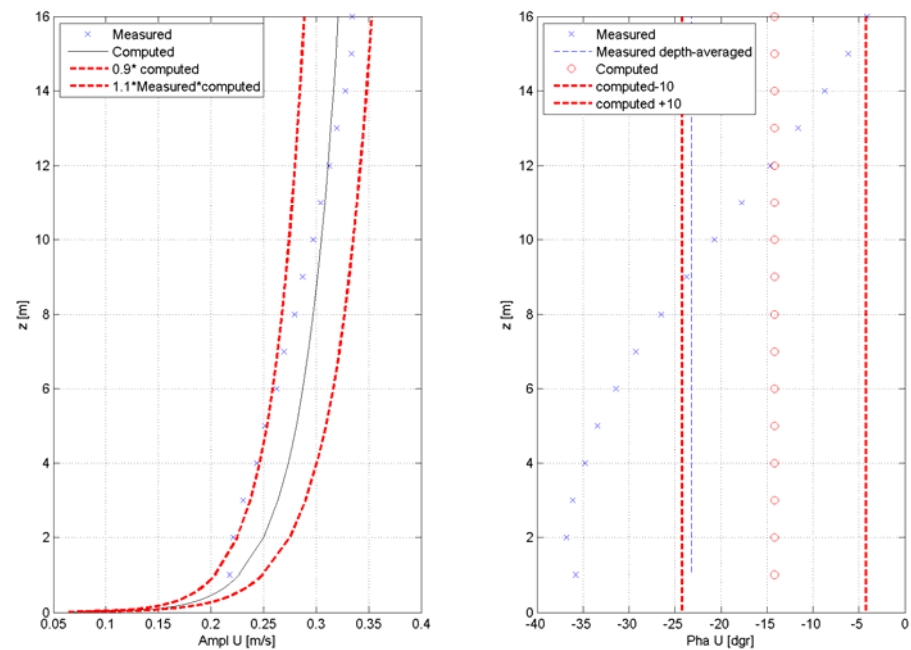
waarin $u(z)$ het verticale profiel van de noord-zuid M2 gedreven snelheidscomponent is, u_a is de diepte gemiddelde amplitude van de noord-zuid M2 gedreven snelheidscomponent, c_f is de wrijvingscoëfficiënt, $\kappa=0.41$ de Von Karman constante, z de diepte en z_0 de diepte waarop de stroomsnelheid nul is. Verder is g de zwaartekrachtsversnelling, n de Manning coëfficiënt en D de totale waterdiepte. Deze vertaling gaat er vanuit dat het stromingsprofiel logaritmisch is en dat de diepte gemiddelde snelheid gevonden wordt op een diepte van 0.36 keer de waterdiepte ten opzichte van de bodem.

In Figuur 2.7 is het berekende snelheidsprofiel weergegeven samen met het gemeten profiel en tevens de gewenste nauwkeurigheid. Alleen de onderste 16 meter van de waterkolom is weergegeven, omdat alleen daar meetgegevens beschikbaar zijn. De berekende waarden voor de amplitude en fase komen goed overeen met de gemeten waarden. De amplitude boven in de waterkolom wordt enigszins onderschat en de amplitude onder in de waterkolom wordt enigszins overschat. De berekende fase is ca 5° lager dan de gemeten fase, maar ligt overal binnen de criteria.

In Figuur 2.8 zijn amplitudes en fases van de oost-west stroomsnelheden ten gevolge van het M2 getij weergegeven. De amplitudes zijn lager dan in noord-zuid richting. De gemeten fase varieert sterk over de diepte. De berekende dieptegemiddelde fase wijkt ca 9° af van de gemeten dieptegemiddelde fase.



Figuur 2.7: Gemeten en berekende amplitude en fase van de M2 noord-zuid snelheidscomponent.



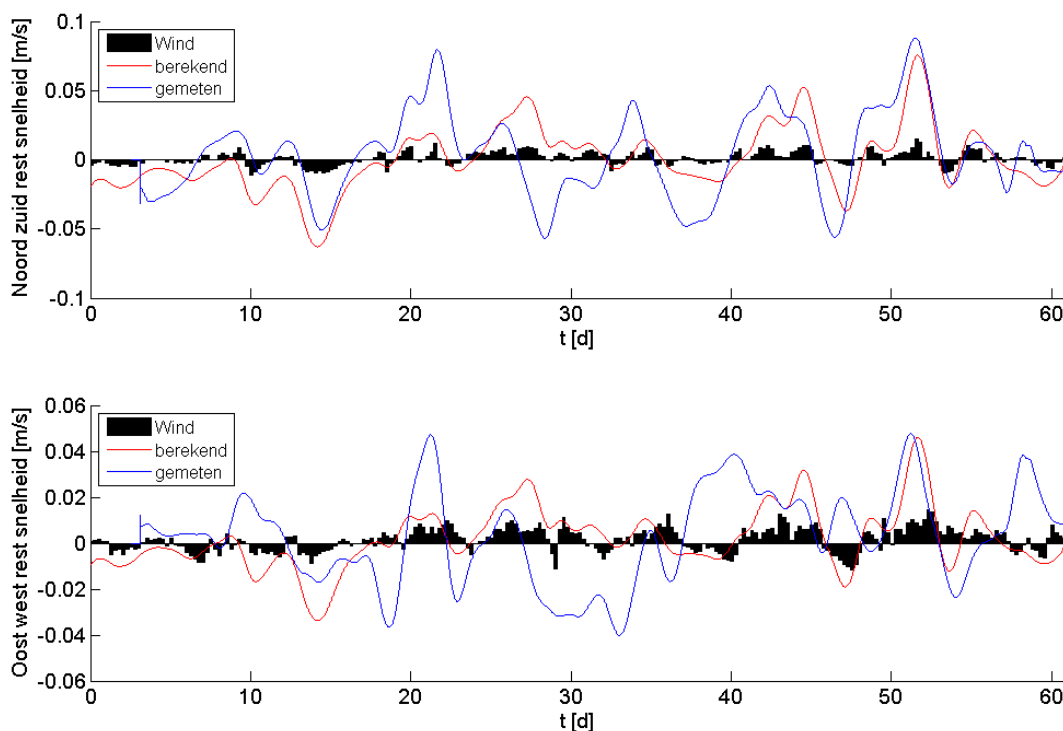
Figuur 2.8: Gemeten en berekende amplitude en fase van de M2 oost-west snelheidscomponent.

2.4.2 Noordwijk 12: Reststroomsnelheden

Van der Giessen et al. (1990) hebben aangetoond, dat de noord zuid reststroomsnelheden sterk afhankelijk zijn van de windsnelheid en -richting. De zuidwesten wind is de meest voorkomende windrichting in de Zuidelijke Noordzee. Dit resulteert in een lange termijn gemiddelde stroomrichting naar het noordoosten. De oost west reststroomsnelheden zijn ook afhankelijk van dichtheidsverschillen, de windsnelheid en -richting en de aanwezigheid van de kust, hetgeen resulteert in gecompliceerde en variërende verticale profielen van de oost west (rest)stromingen. De lange termijn gemiddelde oost-west stroomrichting nabij de bodem is gericht naar de kust, terwijl de stroming hoger in de verticaal meer langs de kust gericht is (kleinere oost west component).

De reststromingen zijn bepaald door middel van een Doodson-Godin filter, die de tijdseries achtereenvolgens over 24, 24 en 25 uur middelt.

Voor de bepaling van de reststroming is de periode 22 juni 1992 tot 22 augustus 1992 gebruikt, de data voor een ruimtelijk variërend windveld in die periode is niet beschikbaar. Als benadering voor de windsnelheden op de Zuidelijke Noordzee is de wind data van het K13 platform gebruikt. Het resultaat van deze simulatie is weergegeven in Figuur 2.9 samen met de windsnelheid op het K13 platform. De gemeten en de berekende reststroming vertonen grotendeels dezelfde trend. Tevens is duidelijk te zien dat de reststroming de richting van de wind goed volgt. De verschillen kunnen onder meer verklaard worden door het opleggen van een uniforme wind op basis van de wind bij K13, in plaats van een ruimtelijk variërende wind.



Figuur 2.9: Gemeten (op 8 m boven de zeebodem) en berekende noord-zuid (boven) en oost-west (onder) restsnelheden bij Noordwijk12. De noord-zuid en oost-west windcomponenten worden weergegeven door de zwarte blokken (niet op schaal). De tijd $t = 0$ komt overeen met 22 juni, 1992.

2.4.3 Debieten Kanaal en Marsdiep

De gemeten en berekende restdebieten zijn vergeleken op twee dwarsdoorsneden: De straat van Dover en het Marsdiep. Tevens is een 13uurs meting van het debiet door het Vlie gesimuleerd.

De restdebieten door de Straat van Dover zijn berekend voor de jaren 2000, 2001 en 2002 inclusief wind. Volgens Prandle et al. 1996 ligt het restdebet door de Straat van Dover in de orde van $94.000 \text{ m}^3/\text{s}$ voor het jaar 1990. Hiervan is $47.000 \text{ m}^3/\text{s}$ windgedreven. Dit deel is daarmee sterk afhankelijk van de variërende windcondities. De resultaten van de simulaties staan weergegeven in Tabel 2.4.

Tabel 2.4: Gemeten (Q_m) en berekende (Q_c) restdebieten door de Straat van Dover

jaar	Restdebet	
	$Q_m \text{ (m}^3/\text{s)}$	$Q_c \text{ (m}^3/\text{s)}$
2000	O(94.000)	89.372
2001	O(94.000)	52.609
2002	O(94.000)	90.585

De berekende restdebieten voor 2000 en 2001 vallen zijn vergelijkbaar met de periode 1990-1991. Het restdebet in 2001 is significant lager dan in de andere jaren. Dit zou verklaard kunnen worden door het feit dat in 2001 minder sterke zuid tot zuidwesten winden optraden, zie Figuur 2.10.

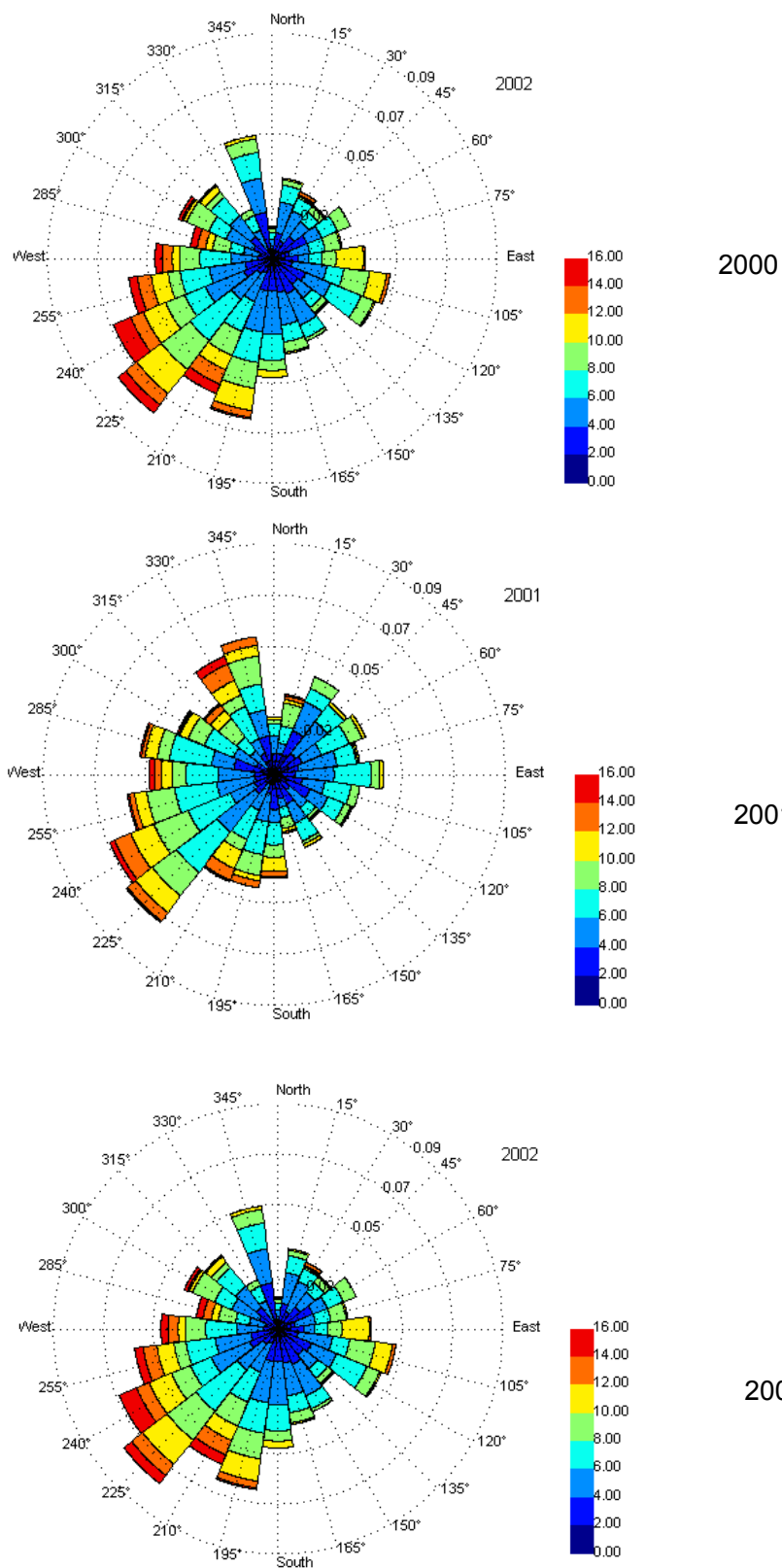
De restdebieten door het Marsdiep zijn voor dezelfde perioden berekend als die voor de Straat van Dover. Tevens zijn de amplitudes van de M_2 en M_4 getijcomponenten voor het debiet door het Marsdiep bepaald en vergeleken met resultaten die volgen uit de metingen met de Ferry van Den Helder naar Texel (Buijsman, 2006). De resultaten staan weergegeven in Tabel 2.5.

Tabel 2.5: Restdebieten en amplitudes door het Marsdiep, subscript 'm' staat voor gemeten en 'c' staat voor berekend.

jaar	Restdebet		M_2 getij component		M_4 getij component	
	$Q_m \text{ (m}^3/\text{s)}$	$Q_c \text{ (m}^3/\text{s)}$	$A_m \text{ (m}^3/\text{s)}$	$A_c \text{ (m}^3/\text{s)}$	$A_m \text{ (m}^3/\text{s)}$	$A_c \text{ (m}^3/\text{s)}$
2000	-560	-1100	65690	71996	6750	6817
2001	-2080	-1572	66560	71632	6750	6637
2002	-3120	-1160	65060	70719	6750	6306

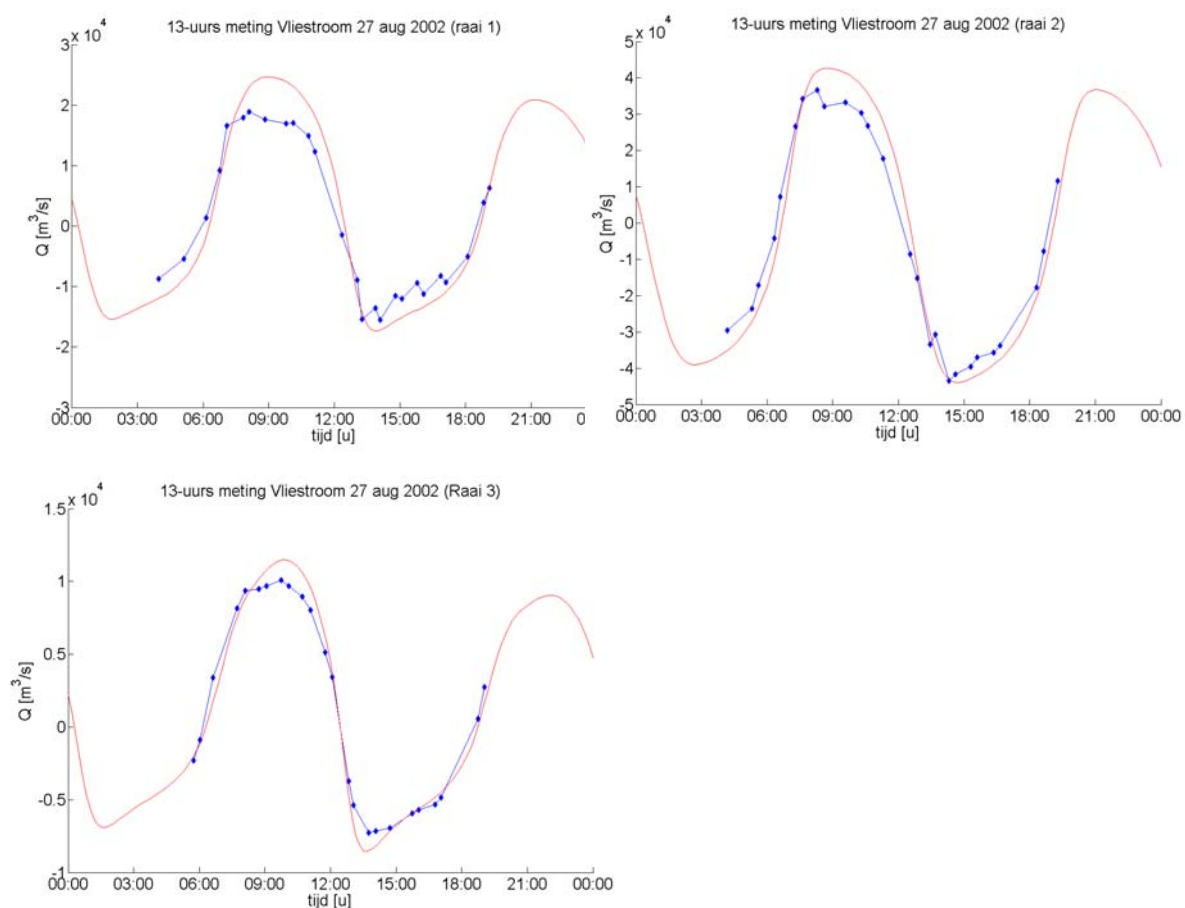
De getijcomponenten voor de amplitudes komen goed overeen met de gemeten waarden. De orde grootte van de restdebieten komt redelijk goed overeen. Het restdebet is in alle situaties van de Waddenzee naar de Noordzee gericht. De toename in restdebet, die in de metingen wordt waargenomen wordt niet terug gevonden in de berekeningen.

Volgens (Buijsman, 2006) levert een zuidwesten wind een kleiner restdebet richting de Noordzee en een noordwesten wind een groter restdebet. In 2001 waren de zuidwesten winden beduidend minder sterk en de noordwesten winden sterker dan in 2002, dit zou tot een groter restdebet in 2001 moeten leiden dan in 2002. De berekeningen laten dit zien in tegenstelling tot de metingen.



Figuur 2.10: Windrozen voor de jaren 2000, 2001 en 2002 voor meetstation K13.

Het debiet door het Vlie is vergeleken met een 13-uursmeting op 27 augustus 2002 uitgevoerd door de Meetdienst Noord-Holland van Rijkswaterstaat (Hut, 2004). De doorsnede van het Vlie tussen Vlieland en Terschelling is opgedeeld in drie raaien. De resultaten van de meting en de berekening zijn weergegeven in Figuur 2.11. De figuur laat zien dat de berekening de waarden voor het debiet licht overschat.



Figuur 2.11: Gemeten en Berekende debieten door het Vlie op 27 augustus 2002. De doorsnede van het Vlie is opgedeeld in 3 raaien (tussen Vlieland en Terschelling).

2.5 Samenvatting en conclusies

De resultaten van de calibratie staan in Tabel 2.6 samengevat met de gewenste nauwkeurigheid.

Tabel 2.6: Criteria voor en resultaten van de calibratie van de hydrodynamica van het FINEL2D model.

Parameter		Criteria	Resultaat
Waterstanden langs de Nederlandse kust	Amplitude M2	<6%	<6%
	Fase M2	<10°	<6°
	Amplitude M4	<25%	<25%
	Fase M4	<25°	<25°
Waterstanden in de Waddenzee	Amplitude M2	<6%	<10%
	Fase M2	<10°	<10°
	Amplitude M4	<25%	<35%
	Fase M4	<25°	<20°
Stroomsnelheden bij Noordwijk	Amplitude M2 (N-Z)	<10%	<10%
	Fase M2 (N-Z)	<10°	<5°
	Amplitude M2 (O-W)	<10%	<3%
	Fase M2 (O-W)	<10°	<10°
Debieten door het Marsdiep	Amplitude M2	<10%	<9%
	Amplitude M4	<25%	<3%
Netto restdebiet door het Marsdiep		O (-1900) m ³ /s	O (-1300) m ³ /s
Netto restdebiet door de Straat van Dover		O (94.000) m ³ /s	O (78.000) m ³ /s

De volgende opmerkingen kunnen worden gemaakt aan de hand van de resultaten in Tabel 2.6:

- De M2 en M4 amplitudes van de waterstanden voor zowel de Noordzee als de Waddenzee liggen binnen de gewenste nauwkeurigheid. Echter in en nabij de Eemsdollard zijn de M2 en M4 amplitudes van de waterstanden wat aan de lage kant. De M2 en M4 fases in en nabij de Eemsdollard liggen wel binnen de gewenste nauwkeurigheid.
- De amplitudes en fases van de snelheidscomponenten in Noordwijk liggen binnen de gewenste nauwkeurigheid. De gemeten fase in oost-west richting varieert sterk over de diepte. Dit wordt niet gesimuleerd met een dieptegemiddeld model.
- De berekende M2 en M4 amplitude van het debiet door het Marsdiep geven een overschatting, maar liggen binnen de gewenste nauwkeurigheid.
- De restdebieten door het Marsdiep en de Straat van Dover hebben de juiste richting en orde grootte.

Op basis van de uitgevoerde calibratie wordt geconcludeerd dat het hydrodynamische model geschikt is als basis voor de simulaties van het slibtransport, het transport van nutriënten en de primaire productie.

3 CALIBRATIE SLIBTRANSPORT

3.1 Inleiding

Zoals aangegeven in het inleidende hoofdstuk worden drie modelleerstappen uitgevoerd: hydrodynamica, slibtransport en transport van nutriënten en primaire productie. Alvorens het modelinstrumentarium per stap toe te passen wordt het gecalibreerd en getoetst aan de hand van metingen. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de calibratie van het slibtransportmodel. De modellering wordt uitgevoerd met FINEL2D, een dieptegemiddeld transportmodel. Hoewel een calibratie reeds is uitgevoerd in het kader van de MER MV2 diende een verbeteringsslag gemaakt te worden voor de Voordelta en de Waddenzee. Bovendien is geen vergelijking gemaakt met het slibpercentage in de bodem.

In paragraaf 3.2 wordt ingegaan op de beschikbare meetdata. Een modelbeschrijving is gegeven in Paragraaf 3.3. In Paragraaf 3.4 wordt de calibratiemethode toegelicht. De resultaten worden gepresenteerd in Paragraaf 3.5. Tenslotte worden in Paragraaf 3.6 conclusies getrokken.

3.2 Beschikbare metingen

Voor de calibratie is gebruik gemaakt van verschillende type metingen:

- Smartbuoy-metingen voor Noordwijk 2 (nov-dec 2001) en Noordwijk 10 (2000-2001), met meetinterval van 1 uur. CEFAS-data.
- MWTL-data op verschillende locaties voor 2000-2002 met meetinterval van ca 14 dagen. Deze data zijn vrij te verkrijgen via www.waterbase.nl.
- Satellietbeelden voor de gehele Noordzee voor 2000-2002. Tweemaandelijks gemiddelde waarden zijn beschikbaar. De concentratievelden zijn gescand uit RIKZ (2002) en AGI (2003).

Bovenstaande metingen zijn niet met elkaar vergeleken en kunnen daarmee op sommige locaties voor sommige momenten verschillen. Een uitgebreide analyse van bovenstaande metingen valt buiten de scope van dit project. Een rangorde in betrouwbaarheid is aangenomen: Smart-buoy, MWTL en vervolgens de satellietbeelden. In paragraaf 3.5 worden de simulaties met elk type metingen vergeleken.

Naast de concentratiemetingen in de waterkolom zijn metingen beschikbaar van het slibpercentage in de bodem. Deze gemeten waarden dienen echter als minimale waarden gezien te worden. In Van Heteren et al. (2006) worden de volgende redenen gegeven: *“Vier factoren spelen hierbij een rol: 1) Beperkingen van de gebruikte boor- en hapmethoden, 2) Beperkingen van de gebruikte meetmethode, 3) Onvolkomenheden in rekenmodellen om lasermetingen te vertalen naar korrelgrootte, en 4) Ondervertegenwoordiging van sliblagen in de analyses. In werkelijkheid zullen de gemiddelde slibgehalten 1-1,5% hoger liggen.”* In overleg met TNO is daarom het gemeten slibpercentage verhoogd.

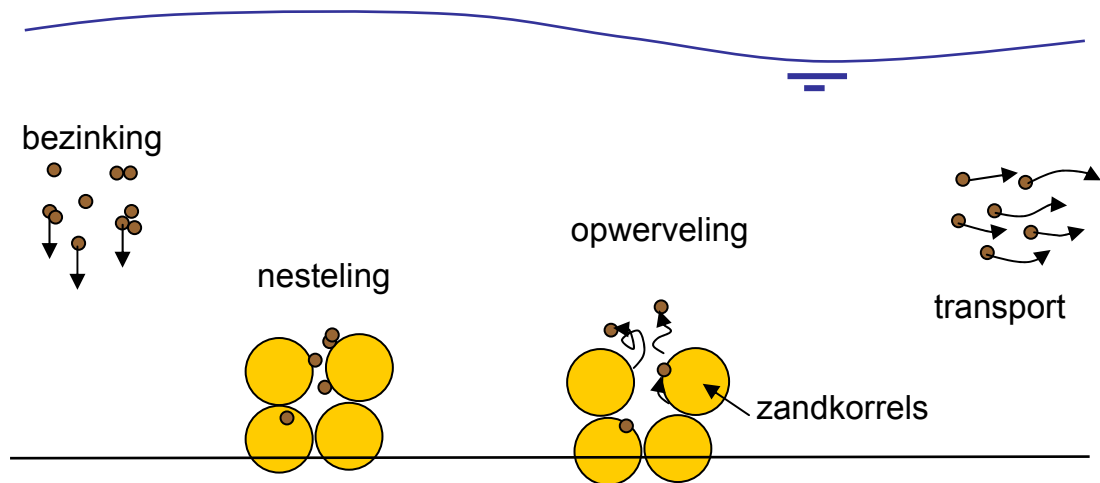
3.3 Modelbeschrijving

Het modelconcept uit de MER MV2 is ook gebruikt in deze studie. Een uitgebreide beschrijving is gegeven in Van Prooijen et al. (2006). In deze paragraaf volgt een beknopte beschrijving.

Het slibtransport wordt beïnvloed door verschillende fysische processen:

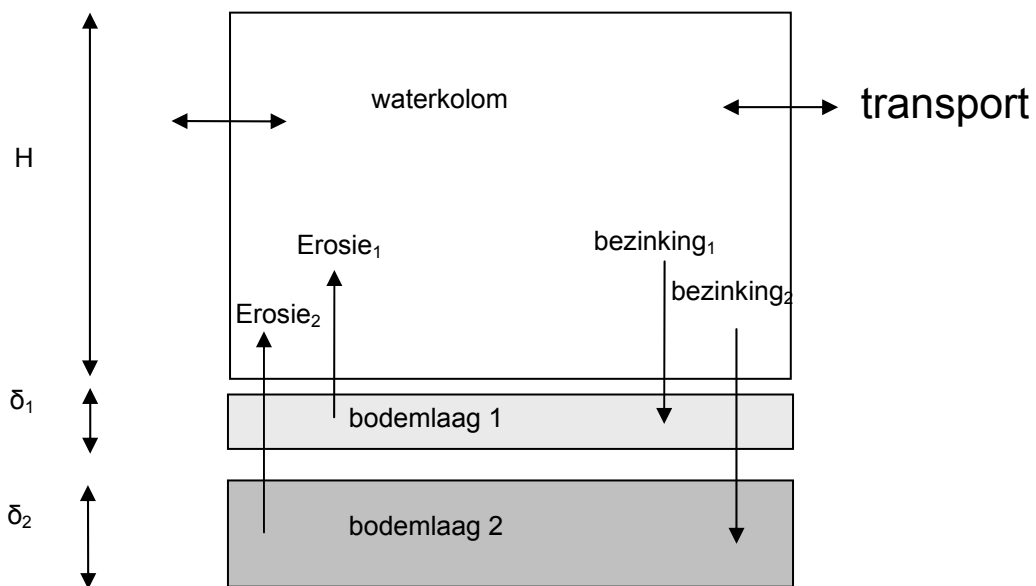
- bezinking
- nesteling
- opwerveling
- transport

Deze processen zijn schematisch weergegeven in Figuur 3.1. Voor het transport wordt gebruik gemaakt van de advectie-diffusievergelijking, zoals beschreven in Labeur (2007). De overige processen worden meegenomen in de water-bodem-uitwisselingmodule.



Figuur 3.1: Schematische weergave van de fysische processen die zorgen voor het slibtransport.

In deze module is gebruik gemaakt van een tweelagenconcept. De bovenste bodemlaag reageert snel. Bij lage stroomsnelheden komt slib al uit deze bodemlaag in de waterkolom. De onderste bodemlaag reageert trager en slib komt alleen bij hoge stroomsnelheden (springtij) en stormen in de waterkolom. Met dit tweelagenconcept wordt het nestelingsproces gemodelleerd. Een schematisatie van de fluxen tussen de bodemlagen en de waterkolom is gegeven in Figuur 3.2.



Figuur 3.2: Schematisatie van de slibfluxen

De bijbehorende vergelijkingen zijn:

$$H \frac{\partial c}{\partial t} + uH \frac{\partial c}{\partial x} + vH \frac{\partial c}{\partial y} + \nabla(vH \nabla c) = E_1 + E_2 - D_1 - D_2$$

$$\rho_{silt} \delta_1 \frac{\partial p_1}{\partial t} = -E_1 + D_1$$

$$\rho_{silt} \delta_2 (1-s) \frac{\partial p_2}{\partial t} = -E_2 + D_2$$

$$E_1 = p_1 M_1 \left(\text{MAX} \left(\frac{\tau}{\tau_{c,1}}, 1 \right) - 1 \right)$$

$$E_2 = p_2 M_2 \left(\text{MAX} \left(\frac{\tau}{\tau_{c,1}}, 1 \right) - 1 \right)^{1.5}$$

$$D_1 = (1-\alpha) w_s c$$

$$D_2 = \alpha w_s c$$

Met waterdiepte H , concentratie c , tijd t , plaats x en y , dispersiecoëfficiënt v , erosieflux E , depositieflux D , dichtheid ρ , slibpercentage p , sliblaagdikte δ , erosiecoëfficiënt M , porositeit s , bodemschuifspanning τ , valsnelheid w_s en distributiecoëfficiënt α . De subscripts 1 en 2 slaan op de bodemlagen 1 en 2.

Uit bovenstaande vergelijkingen volgt dat de vergelijkingen lineair schaalbaar zijn. Dit geeft twee prettige eigenschappen, zie ook tekstbox:

- Slibconcentraties uit verschillende bronnen kunnen bij elkaar opgeteld worden. Deze eigenschap wordt gebruikt om de slibconcentratie als gevolg van zandwinning op te kunnen tellen bij de achtergrondslibconcentratie.
- De winhoeveelheid van een zandwinning kan nadat de simulatie is uitgevoerd worden aangepast.

1 Intermezzo: Lineaire schaalbaarheid

Eén van de prettige mathematische eigenschappen van de vergelijkingen voor het transport van slib is de lineaire schaalbaarheid. Daarmee gelden de volgende vergelijkingen:

$$c(x, y, t) = \text{FINEL}(\alpha M_0) = \alpha \text{FINEL}(M_0)$$

$$c(x, y, t) = \text{FINEL}(M_0 + M_1) = \text{FINEL}(M_0) + \text{FINEL}(M_1)$$

met concentratie c , die afhangt van plaats (x, y) en de tijd (t) , operator FINEL (het model), constante α en winhoeveelheid M . Het model FINEL geeft met invoer αM_0 een concentratie c . Dezelfde concentratie wordt echter verkregen als de simulatie wordt uitgevoerd met invoer M_0 , waarna het resultaat met α wordt vermenigvuldigd. Dit betekent dat nadat een simulatie is uitgevoerd, de winhoeveelheid aangepast kan worden. Bovendien kunnen twee verschillende zandwinningen nadat de simulatie per zandwinning is uitgevoerd bij elkaar opgeteld worden.

De totale slibconcentratie kan daarmee opgebouwd worden uit verschillende simulaties. In de scenariostudies wordt hiervan gebruik gemaakt door de totale concentratie op te bouwen uit drie verschillende componenten:

$$c_{\text{totaal}} = c_{\text{achtergrond}} + c_{\text{autonoom}} + c_{\text{suppletie}}$$

De totale concentratie bestaat uit de achtergrondconcentratie, de concentratie als gevolg van autonome zandwinning en de extra concentratie als gevolg van de winning van suppletiezand.

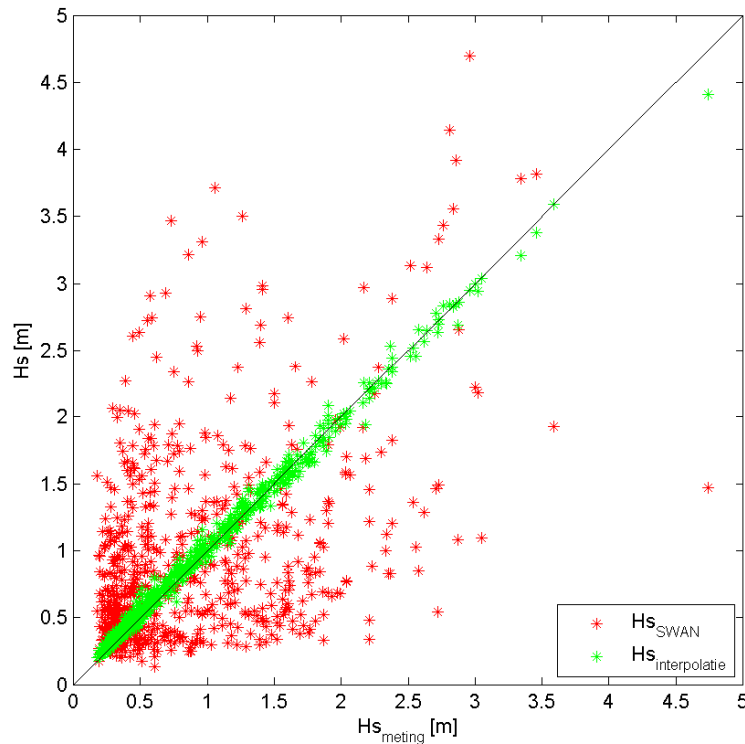
3.4 Calibratiemethode

Het gebruikte slibtransportmodel is opgezet in het kader van de MER MV2. De destijds uitgevoerde calibratie is als startpunt genomen voor de voorliggende calibratie. De randvoorwaarden (oa slibconcentraties) zijn niet gewijzigd tov van de instellingen van de simulaties voor MER MV2. Vervolgens zijn aanpassingen uitgevoerd om de slibconcentratie in de Voordelta, de Hollandse kust en de Waddenzee te verbeteren. Hiertoe is 1) de golfforcering aangepast; 2) een ruimtelijke variatie in initieel bodemslibpercentage opgelegd; 3) de secundaire stroming als gevolg van dichtheidsstroming geparameteriseerd en 4) de parameterset aangepast. Deze verandering worden in onderstaande subparagrafen beschreven.

3.4.1 Aanpassing golfveld

In de FINEL-simulaties voor de MER zandwinning MV2 zijn de golfkarakteristieken van Meetpost Noordwijk uniform over het gehele modelgebied opgelegd. Hiermee is de temporele ontwikkeling wel goed gerepresenteerd, maar de ruimtelijke verdeling niet. In werkelijkheid spelen bodemwrijving, breking, etc een rol. Hierdoor zal het golfveld niet uniform zijn. In de DELFT3D-simulaties van de MER MV2 zijn de golfkarakteristieken uit

SWAN-berekeningen opgelegd. De SWAN-resultaten geven een realistische ruimtelijke verdeling van de golven. De SWAN resultaten geven echter een minder goede temporele ontwikkeling, zoals blijkt uit een vergelijking met de metingen. Een scatterdiagram is gegeven in Figuur 3.3. Hierin zijn voor locatie IJmuiden de golfhoogtes uit SWAN uitgezet tegen de gemeten golfhoogtes (rode punten).



Figuur 3.3: Scatterdiagram van de berekende golfhoogte tegen de gemeten golfhoogte voor meetlocatie IJmuiden.

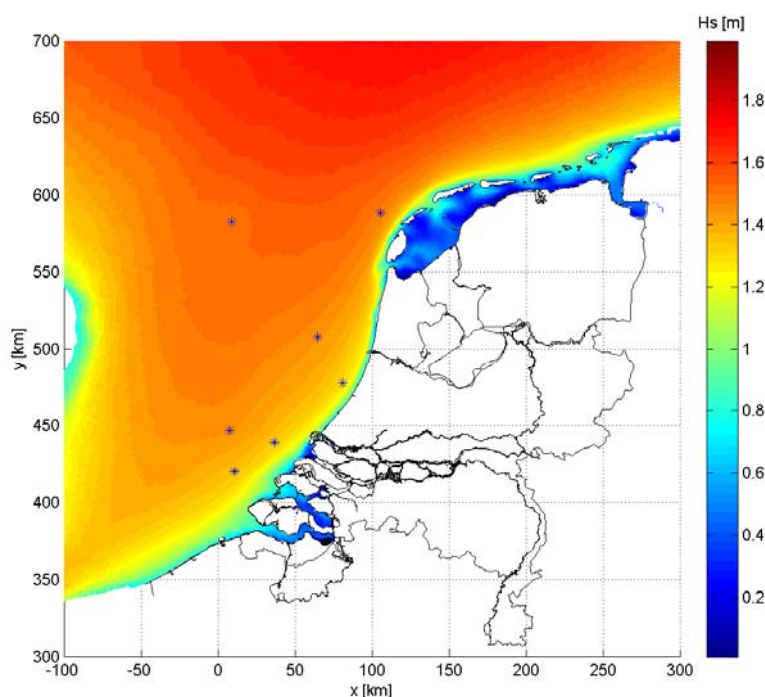
In deze studie wordt een combinatie toegepast van de SWAN-resultaten en de metingen. Om de ruimtelijke variatie mee te nemen is een jaargemiddeld golfveld bepaald met behulp van SWAN. Om de temporele ontwikkeling goed mee te nemen wordt gebruik gemaakt van zeven golfmeetstation, zie Figuur 3.4. De procedure voor de bepaling van de golfhoogte en -periode is gelijk. Hier wordt alleen de golfhoogte besproken. De interpolatie wordt als volgt uitgevoerd:

$$Hs(x, y, t) = \frac{1}{\sum_{n=1}^7 (|x - x(i)|)^p} \sum_{n=1}^7 (|x - x(i)|)^p \frac{Hs_{meting}(i, t)}{Hs_{SWAN}(i)} Hs_{SWAN}(x, y)$$

Er wordt uitgegaan van het jaargemiddelde golfveld (Hs_{SWAN}). Dit wordt voor elk meetstation vermenigvuldigd met de verhouding tussen de waargenomen golfhoogte op tijdstip t ($Hs_{meting}(t)$) en de gemiddelde golfhoogte uit SWAN ter plaatse van het meetstation. Hiermee worden per tijdstip 7 golfvelden gecreëerd. Een middeling wordt vervolgens toegepast op basis van de absolute afstand $|x-x(i)|$ van elk roosterpunt tot

het betreffende meetstation. Een *smoothing*parameter p is toegevoegd. Met deze parameter kan het resulterende veld 'globaler' (p kleiner) of 'lokaler' (p groter) gemaakt worden. Aangezien het ruimtelijke patroon van de opgetreden golven niet gelijk is aan het gemiddelde patroon zal enige vervorming optreden. Een waarde van $p=0.6$ gaf de beste balans. Indien de meting op een bepaald moment geen data bevat, wordt de betreffende locatie niet meegenomen.

In Figuur 3.3 is de resulterende golfhoogte uitgezet tegen de gemeten golfhoogte (groene punten). Logischerwijs geeft dit een goede overeenkomst, aangezien het meetsignaal is gebruikt. Er is echter een geringe afwijking, aangezien overige meetstations ook meetellen. Een grotere waarde voor p geeft een kleinere afwijking.

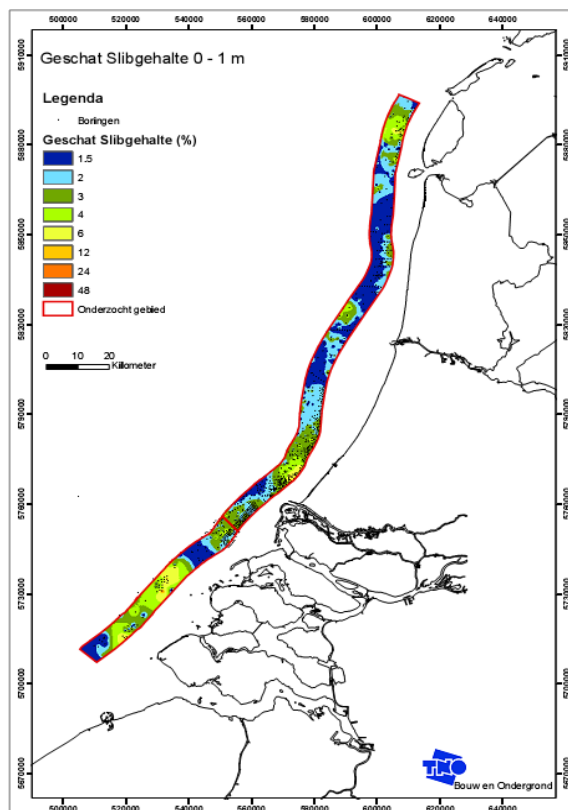


Figuur 3.4: Instantane significante golfhoogte op basis van jaargemiddeld golfveld en instantane metingen in de zeven golfmeetstations (*).

Met deze methode wordt zo goed mogelijk gebruik gemaakt van de nauwkeurige temporele ontwikkeling afkomstig van de metingen en wordt bovendien rekening gehouden met de ruimtelijke verdeling afkomstig uit het jaargemiddelde golfveld uit SWAN.

3.4.2 Initieel bodemslibpercentage

Er zijn maar in een beperkt gebied metingen van het bodemslibpercentage beschikbaar. Bovendien zijn deze relatief grillig, zie Figuur 3.5. Op basis van deze kaart is een uniform slibpercentage van 2% in de bodem aangenomen.



Figuur 3.5: Slibpercentage voor de Nederlandse kust (uit Van Heteren et al., 2006).

Uit de satellietbeelden en de MWTL-data blijkt dat de concentraties in de Voordelta en de Waddenzee relatief hoog zijn ten opzichte van de concentraties voor de Hollandse kust. Een dergelijke verhoging kan niet verklaard worden uit significant hogere bodemschuiфspanningen uit stroming of golven. Een mogelijke verklaring voor de hogere slibconcentraties in het water is een hoger slibpercentage in de bodem. Daarom is het initiële slibpercentage in de Westerschelde en Oosterschelde verhoogd tot 10% en in de Waddenzee tot 20%. Met deze slibpercentages werd de beste overeenkomst gevonden tussen de berekende concentraties en de MWTL-data en de satellietbeelden. Zie Paragraaf 03.5 voor een vergelijk voor de concentraties in de waterkolom en de bodemslibpercentages tussen simulaties en metingen. Ook in de Thames-monding worden hogere concentraties gevonden. Hoewel dit gebied buiten het interessegebied valt en geen invloed heeft op het interessegebied is het slibpercentage in de Thamesmonding verhoogd tot 15%.

In Paragraaf 3.5 wordt nader ingegaan op de gesimuleerde slibpercentages in de bodem in relatie tot de gemeten slibgehaltenes.

3.4.3 Parameterisering secundaire stroming voor Hollandse kust

Voor de Hollandse kust is de concentratie dichtbij de kust het hoogst en neemt deze af in zeewaartse richting. Deze concentratiegradiënt wordt deels veroorzaakt door dichtheidsstromen als gevolg van de zoetwaterpluim afkomstig van de Rijn. Het zoete water verspreidt zich aan het oppervlak van de kust af, waardoor, als gevolg van continuïteit, aan de bodem een kustgerichte stroming ontstaat. In combinatie met het verticale concentratieprofiel leidt dit tot een netto kustgericht transport van slib. Dit

driedimensionale effect wordt niet direct meegenomen in een dieptegemiddeld transportmodel. Daarom wordt een parameterisering toegepast. Voor de Hollandse kust wordt een extra advectiesnelheid richting de kust opgelegd. Na calibratie op basis van de MWTL-data en de Smartbuoy-metingen bleek de concentratiegradiënt loodrecht op de kust het best gesimuleerd te worden met een advectiesnelheid van 5mm/s. Zie paragraaf 03.5 voor de tijdseries voor de locaties Noordwijk 2 en Noordwijk 10.

3.4.4 Parameterinstelling

Vertrekpunt voor de bepaling van de parameterset is de set zoals gebruikt in de MER MV2. In de MER MV2 is echter een relatief laag slibpercentage in de bodem toegepast. Toepassing van een realistisch percentage (Van Heteren et al. 2006) geeft te hoge concentraties. Om ook bij een realistisch slibgehalte in de bodem een goede weergave van de gemeten concentraties te verkrijgen is de parameterinstelling aangepast. Ter illustratie is de tijdserie van de concentratie voor Noordwijk 10 gegeven voor de instellingen van MV2 en de vernieuwde instellingen. In Figuur 3.8a is het bodemslibpercentage ca 0.5% (conform MER MV2). In de Figuur 3.8b is het bodemslibpercentage verhoogd naar 2% zoals voorgesteld in Van Heteren (2006). Figuur 3.8c geeft de concentraties voor de vernieuwde parameterset bij een bodemslibpercentage van 2%. De vernieuwde parameterset geeft een verbeterde reproductie van de metingen bij een meer realistisch slibpercentage in de bodem.

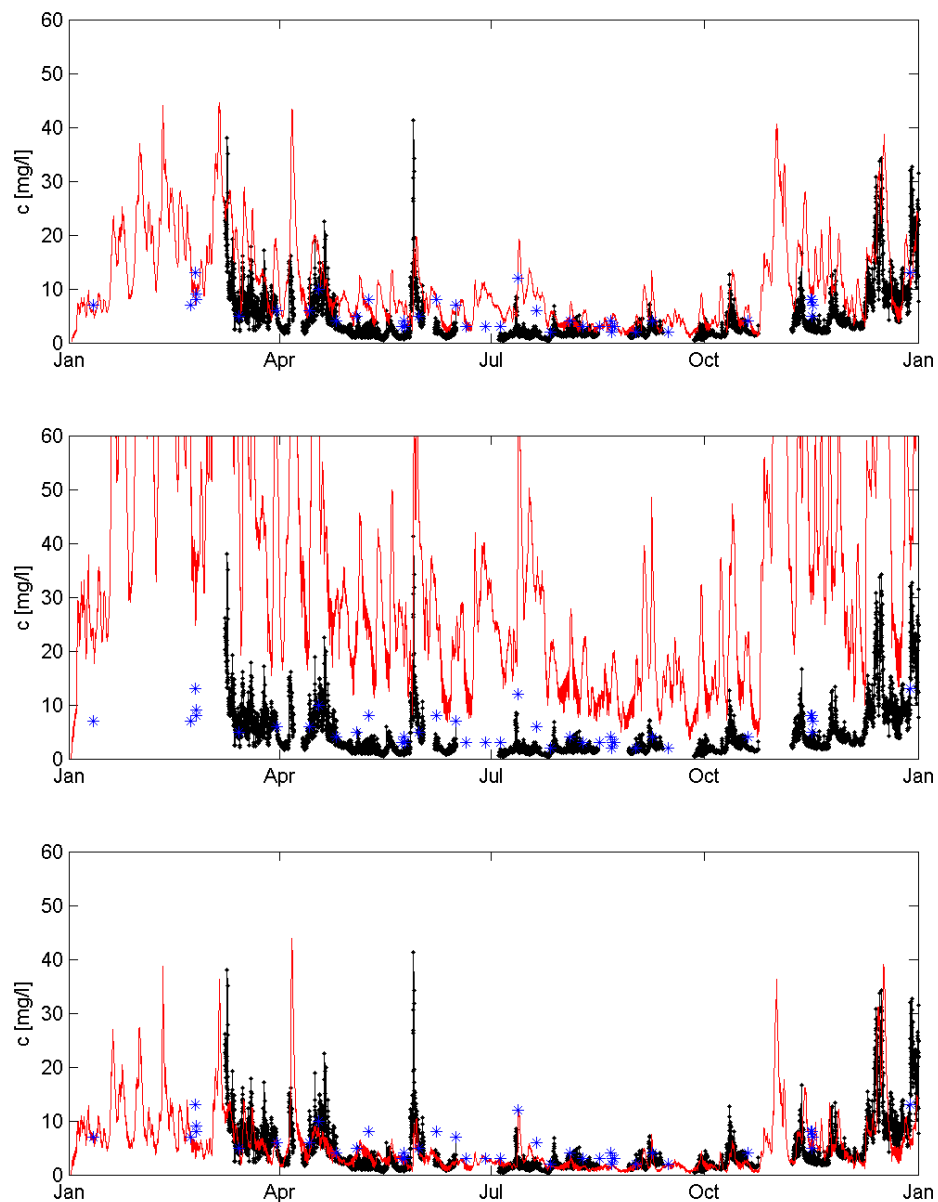
De volgende parameters zijn vastgesteld:

ρ	=	2600	kg/m ³	dichtheid van het slib
$\delta 1$	=	0.03	m	sliblaagdikte laag 1
M1	=	6E-5	kg/m ² /s	erosiecoëfficiënt laag 1
$\tau 1$	=	0.1	Pa/m ²	kritieke bodemschuifspanning laag 1
$\delta 2$	=	0.3	m	sliblaagdikte laag 2
M2	=	3E-7	kg/m ² /s	rosiecoëfficiënt laag 2
$\tau 2$	=	1.1	Pa	kritieke bodemschuifspanning laag 2
w_s	=	0.4	mm/s	valsnelheid
α	=	0.12	-	distributiecoëfficiënt

De waarden voor bovenstaande parameters zijn bepaald op basis van in literatuur (o.a. Van Rijn 1990 en Laane et al. 1999) gebruikte waarden en op basis van calibratie mbv de CEFAS dataset voor Noordwijk 2 en 10. In de CEFAS dataset komen verschillende verschijnselen voor: getij, doodtij-springtijcyclus, stormen en de seizoensfluctuaties. De parameters $\delta 1$, M1 en $\tau 1$ voor laag 1 zijn bepaald op basis van de zomerperiode, de doodtij-springtijcyclus. De sliblaagdikte van deze laag is gering, de laag moet snel reageren. De kritieke schuifspanning is relatief laag.

In de periode tijdens een storm is de erosie van laag 2 dominant. Daarom is de erosiecoëfficiënt tijdens deze periodes vastgesteld. Voor de kritieke schuifspanning is een waarde aangenomen, vergelijkbaar met de kritieke schuifspanning voor zand. Als laagdikte is 30cm aangenomen. In Laane et al. (1999) wordt een laagdikte van 40cm gebruikt.

Na een storm is juist de depositie dominant. Gedurende deze periodes en de zomerperiodes is de valsnelheid bepaald. De waarde voor de distributiecoëfficiënt is bepaald op basis van de seizoensfluctuaties.



Figuur 3.6: Concentraties bij Noordwijk 10 voor jaar 2000. a) instellingen MV2, bodemslibpercentage 0.5%; b) instellingen MV2, bodemslibpercentage 2% en c) vernieuwde instellingen, bodemslibpercentage 2%. Rode lijn: simulatie; zwarte lijn: CEFAS; blauwe ster: MWTL.

3.5 Resultaten calibratie

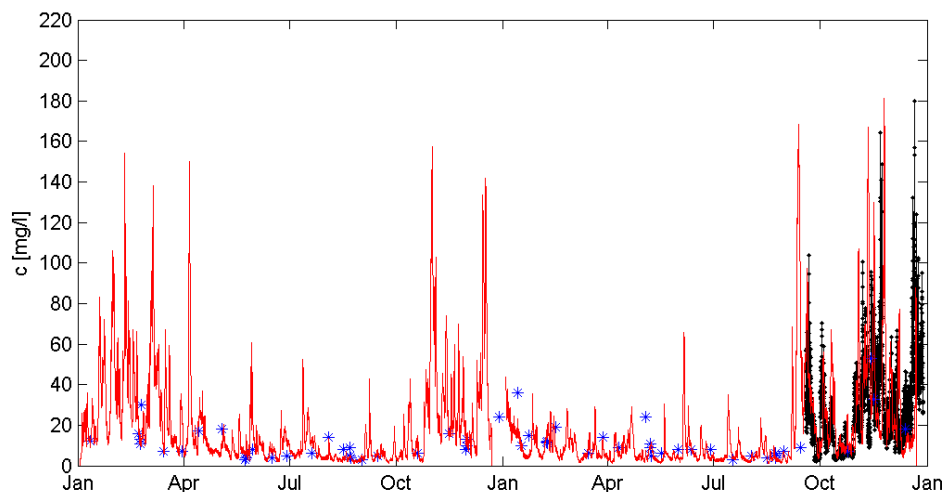
3.5.1 Tijdseries NW10 en NW2

In 2000 en 2001 zijn metingen van de oppervlakteconcentratie verricht met de Smartbuoy voor de locaties Noordwijk 10 en Noordwijk 2. Voor Noordwijk 2 zijn alleen data beschikbaar van de winter van 2001. De metingen zijn verricht met een interval van een uur. Voor beide locaties zijn ook MWTL-data beschikbaar.

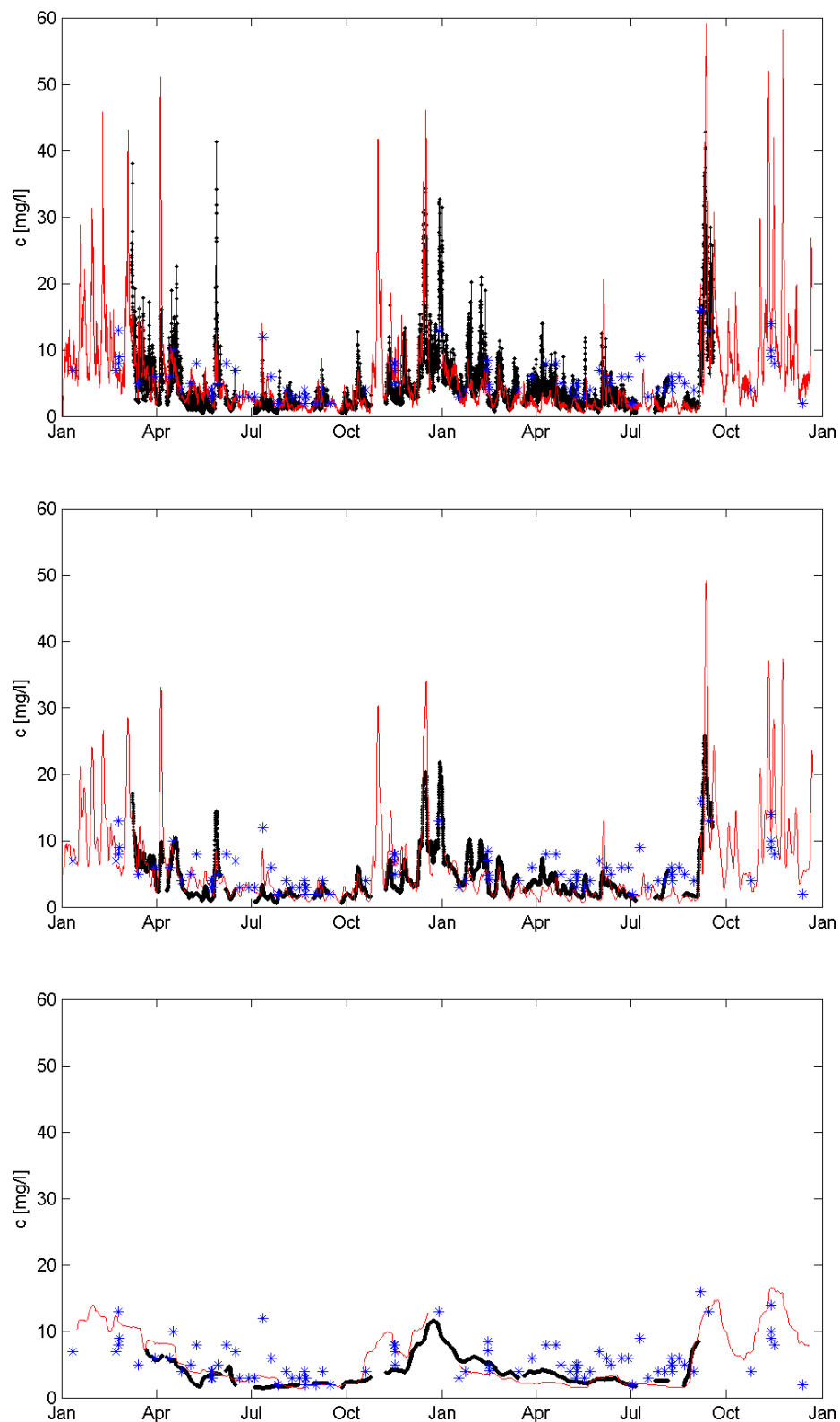
In Figuur 3.7 zijn de gemeten en berekende concentraties voor Noordwijk 2 gegeven. In Figuur 3.8a zijn de gemeten en de gesimuleerde tijdserie van de concentratie gegeven voor Noordwijk 10 voor de jaren 2000 en 2001. De simulatie is gestart in 2000.

Uit de metingen (en de simulaties) volgen de fluctuaties als gevolg van getij (ca 12,5 uur) en doortij-springtij (ca 14 dagen). Bovendien volgt een seizoensfluctuatie met een tijdschaal van maanden en worden de stormpieken gerepresenteerd. Om de doortij-springtij fluctuaties te visualiseren is een lopend gemiddelde bepaald met een periode van 1 dag, zie Figuur 3.8b. Hiermee worden de getijfluctuaties weggefilterd. Om de seizoensfluctuatie te visualiseren is een lopend gemiddeld van 14 dagen toegepast op de doortij-springtij fluctuatie uit het signaal te filteren, zie Figuur 3.8c.

De berekeningen zijn in goede overeenkomst met de metingen. Voor de eerste maanden van 2001 worden de concentraties echter enigszins onderschat. In het najaar en winter zijn de concentraties echter weer op gelijk niveau met de metingen. De goede reproductie van de tijdseries voor Noordwijk 2 en 10 geeft aan dat het verloop van de concentraties dwars op de kust goed wordt weergegeven en dat de parameterisering van de secundaire stroming voor de Hollandse kust kennelijk afdoende is.



Figuur 3.7: Tijdserie van de gemeten (smartbuoy: zwart; MWTL:*) en berekende (rood) concentratie bij Noordwijk 2 voor 2000 en 2001.



Figuur 3.8: a) Tijdsree (2000-2001) van de gemeten (smartbuoy: zwart; MWTL:*) en berekende (rood) concentratie bij Noordwijk 10; b) daggemiddelde concentraties zie verder a); c) 14-daags gemiddelde concentraties zie verder a).

3.5.2 Tijdsreeksen Waddenzee en Voordelta

Voor een aantal locaties in de Waddenzee en de Voordelta zijn MWTL-data beschikbaar voor de jaren 2000-2001. In Figuur A.1-Figuur A.4 zijn de meetseries vergeleken met de simulaties. Uit de figuren volgt dat de trends in de simulaties goed overeenkomen met de trends in de metingen. Zowel in de Voordelta als in de Waddenzee is er een duidelijk verschil tussen de stormperiode en de rustige periode. In de Waddenzee worden voor de twee locaties die op de platen liggen (Blauwe Slenk en Dantziggat) de concentraties onderschat. Mogelijk is het slibpercentage op de platen te laag gekozen. Ook zouden op de platen lokale, bijvoorbeeld biologische, processen een rol kunnen spelen. Hiervoor is nader onderzoek benodigd. In het kader van deze studie die gericht is op de effecten van zandwinning op de Noordzee is dit nader onderzoek niet relevant. De concentraties in de zeegaten Marsdiep en Vliestroom en in de geul (Dovebalg) worden wel goed gesimuleerd.

3.5.3 Satellietbeelden

In Figuur A.6-Figuur A.9 worden de gesimuleerde tweemaandelijks gemiddelde concentraties vergeleken met de waarden afkomstig van satellietwaarnemingen (RIKZ (2002) en AGI (2003)). Deze vergelijking wordt gemaakt om te bepalen of het ruimtelijk patroon van de berekeningen overeen komt met de metingen.

In de satellietbeelden zijn er duidelijke ruimtelijke variaties. In de Voordelta, de Thamesmonding en vlak voor de Hollandse kust worden hogere concentraties gevonden dan verder op zee. Dit wordt enerzijds veroorzaakt door hogere slibpercentages in de Voordelta en anderzijds doordat golven op ondiep water (langs de kusten) een groter effect hebben dan op diep water (op zee). In de calibratie is het initiële slibpercentage in de Wester- en Oosterschelde, de Thamesmonding en de Waddenzee verhoogd. Hierdoor wordt in deze gebieden een relatief hoge concentratie gesimuleerd. Dit is overeenkomstig de metingen. De breedte van de pluim voor de Hollandse kust wordt in de periode januari-februari in de berekening wat onderschat. De satellietbeelden lijken daarmee overigens niet in volledige overeenstemming met de Smartbuoy-metingen. De satellietbeelden geven voor de periode januari-april 2001 een gemiddelde concentratie hoger dan 28mg/l. De concentraties uit de MWTL-data in deze periode voor Schouwen 6, Walcheren 10 en Walcheren 20 zijn echter allemaal kleiner dan 28 mg/l.

De satellietbeelden laten een duidelijk verschil zien tussen de zomer- en wintermaanden. Dit wordt veroorzaakt doordat in de wintermaanden stormen optreden die voor hogere bodemschuifspanningen en daarmee hogere concentraties zorgen. De stormen treden echter niet altijd in de zelfde maanden op. Zo treden in het begin van 2001 minder stormen op dan in het begin van 2000. Hierdoor ontstaan verschillen tussen de jaren voor dezelfde maanden. Deze verschillen (zowel de verschillen tussen zomer en winter als de verschillen tussen de jaren) komen ook in de simulaties naar voren, aangezien het voorkomen van de stormen in de golfvelden tot uitdrukking komt. Merk op dat de berekeningen voor 2001 in de periode januari-april te lage concentraties geven. Dit volgt ook uit de Noordwijk 10 data. De berekende concentraties voor de stormperiode november-december zijn wel weer vergelijkbaar met de metingen, ook voor de Smartbuoy-metingen Noordwijk 10 en Noordwijk 2.

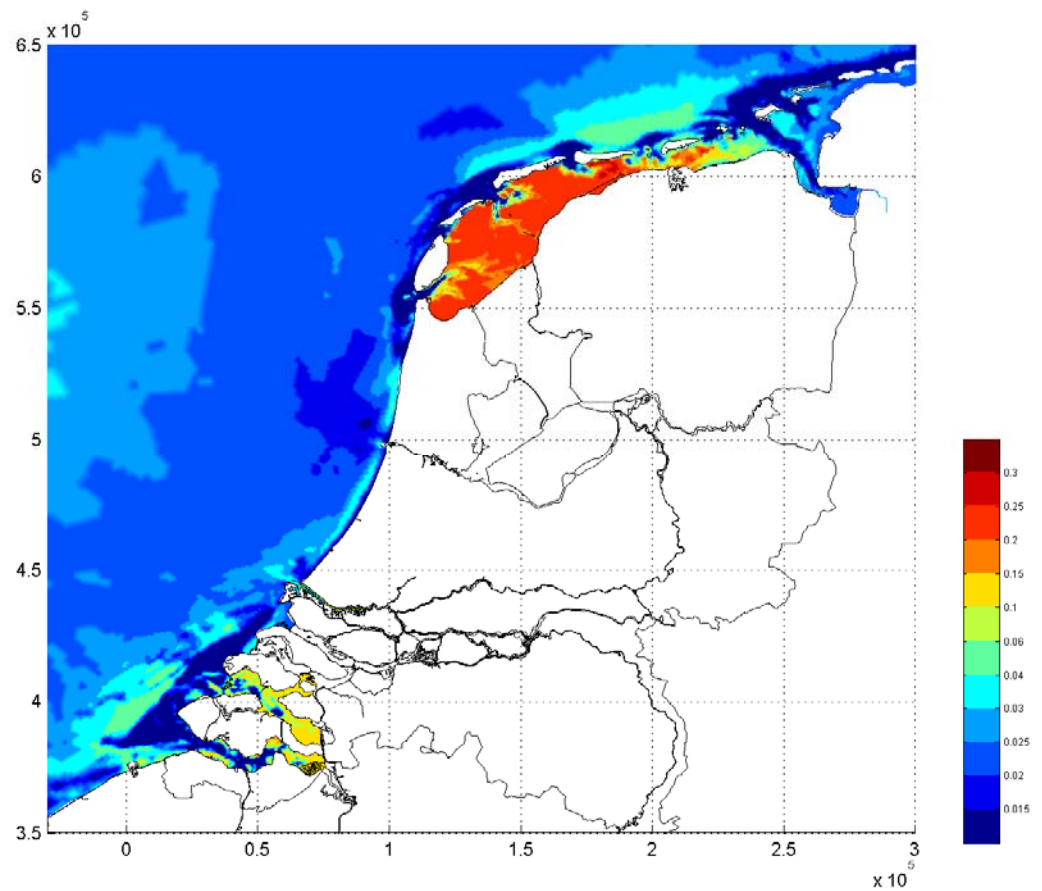
In de satellietbeelden is in de periode januari-februari een verhoogde concentratie pluim op de Noordzee aanwezig. Deze zogenaamde East-Anglia pluim wordt niet gesimuleerd. Naar verwachting wordt deze verhoogde concentratie veroorzaakt door



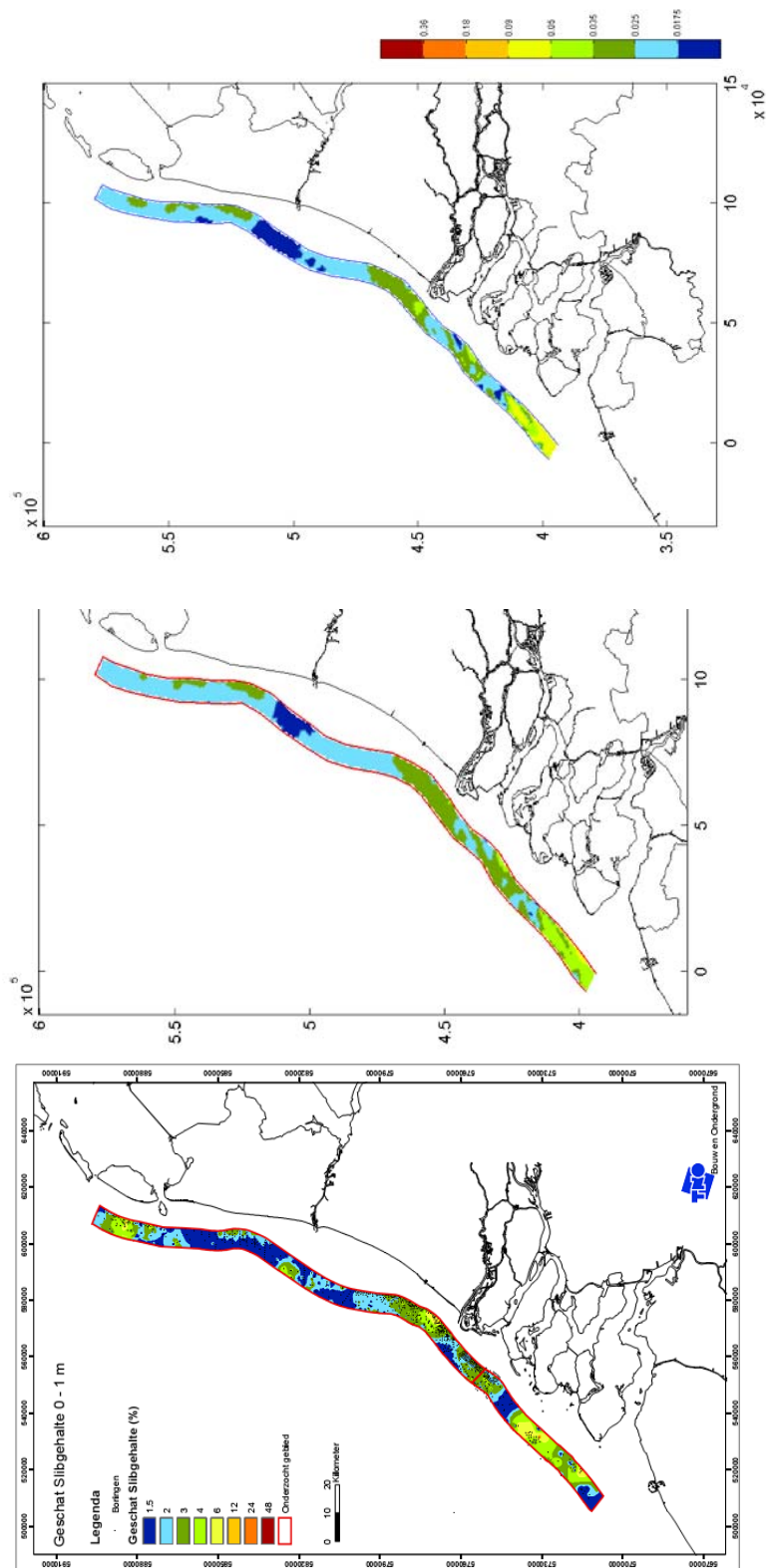
een lokaal hoger slibpercentage in de bodem. Het slib is oorspronkelijk afkomstig van de Engelse kust en is als gevolg van opwoeling door stormen en reststroming naar het noordoosten getransporteerd. Dit proces heeft naar verwachting minimaal tientallen jaren in beslag genomen. Aangezien de East-Anglia pluim buiten het interessegebied valt is er geen extra aandacht besteed aan de modellering van deze 'pluim'. Naar verwachting zou met een lokale verhoging van het slibpercentage in de bodem de East-Anglia pluim goed gesimuleerd kunnen worden.

3.5.4 Slibpercentage bodemlaag 2

Naast een vergelijking op basis van de concentraties wordt ook een vergelijking gemaakt tussen metingen en berekeningen op basis van de slibpercentages in de bodem. In Figuur 3.9 is het berekende slibpercentage voor de Nederlandse kust gegeven na 1 jaar rekenen. In het overgrote deel is het slibpercentage lager dan 2.5%. Voor de Hollandse kust ontstaat een verhoging vanaf ca 2km uit de kust. In het gebied van 0-2km uit de kust zorgen golven voor erosie, waardoor het slibpercentage daar laag is. Ook het ondiepe plateau voor de Zeeuwse kust heeft een laag slibpercentage door de golfwerking. Op de diepere delen, meer zeewaarts, zijn de percentages hoger. Hier hebben de golven minder effect. Dit hogere slibpercentage is overeenkomstig de metingen uit Van Heteren et al. (2006), zie Figuur 3.10. In deze figuur zijn de slibpercentages voor 01-01-2001 en 01-01-2002 gegeven. In het tweede jaar treden geen significante verschillen meer op. Rond de haven van Zeebrugge worden hoge slibpercentages gevonden. Dit is overeenkomstig metingen.

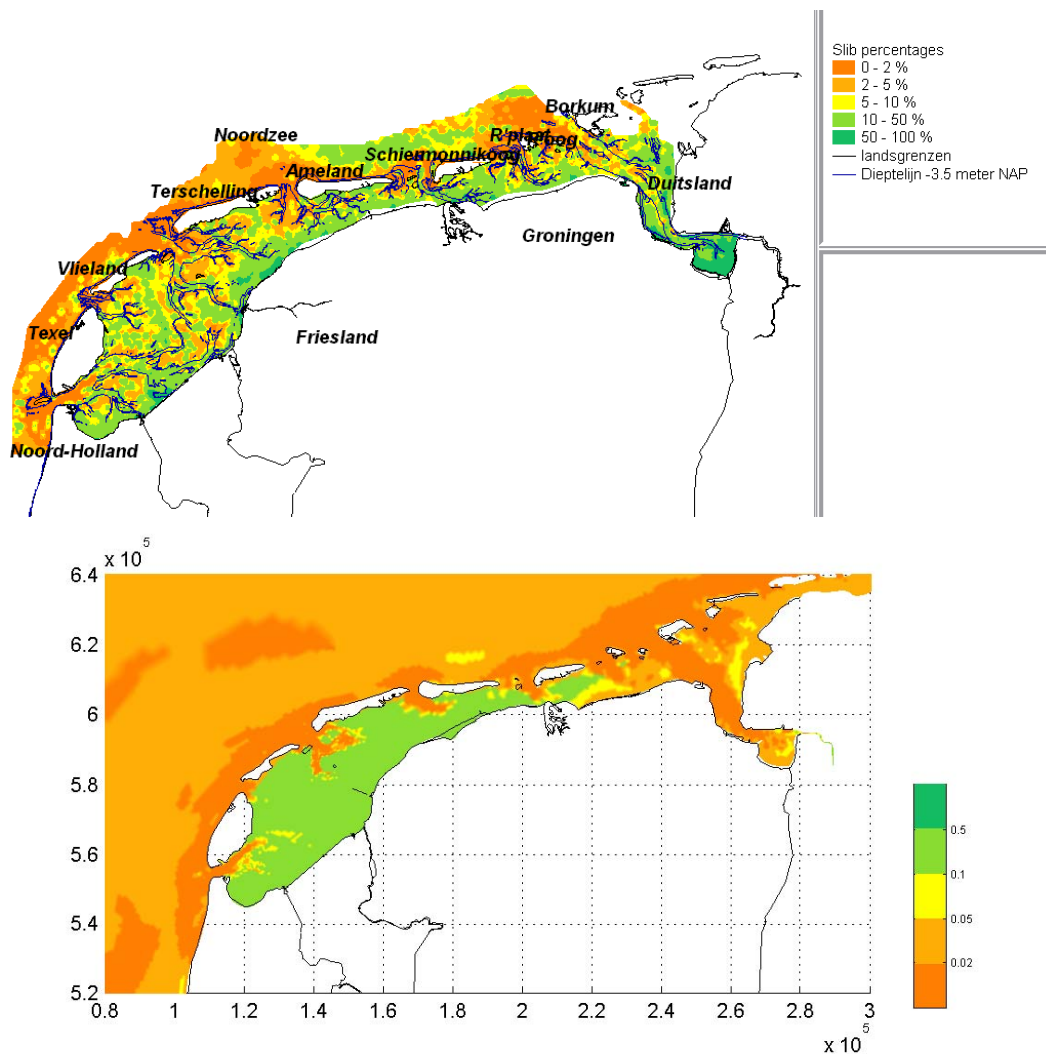


Figuur 3.9: Slibfractie in laag 2 na 1 jaar simuleren (op 01/01/2001), halverwege de calibratieperiode.



Figuur 3.10: a) gemeten bodemslibpercentage (Van Heteren et al. 2006); b) berekende bodemslibpercentage op 01/01/2001; c) berekende bodemslibpercentage op 01/01/2002.

De Waddenzee bevat een hoog percentage slib. In Figuur 3.11 is een vergelijking gemaakt met de metingen uit de sedimentatlas van de Waddenzee (RIKZ 1998). Hieruit blijkt dat de berekende percentages redelijk goed overeenkomen met de metingen. De lagere slibpercentages zijn echter nog niet volledig het geulenstelsel in geopenetreerd. Dit heeft mede te maken met het zeer nauw vertakte geulenstelsel, dat slechts gedeeltelijk in het rekenrooster meegenomen kon worden. De berekende percentages in de Eems Dollard zijn te laag. Dit wordt mogelijk veroorzaakt doordat niet alle Waddeneilanden zijn meegenomen in de SWAN-simulaties. Hierdoor dringen de golven te diep door, waardoor te veel erosie optreedt.



Figuur 3.11: a) gemeten slibfractie in de bodem (RIKZ 1998); b) berekende slibfractie in de Waddenzee.



3.6 Conclusies

In dit hoofdstuk is de calibratie van het slibtransport beschreven. De modellering zoals toegepast in de MER zandwinning MV2 is als uitgangspunt genomen. Vervolgens zijn verbeteringen toegepast in de golfforcering, zijn enkele parameters aangepast en is het initiële slibpercentage in de bodem ruimtelijk gevarieerd in overeenstemming met de meest recente inzichten. Een vergelijking is tenslotte gemaakt met de beschikbare meetgegevens: Smartbuoy-metingen bij Noordwijk, MWTL-data voor de Nederlandse kust en satellietbeelden voor de hele Noordzee.

De temporele trends, zoals volgen uit de metingen, worden goed gereproduceerd. Opvallende tijdschalen zijn de tweemaaldaagse getijcyclus, de doottij-springtij cyclus, de storm *events* en de seizoensfluctuaties. Ook de ruimtelijke variatie wordt goed gerepresenteerd door het model. Voor de Hollandse kust wordt de concentratiegradiënt goed gesimuleerd en de relatief hoge concentraties in de Voordelta en de Waddenzee worden eveneens gereproduceerd. Tenslotte wordt het bodemslibpercentage redelijk goed gesimuleerd.

Geconcludeerd wordt dat het model voldoende goed opgezet en gecalibreerd is om toegepast te worden voor de bepaling van de effecten van zandwinning voor de Nederlandse kust.

4 CALIBRATIE NUTRIËNTEN EN PRIMAIRE PRODUCTIE

4.1 Inleiding

Zoals aangegeven in het inleidende hoofdstuk worden drie modelleerstappen uitgevoerd: hydrodynamica, slibtransport en transport van nutriënten en primaire productie. Alvorens het modelinstrumentarium per stap toe te passen wordt het gecalibreerd en getoetst aan de hand van metingen. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de validatie van het model voor primaire productie en nutriënten dynamiek.

Ten behoeve van de MER suppletie-zandwinning worden een aantal zandwinningsalternatieven vergeleken. Hiervoor zal tevens worden gekeken naar de effecten op de primaire productie en nutriënten dynamiek in ruimte en tijd. Deze analyse wordt uitgevoerd met behulp van het GEM model, de de-facto standaard voor dergelijke analyses voor het Nederlandse deel van de Noordzee (zie Bijlage B voor een beschrijving van het model). GEM is eerder ingezet bij onderzoek naar de consequenties van een vliegveld in zee (Flyland), de aanleg van de tweede Maasvlakte inclusief de effecten van zandwinning, de aanleg van het doorlaatmiddel Katseheul in het Veerse Meer, de ontwikkeling van het Volkerak Zoommeer bij een zoute oplossing, de voorspelling van algenbloei in de Nederlandse kustwateren in het voorjaar, de streefbeeld van de kust- en overgangswateren, die onder de Kaderrichtlijn Water vallen, de wetenschappelijke ondersteuning van de Nederlandse vertegenwoordigers in het overleg tussen de Noordzee staten betreffende het internationale Noordzee beleid (de zogeheten Oslo - Paris Convention: OSPAR) en de ontwikkeling van de Mariene Strategie.

De toepassing van GEM ten behoeve van deze MER is gebaseerd op toepassing ten behoeve van de MER Maasvlakte 2 (zie volgende paragraaf). Voor wat betreft de keuze van de processen en de modelparameters is exact hetzelfde model gebruikt. De resultaten kunnen dan ook als een validatie worden beschouwd.

In paragraaf 4.2 wordt ingegaan op de model opzet. In paragraaf 4.3 de resultaten gepresenteerd en vergeleken met de MWTL-data. In paragraaf 4.4 worden de resultaten bediscussieerd. Het hoofdstuk wordt afgesloten met conclusies in paragraaf 4.5.

4.2 Model opzet

In de volgende paragrafen beschrijven we heel in het kort de definitie van de randvoorwaarden en forceringen van GEM. Voor een uitgebreide beschrijving van het model wordt verwezen naar Bijlage B.

4.2.1 Fysische schematisatie

De koppeling met Finel behelst twee stappen: (1) het massabehoudend importeren van de stromingscondities en (2) conversie van de schematisatie. Punt 1 is opgelost door een speciale naverwerking van Finel te ontwikkelen, waarbij bestanden worden weggeschreven in hetzelfde formaat als dat van Delft3D-Flow. Deze activiteit is uitgevoerd door Svasek. Controle op het oorspronkelijke grid heeft aangetoond dat deze koppeling correct is uitgevoerd en met voldoende nauwkeurigheid massabehoudend is. Een punt van verschil is wel dat de Delft3D-Flow simulaties in 3D mode zijn uitgevoerd



terwijl Finel een 2D model is. De GEM-modellering in de MER Maasvlakte 2 is echter ook in 2D-mode uitgevoerd.

Punt 2 heeft te maken met het grote aantal rekenelementen in Finel. Uit vergelijking van fijne en grove grids in het kader van Flyland en de MER Maasvlakte is gebleken dat het zogenaamde Zuno-grof model voldoende ruimtelijke resolutie biedt om de processen op het gebied van primaire productie met voldoende nauwkeurigheid te beschrijven.

Daarom is er in het kader van dit project voor gekozen de resultaten van Finel te aggregeren tot een rooster, dat identiek is aan Zuno-grof. Bijkomend voordeel van deze werkwijze is dat een groot deel van de modelinvoer rechtstreeks kan worden overgenomen uit de Maasvlaktestudie en dat een onderlinge vergelijking van resultaten mogelijk is.

Door middel van vergelijking van het saliniteitspatroon zoals dat wordt berekend op het oorspronkelijke en op het geaggregeerde grid is aangetoond, dat de stofverspreiding niet wezenlijk wordt beïnvloed door de aggregatie.

4.2.2 Horizontale dispersie

Om goede stofverspreidingspatronen te verkrijgen in modellen, gebaseerd op een 2D hydrodynamisch model is meestal een vrij grote horizontale dispersie coëfficiënt nodig van ca. $100 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$. Deze waarde is hier gebruikt, maar door middel van gevoeligheidsonderzoek is tevens bekeken hoe de resultaten eruit zien bij andere waarden van de horizontale dispersie in de range van 10 tot $250 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$.

4.2.3 Simulatiejaar

Voor de validatie berekening van GEM is het jaar 2000 gekozen omdat de slibberekeningen hiervoor zijn uitgevoerd. Een groot deel van de modelforcering is jaarspecifiek en hiervoor is dus het jaar 2000 gekozen. Alleen de concentraties op de open randen worden verondersteld elk jaar hetzelfde te zijn (maar de debieten verschillen wel; deze komen uit de hydrodynamische berekening).

4.2.4 Slib

De forcering van anorganisch zwevend stof ("slib") is overgenomen uit de basisberekeningen met Finel. Net als de hydrodynamische berekeningsresultaten zijn ook de SPM resultaten van Finel getransformeerd naar het Zuno-grof grid.

4.2.5 Open randen

De Kanaalrand is dezelfde als gebruikt tijdens alle recente voorgaande studies. De Noord Atlantische rand is ontleend aan Blauw et al. (2006). Deze verschilt enigszins van de rand gebruikt tijdens de MER Maasvlakte. Het effect van deze verandering is alleen merkbaar in het noordelijk deel van het model, maar onzichtbaar in de Nederlandse kustzone.

4.2.6 Rivierranden

Anders dan in Delft3D-Flow zijn in Finel de rivieren als randen, niet als lozingen gedefinieerd. Dit levert een technisch aansluitingsprobleem op voor de bestaande

bestanden met riviervrachten. Dit is opgelost door in het GEM model op de plek van elke rivier een rand te definiëren, waarop alle concentraties van stoffen gelijk 0 zijn (er stroomt alleen water over de rand) en waarop tevens een lozing van een vaste stof plaats vindt (er komt alleen droge stof binnen, geen water). Per saldo wordt hiermee de juist instroming van water en opgeloste stoffen bereikt.

De riviervrachten zijn overgenomen uit Blauw et al. (2006). Voor wat betreft de Nederlandse rivieren verschillen deze nauwelijks van de vrachten zoals gebruikt tijdens de MER Maasvlakte studie.

4.2.7 Meteorologische condities

Voor de instraling en windsnelheid zijn gegevens van het KNMI gebruikt voor 2000. De watertemperatuur is overgenomen uit de Donar metingen op de locatie Noordwijk 10. Bij de MER Maasvlakte is hetzelfde gedaan.

4.2.8 Initiële condities

De initiële condities van het model zijn bepaald door het model te draaien met de rivierbelastingen en meteorologische forcering van het jaar 1999. In deze berekening zijn overigens de waterbeweging en berekende slibconcentraties van de 2000 simulatie gebruikt omdat geen resultaten voor 1999 beschikbaar zijn.

4.3 Resultaten

Om de bruikbaarheid van de modelresultaten te toetsen zijn de resultaten voor een aantal stoffen gegeven in Bijlage C:

Figuur C.1: saliniteit

Figuur C.2: SPM

Figuur C.3: NO_3

Figuur C.4: PO_4

Figuur C.5: SiO_2

Figuur C.6: chlorofyl

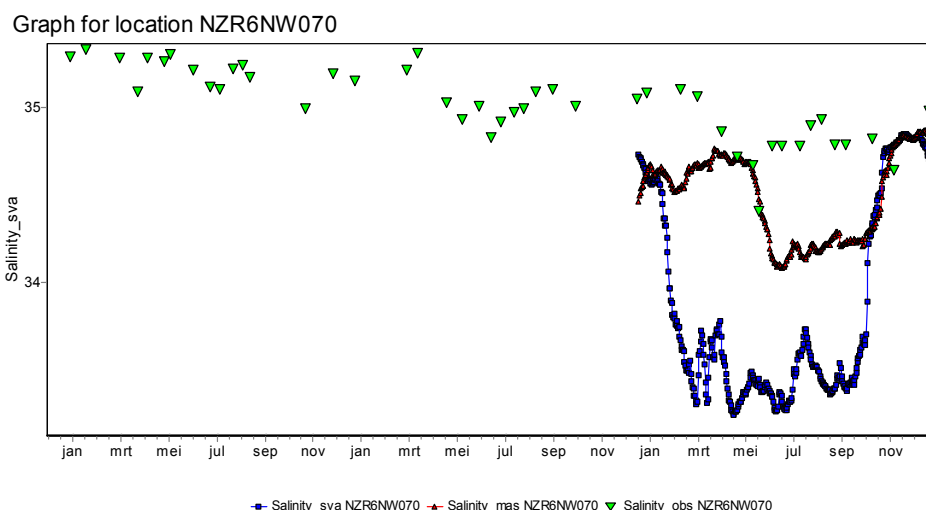
Een vergelijking wordt gemaakt met de MWTL-metingen voor het jaar 2000 op een aantal stations (Walcheren 2, Schouwen 10, Terschelling 4, het Marsdiep, Noordwijk 2, 10, 20 en 70). Een overzicht van de locaties en codering staat in de volgende tabel.

Stationsnaam	Stationscode in figuur
Walcheren 2km	NZR2WC002
Schouwen 10km	NZR3SW010
Terschelling 4km	NZR9TS004
Marsdiep	WZ30 Marsdiep
Noordwijk 2km	NZR6NW002
Noordwijk 10km	NZR6NW010
Noordwijk 20km	NZR6NW020
Noordwijk 70km	NZR6NW070

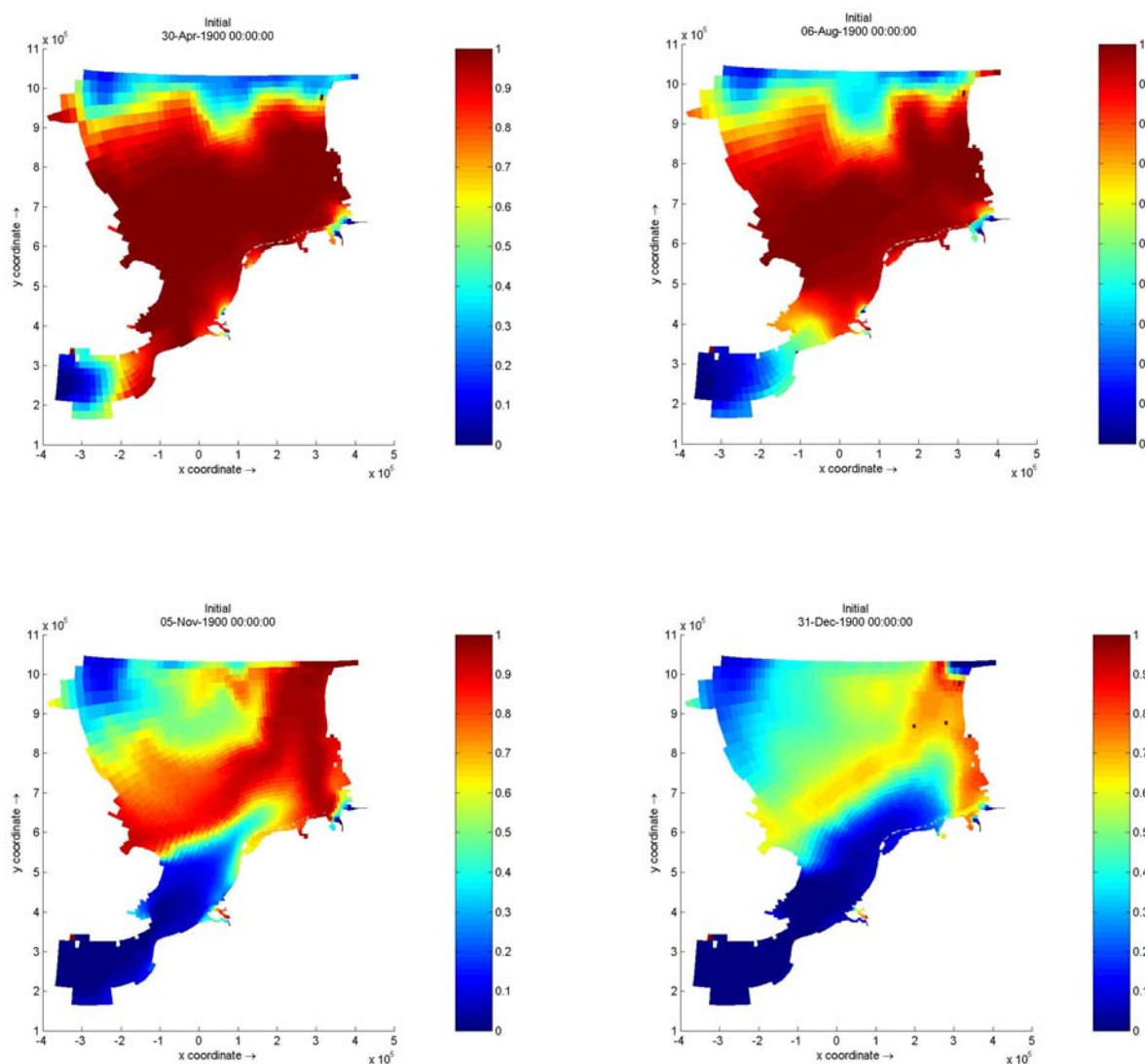
Bovendien zijn de jaargemiddelde waarden voor de primaire productie en chlorofyl gegeven in Figuur C.7.

4.4 Discussie

De resultaten zijn op twee manieren beoordeeld: (1) in absolute zin ten opzichte van de metingen en (2) ten opzichte van de resultaten ten behoeve van de MER Maasvlakte. In vergelijking tot de metingen kunnen de resultaten in de Nederlandse kustzone over het algemeen als “adequaat” worden beoordeeld. Dat wil zeggen dat model en metingen gelet op de doelstelling van het onderzoek in voldoende mate met elkaar overeenstemmen. Uit een vergelijking met de Maasvlakte resultaten (niet getoond) blijkt dat de berekeningsresultaten van het hier gebruikte instrumentarium een vergelijkbare nauwkeurigheid hebben. Er zijn wel onderlinge verschillen, maar deze zijn niet significant en ook niet systematisch in het voordeel van een van beide instrumentaria. Op het meer offshore gelegen stations zoals Noordwijk 70km (hier als enige getoond) zijn de resultaten matig tot slecht. De saliniteit vertoont een duidelijke afwijking ten opzichte van de metingen (het water is gemiddeld te zoet; de seizoensdynamiek is te sterk) en bijgevolg zijn de nutriënten gehaltes te hoog en is ook de chlorofyl concentratie te hoog (ongeveer een factor 2). Vergelijking met het Maasvlakte instrumentarium (Figuur 4.1) toont aan dat de saliniteit (en het winter niveau van de nutriënten) ook in dit instrumentarium enigszins afwijken van de metingen, maar de overeenstemming met de metingen is toch beter.



Figuur 4.1: Tijdserie van de saliniteit bij Noordwijk 70 km. Blauw : model resultaat op basis van Finel hydrodynamica in 2000 ; Rood : model resultaat in het Maasvlakte project in 2000 op basis van Delft3D-Flow hydrodynamica ; Groen : observaties in 1998-1999-2000.



Figuur 4.2: Concentratie initieel water op vier verschillende momenten van het jaar zoals berekend voor de Finel hydrodynamica in het jaar 2000. Voor meer details, zie de tekst.

Om vast te kunnen stellen hoe deze afwijking tot stand komt is een zogenaamde herkomstberekening van het water uitgevoerd. Hierbij wordt aan het water initieel een arbitraire concentratie 1.0 toegekend ("initieel water") en vervolgens wordt gekeken hoe snel dit water wordt verdrongen vanuit de verschillende randen (open randen en rivieren). Door iedere instroming apart te labelen kan de bijdrage van iedere individuele bron op iedere locatie en op elk tijdstip worden gevolgd. Uit Figuur 4.2 blijkt dat de afwijking bij Noordwijk 70 (en andere offshore stations) wordt veroorzaakt door een te lage aanvoer van zout Kanaal water in bepaalde periodes van het jaar (met name de zomermaanden). Eind april is het Kanaalwater nog niet doorgedrongen tot de Belgische kust, de bijdrage in het Nederlandse kustwater is zelfs nog gering in de maand augustus. Doordat de afvoer van zoet water op een normaal niveau ligt, daalt de saliniteit, wordt de Rijnpluim onvoldoende snel naar het noorden getransporteerd en verspreidt deze zich te ver naar het westen (Figuur 4.2). Pas vanaf oktober, maar met



name in november en december is de aanvoer van Kanaalwater zo sterk dat de saliniteit van de offshore locaties snel toeneemt tot op het niveau van de metingen. Variatie van de dispersiecoëfficiënt over een ruime bandbreedte heeft wel enig effect, maar de offshore locaties voor de Nederlandse kust blijven ongeacht de gebruikte horizontale dispersie te zoet in de zomer.

4.5 Conclusie

Ter verificatie van het GEM model in combinatie met Finel is het model zonder enige wijziging in proceskeuze of parameterinstelling vergeleken de MER Maasvlakte toegepast voor het jaar 2000. In de nabije kustzone (tot ca. 30km offshore) is de overeenkomst tussen metingen en berekeningen adequaat. Op verder offshore gelegen stations zoals Noordwijk 70km is het modelgedrag minder goed, hetgeen uiteindelijk leidt tot een overvoorspelling van berekend chlorofyl met een factor 2. Omdat de effecten van zandwinning zich vrijwel uitsluitend zullen manifesteren in de nabije kustzone is de belangrijkste algemene conclusie dat GEM gekoppeld aan Finel ingezet mag worden ten behoeve van de scenariosimulaties van de onderhavige MER.

5 SCENARIOSTUDIES SLIB

5.1 Inleiding

Ten behoeve van kustverdediging zal voor de periode 2008-2012 op verschillende locaties langs de Nederlandse kust zand gewonnen worden. Hiertoe zijn verschillende zandwingebieden geselecteerd om de vaarafstand tot de stortlocatie te minimaliseren. Een uitgebreide beschrijving van de verschillende zandwingebieden is gegeven in het hoofdrapport. De winningen zullen niet continue over de genoemde periode 2008-2012 plaatsvinden. Er zal variatie in de tijd optreden. Er dient bepaald te worden wat het effect is van deze variatie in de tijd. Naast de voorkeurslocaties zijn er voor verschillende zandwingebieden alternatieve locaties gedefinieerd, zie eveneens het hoofdrapport. Het is daarmee van belang te bepalen wat de verschillen zijn tussen de voorkeurslocaties en de alternatieve locaties.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de effecten van de zandwinning op de slibconcentratie. In Hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de effecten op het doorzicht, nutriëntenconcentraties en primaire productie.

Dit hoofdstuk is als volgt opgebouwd. In Paragraaf 5.2 worden de aannames samengevat. In Paragraaf 5.3 wordt ingegaan op de bandbreedte die in acht genomen moet worden bij de modellering van de slibconcentraties. De verschillende scenario's worden beschreven in Paragraaf 5.4. De resulterende slibconcentraties worden gepresenteerd in Paragraaf 5.5. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een samenvatting en conclusies in Paragraaf 5.6.

5.2 Aannames

Voor de simulatie van de zandwinning is een aantal aannames gedaan:

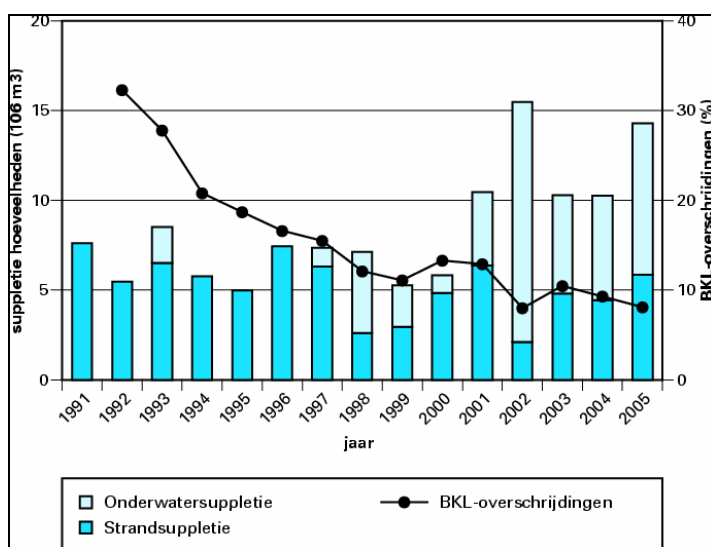
De variatie over de jaren in forcering (hydrodynamica en golven) wordt niet meegenomen. Deze keuze is gemaakt om een zuivere vergelijking te kunnen maken tussen de verschillende winjaren. Als de variatie over de jaren wel meegenomen zou worden, dan is het niet meer mogelijk de effecten van de variatie in winhoeveelheden per jaar te onderscheiden. Als referentiejaar is het jaar 2000 genomen. Dit jaar is iets bovengemiddeld stormachtig. In de bandbreedtebepaling wordt een correctie voor deze aanname opgenomen.

De zandwinning vindt per jaar continue plaats. Er wordt geen onderscheid gemaakt in een mogelijke verdeling over het jaar. Deze aanname leidt alleen tot afwijkingen in de directe omgeving (getij ellips) rondom de zandwininput. In de verder weg gelegen gebieden wordt de slibconcentratie bepaald door slib dat al eens gesedimenteerd is geweest. Het is dan niet meer van belang wanneer het in de bodem is gekomen.

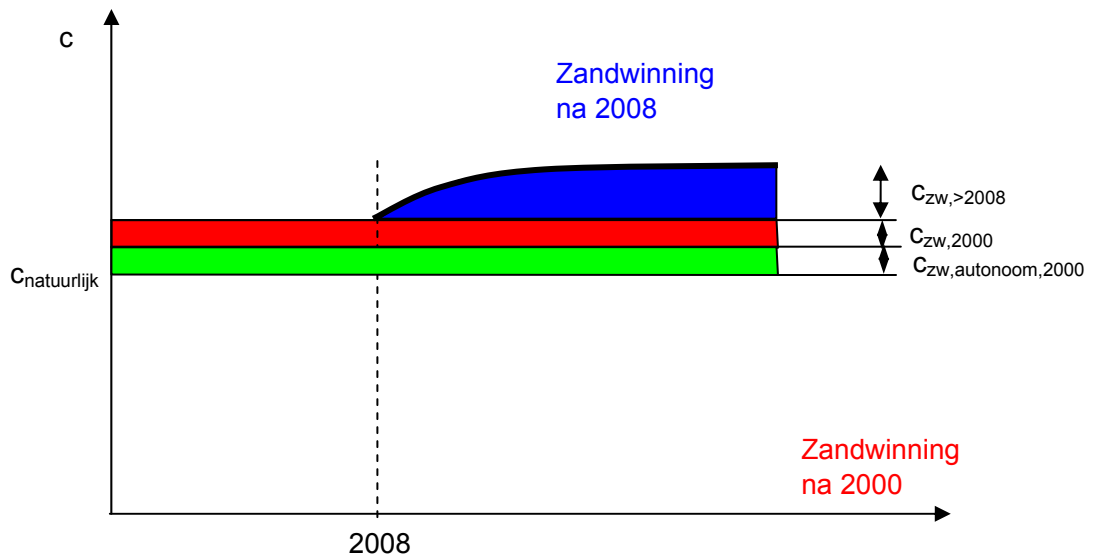
Al het slib dat in de gebaggerde hoeveelheid zit komt tijdens de winning in de waterkolom door overvloed. Dit is een conservatieve aanname voor de hoeveelheid slib. Een deel van het slib zal in het beun achterblijven. Bovendien zal een deel van het slib direct in het near field bezinken. Dit wordt veroorzaakt doordat de overvloedpluim sterk dichtheidsgedreven is, mede doordat de grovere fractie een hoge valsnelheid heeft. Hierdoor wordt de fijne slibfractie meegezogen en kan deze afgedekt worden door de

grovere zandfractie. Dit direct gesedimenteerde slib kan tijdens stormen wel weer eroderen. De direct sedimentatie in het near field leidt daarmee tot een minder snelle verspreiding van het slib. Deze aanname kan daarmee gezien worden als een bovengrens benadering.

Voor de modellering van de effecten van de zandwinning wordt gebruik gemaakt van een modeljaar, te weten jaar 2000. Het slibtransportmodel (FINEL) is zo afgeregeld dat de achtergrondslibconcentratie in het water zo goed mogelijk overeenkomt met de metingen in dit jaar. De metingen zijn echter beïnvloed door de effecten van de zandwinning in dat jaar (2000) en voorgaande jaren. De effecten van de winning in 2000 worden daarmee impliciet meegenomen. De suppletiezandwinning bedroeg ca 6Mm^3 . De gemiddelde winning voor de planperiode 2008-2012 is ca $30\text{Mm}^3/\text{jaar}$, oftewel vijf maal hoger dan in 2000. Voor een zuivere analyse zou het effect van de winning van 2000 van het gemeten signaal afgetrokken moeten worden. Het effect is echter niet goed bekend. Daarom wordt de daadwerkelijke achtergrondwaarde inclusief de zandwinning in 2000 als achtergrondconcentratie aangenomen. De achtergrondconcentratie is daarmee overschat. Dit houdt in dat de cumulatieve effecten overschat worden met de concentratie als gevolg van de winning van 2000 (ca $6/30 \times 100\% = 20\%$ van de effecten van de geplande zandwinning van $30\text{Mm}^3/\text{jaar}$). De relatieve effecten worden enigszins onderschat, vanwege de te hoge achtergrondconcentratie. Deze onderschatting is van een tweede orde (hooguit enkele tienden van een procent). Een en ander is nader toegelicht in Figuur 5.2.



Figuur 5.1: Suppletiehoeveelheden in vanaf 1991 (uit www.rijksbegroting.minfin.nl).



Zuivere bepaling concentratie

$$c_{natuurlijk,>2008} = c_{natuurlijk}$$

$$c_{totaal,>2008} = c_{natuurlijk} + c_{zw,>2008} + c_{autonoom,>2008}$$

$$c_{zw,>2008} \approx c_{autonoom,>2008} \approx 0.05c_{natuurlijk}$$

$$r_{zw} = \frac{c_{zw,>2008}}{c_{natuurlijk}} \approx \frac{0.05c_{natuurlijk}}{1c_{natuurlijk}} = 0.05$$

$$r_{zw+autonoom} = \frac{c_{zw,>2008} + c_{autonoom,>2008}}{c_{natuurlijk}} \approx \frac{(0.05 + 0.05)c_{natuurlijk}}{1c_{natuurlijk}} = 0.1$$

Bepaling concentratie met 'bevuilding' door winning in 2000

$$c_{natuurlijk,>2008} = c_{natuurlijk} + c_{zw,2000} + c_{autonoom,2000}$$

$$c_{totaal,>2008} = c_{natuurlijk} + c_{zw,2000} + c_{zw,>2008} + c_{autonoom,2000} + c_{autonoom,>2008}$$

$$c_{zw,>2008} \approx \frac{6}{30} 0.05c_{natuurlijk} = 0.01c_{natuurlijk} \quad c_{autonoom,>2008} \approx 0.05c_{natuurlijk}$$

$$r_{zw} = \frac{c_{zw,>2008}}{c_{natuurlijk} + c_{zw,2000} + c_{autonoom,2000}} \approx \frac{0.05c_{natuurlijk}}{(1 + 0.01 + 0.05)c_{natuurlijk}} = 0.047$$

$$r_{zw+autonoom} = \frac{c_{zw,>2008} + c_{autonoom,>2008}}{c_{natuurlijk} + c_{zw,2000} + c_{autonoom,2000}} \approx \frac{(0.05 + 0.05)c_{natuurlijk}}{(1 + 0.01 + 0.05)c_{natuurlijk}} = 0.094$$

Figuur 5.2: Toelichting effect van de zandwinning uit 2000 op de bepaling van de absolute en relatieve concentraties.

5.3 Bandbreedtebepaling

5.3.1 Inleiding

De modellering van de slibconcentratie is (sterk) in ontwikkeling. Zoals aangegeven in Hoofdstuk 3 is een grote stap voorwaarts gemaakt in de modellering van de waterbodemuittwisseling in de MER Maasvlakte 2. Het modelconcept en de benodigde invoer is echter nog onderhevig aan onzekerheden. De voorspelkracht is onder andere afhankelijk van het gebruikte modelconcept met de bijbehorende parameters, forcering en initiële condities. Om deze onzekerheid als bandbreedte mee te nemen worden de verschillende bronnen van onzekerheid opgesplitst. De drie belangrijkste bronnen van onzekerheid zijn:

- 1 Modelconcept en bijbehorende parameterset
- 2 Forcering (waterbeweging en golven)
- 3 Slibpercentage van het gewonnen zand

Elk van deze onzekerheden geeft een bandbreedte. In het geval van meerdere bronnen van onzekerheden wordt de onzekerheidsverdeling gedefinieerd door de standaardafwijking op te bouwen uit de kwadratische optelling van de afzonderlijke onzekerheden:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2}$$

Een gedetailleerde bepaling van de afzonderlijke onzekerheden is op basis van de huidige kennis/metingen niet mogelijk. De bepaling van de doorwerking van de parameters zou bijvoorbeeld een Monte Carlo benadering vereisen. Dit is gezien de tijdsduur en de state-of-art op dit gebied niet haalbaar. Er wordt daarom een schatting gemaakt van de standaardafwijking op basis van expert judgement.

Als de standaarddeviaties voor de afzonderlijke processen kwadratisch gesommeerd zijn, dient de onzekerheidsmarge bepaald te worden. Als realistische bovengrens wordt het gemiddelde plus één maal de standaardafwijking gebruikt:

$$c_{\text{bovengrens}} = (1 + \sigma) c_{\text{FINEL}}$$

Hiermee is de kans op overschrijden 16%, uitgaande van een Gauss-verdeling. Oftewel, de kans dat de concentratie onder de bovengrens blijft is 84%.

5.3.2 Onzekerheid in modelconcept en parameterset

Een bron van onzekerheid is het modelconcept voor de slibmodellering en de bijbehorende parameterinstelling. Hoewel er een goede overeenkomst is gevonden voor de variatie in de ruimte en de tijd op basis van de autonome situatie, bestaat er nog onzekerheid over de processen die op de lange termijn (jaren/decennia) spelen. De verblijftijd van het slib in de bodem in de diverse deelgebieden heeft door de vernieuwde instellingen een halfwaarde tijd van 4 tot 8 jaar. Deze periode is relatief groot ten opzichte van de schattingen van Laane et al. (1999). In Bijlage F wordt nader ingegaan op de verblijftijd en de vergelijking met het modelinstrumentarium, zoals gebruikt in MER MV2. De effecten van de zandwinning zullen in de simulaties daarmee wat lagere piekwaarden geven, maar over een langere periode uitgesmeerd worden. Het modelconcept is nog sterk empirisch. Zo is een constante laagdikte gebruikt voor laag 1

en laag 2. In werkelijkheid neemt de dynamische laag waarschijnlijk toe in de kustzone, waar golven de bodem dieper zullen opwoelen. Voor de calibratie is uitgegaan van parameters die uniform zijn voor het gehele gebied. Ook in de Waddenzee en Voordelta, waar hogere slibpercentages voorkomen, zouden lokale processen mogelijk tot andere parameterwaarden leiden. Ook biogeochemische processen zouden lokaal tot andere parameters of zelfs tot een ander modelconcept kunnen leiden.

Gezien bovenstaande onzekerheden wordt een relatief hoge standaardafwijking voorgesteld van 100% van de gemiddelde waarde: $\sigma = 1$.

5.3.3 Onzekerheid in forcering

Het model wordt geforceerd door de waterbeweging en de golven. Voor de waterbeweging is gebruik gemaakt van een dieptegeïntegreerd stromingsmodel. Calibratie is uitgevoerd op basis van de waterstanden, snelheden en restdebieten. Deze restdebieten zijn echter lastig te meten en bovendien sterk variabel over de jaren heen. De variabiliteit hangt samen met het optreden van stormen. Zo is het restdebet door het Kanaal voor ca 40% afhankelijk van de wind. Vanwege de dichtheidseffecten als gevolg van instromend zoet water kunnen driedimensionale stromingen ontstaan die niet door een tweedimensionaal model worden gerepresenteerd. Hoewel een correctieterm is toegepast, extra advection richting de kust, zouden complexe driedimensionale stroming, zoals *tidal straining*, tot verschil in uitkomsten kunnen leiden.

In de forcering is gebruik gemaakt van het jaar 2000. De jaarlijkse reststroming is daarmee gelijk voor alle jaren. In werkelijkheid zal variatie over de jaren optreden. Deze variatie heeft ook effect op de golfforcering. In werkelijkheid zal daarmee de jaarlijkse buffering in de bodem van jaar tot jaar verschillen. Aangezien 2000 bovengemiddeld stormachtig is zal de bufferwerking, als gevolg van het voorkomen van stormen, enigszins onderschat zijn.

Gezien bovenstaande onzekerheden wordt een standaardafwijking voorgesteld van 50% van de gemiddelde waarde: $\sigma = 0.5$.

5.3.4 Onzekerheid in bodemslibpercentage

Het bodemslibpercentage is bepaald op basis van metingen, zie Van Heteren et al. (2006). Gezien de ruimtelijke variabiliteit en de onnauwkeurigheid in de meetmethode wordt een onzekerheid van 30% aangenomen. Het effect van een variatie in het bodemslibpercentage van het gewonnen zand schaalte lineair door in de slibconcentratie in het water. Daarmee wordt $\sigma = 0.3$ aangenomen.

5.3.5 Onzekerheid in winhoeveelheid

De zandwinning bestaat uit een deel voor de reguliere zandwinning en een deel voor de winning ten behoeve van de zwakke schakels. In de scenariostudies is een scenario opgenomen waarin de winning met 20% is verhoogd. De onzekerheid in winhoeveelheid wordt daarmee niet meegenomen in de onzekerheidsfactor.



5.3.6 Totale onzekerheid

Kwadratische optelling van de onzekerheden geeft de volgende standaardafwijking:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2} = \sqrt{0.5^2 + 1^2 + 0.3^2} = 1.2$$

Voor bepaling van het 84% betrouwbaarheidsinterval wordt de vermenigvuldigingsfactor

$$f=1.15+1=2.2$$

Voor de bepaling van de effecten van de zandwinning wordt in dit hoofdstuk uitgegaan van de bovengrensbenadering. De additionele concentraties als gevolg van suppletiezandwinning en als gevolg van de autonome winning worden met de factor 2.2 vermenigvuldigd. De achtergrond waarde wordt niet vermenigvuldigd.

5.4 Scenariodefinities

Voor de winning van suppletiezand zijn verschillende zandwinscenario's mogelijk. In deze paragraaf worden verschillende scenario's gedefinieerd. Naast de zandwinscenario's treedt ook slibtransport op als gevolg van de natuurlijke aanwezigheid van slib (natuurlijk slib) en als gevolg van zandwinning door overige partijen (autonome ontwikkeling). Voor de bepaling van de totale slibconcentratie worden de volgende bronnen meegenomen:

$$C_{\text{totaal}} = C_{\text{natuurlijk slib}} + C_{\text{autonoom}} + C_{\text{zandwinning}}$$

De laatste bron is de slibconcentratie als gevolg van winning van suppletiezand. Superpositie is mogelijk dankzij de lineaire schaalbaarheid van de vergelijkingen, zie Paragraaf 3.3.

In het hoofdrapport (Hoofdstuk 4) wordt uitgebreid ingegaan op de ligging van de zoekgebieden voor de voorgenomen suppletielocaties en mogelijke alternatieven. In deze paragraaf worden op basis hiervan verschillende alternatieve winscenario's gedefinieerd.

Natuurlijk slib

Voor het natuurlijk slibgehalte (achtergrondslib) wordt uitgegaan van de opgetreden concentraties in 2000. De opgetreden concentraties zijn het gevolg van het slib dat opgewoeld wordt van de bodem. In deze concentraties worden ook de concentraties als gevolg van de destijds uitgevoerde bagger- en stortactiviteiten impliciet meegenomen. Het is op basis van de metingen niet mogelijk deze concentraties van het totaal af te trekken. Daarmee is de natuurlijke slibconcentratie een overschatting van de te verwachten natuurlijke slibconcentratie in de zandwinperiode, zie Paragraaf 5.2.

De simulatie van de natuurlijke slibconcentratie is reeds uitgebreid beschreven in Hoofdstuk 3.

Autonome ontwikkeling

Naast de geplande zandwinactiviteiten ten behoeve van suppleties zijn andere zandwinactiviteiten gepland:

1. Maasvlakte 2
2. Westerschelde Container Terminal
3. zandwinning tbv ophoogzand

Voor de Maasvlakte wordt uitgegaan van een totale winning van 300Mm^3 over de periode 2008-2009. Voor de winning van WCT wordt een totale hoeveelheid van 23Mm^3 gewonnen over de periode 2009-2010. Voor de zandwinning tbv ophoogzand wordt uitgegaan van een continue winning van $29\text{Mm}^3/\text{jaar}$. Deze winhoeveelheden zijn inclusief een overvloeiverlies van 15%. Om de onzekerheden omtrent de modellering mee te nemen worden ook voor de autonome ontwikkeling de concentraties met de factor 2.2 vermenigvuldigd, zie Paragraaf 5.3.

Scenario kustwaarts (voornemen)

In dit scenario voor de winning van suppletiezand wordt zo dicht mogelijk bij de kust gewonnen tot een diepte van 2m, zie Bijlage D voor de ligging van de wingebieden. Uit testsimulaties (niet getoond) is gebleken dat een winning tot 6m diepte minimale verschillen gaf met de resultaten van de winning tot 2m diep. Daarom zijn geen verdere simulaties uitgevoerd voor de 6m diepe winning. De winning is opgesplitst in een reguliere winning en de winning voor de zwakke schakels. Voor de fasering is de tabel van 28 juni 2007 aangehouden, zie Bijlage E. Deze tabel komt grotendeels overeen met de tabel zoals opgenomen in de Startnotitie. De totale winhoeveelheden zijn met 15% verhoogd om de overvloeiverliezen in rekening te brengen. Om de onzekerheden omtrent de modellering mee te nemen worden de concentraties met de factor 2.2 vermenigvuldigd, zie paragraaf 5.3.

Dit scenario is representatief voor het voorgenomen scenario.

Scenario zeewaarts

Dit scenario komt grotendeels overeen met Scenario kustwaarts. Voor enkele wingebieden wordt echter een zeewaarts alternatief gekozen. Zie Bijlage D voor de ligging van de wingebieden. Uit wintechisch en economisch oogpunt liggen de voorgenomen wingebieden (Scenario kustwaarts) dicht tegen de kust. Om maximaal inzicht te kunnen geven in de gevolgen van zandwinning op de natuur is ervoor gekozen om voor wingebieden die relatief dichtbij vogel- en habitatrictlijngebieden liggen alternatieven te onderzoeken die zo ver mogelijk van deze gebieden afliggen. Dus zo dicht mogelijk tegen de 12-mijlszone aan. Dit met de verwachting dat wingebieden die zo ver mogelijk uit de kust zijn gelegen, de minste impact zullen hebben op het milieu. Om het effect uit te vergroten is voor de autonome ontwikkeling voor de winningen tbv ophoogzand ook, waar deze gedefinieerd zijn, gekozen voor de zeewaartse locaties, zie zie Bijlage E.

Scenario fasering zs (zwakke schakels)

In dit scenario is de winning van de zwakke schakels verplaatst naar de laatste twee jaar (2011 en 2012). Verder is Scenario fasering zs gelijk aan Scenario kustwaarts. Hiermee vallen de zwakke schakels winningen niet meer gelijk met de Maasvlakte 2 winning.

Scenario 20% extra

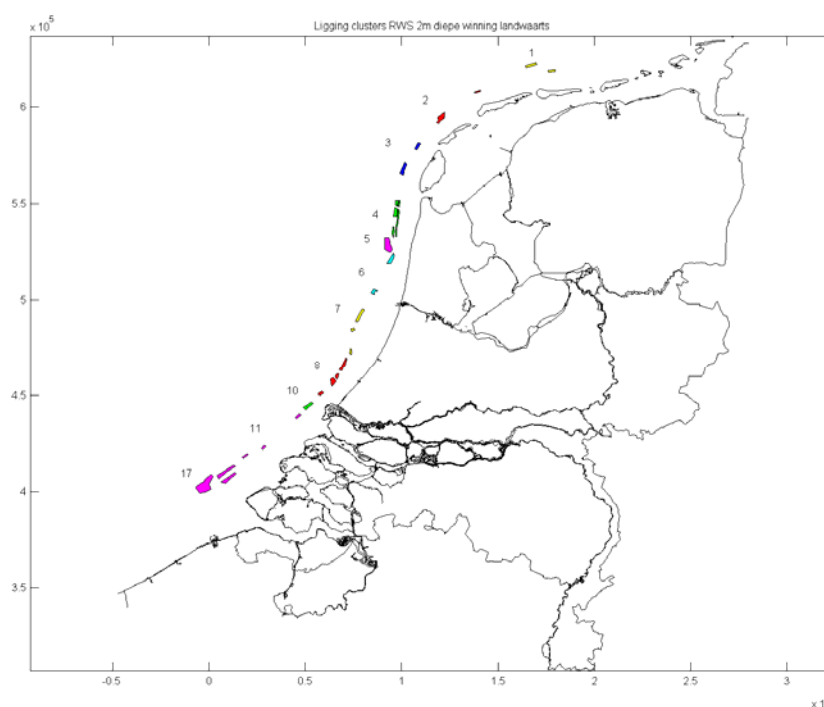
In 'Scenario 20% extra' is de totale winhoeveelheid met 20% verhoogd ten opzichte van Scenario kustwaarts. Deze simulatie is een gevoeligheidssimulatie. Met dit scenario kan onder andere bepaald worden of het doorzicht en de primaire productie lineair doorschalen of dat een sterkere of zwakkere relatie gevonden wordt met het slibpercentage.

De verschillende scenario's zijn samengevat in Tabel 5.1.

Tabel 5.1: Overzicht van de definities van de verschillende winscenario's

	winlocatie	Fasering zwakke schakels	Factor winhoeveelheid
Scenario kustwaarts	Landwaarts	2008-2009	1
Scenario zeewaarts	zeewaarts	2008-2009	1
Scenario fasering zs	Landwaarts	2011-2012	1
Scenario 20% extra	Landwaarts	2008-2009	1.2

Voor de aansturing van de simulaties zijn wintabellen gedefinieerd. Elke wintabel bevat de winhoeveelheden en fasering voor de autonome zandwinning en de geplande zandwinning voor zandsuppleties. Bovendien wordt per wingebied het slibpercentage in de bodem gedefinieerd. Deze percentages zijn gebaseerd op Van Heteren et al. (2006). Om het aantal bronnen in de modellering te beperken, is een clustering van polygonen toegepast. Voor elk cluster worden de jaarlijkse hoeveelheden over de betreffende polygonen gemiddeld. De bronnen bevinden zich echter nog wel in de afzonderlijke polygonen. Voor de suppletiezandwinning zijn in totaal 18 clusters gedefinieerd. Ter illustratie zijn de clusters gegeven voor de winning tot 2m diep in Figuur 5.3. In Bijlage E is de wintabel voor Scenario kustwaarts gegeven.



Figuur 5.3: Definitie van de clusters voor de winning tot 2m diep.

5.5 Resultaten en interpretatie

Allereerst worden de resultaten van Scenario kustwaarts beschreven. Ingegaan wordt op de temporele ontwikkeling en de ruimtelijke variatie. Hiertoe zijn de volgende figuursets bijgevoegd:

1. Tijdseries van de gebieds- en jaargemiddelde concentraties voor de volgende gebieden, zie Figuur 5.4:

- Waddenzee (Natura2000)
- Noordzeekustzone (Natura2000)
- Voordelta (Natura 2000)
- Kustzone (deel tussen Voordelta en Noordzeekustzone) (EHS/niet-beschermde GBEW)

De totale concentratie is opgesplitst in een bijdrage van het natuurlijke slibgehalte, een bijdrage van de autonome zandwinning en een bijdrage van de suppletiezandwinning.

2. Tijdseries voor de slibconcentratie voor verschillende MWTL-meetstations (zie Figuur H.6):

- Terschelling 4 en 10, (Noordzeekustzone)
- Dantziggat (Waddenzee)
- Marsdiep (Waddenzee)
- Noordwijk 2 en 10, (kustzone)
- Goeree 6 en (Voordelta)
- Walcheren 4, 10 (Voordelta)

3. Contourplots van de jaargemiddelde concentraties voor 2008-2012 als gevolg van de suppletiezandwinning volgens Scenario kustwaarts en de autonome zandwinning, oftewel $c = c_{\text{autonoom}} + c_{\text{kustwaarts}}$. Zie Figuur G.1.
4. Contourplots van de jaargemiddelde concentraties voor 2008-2012 alleen als gevolg van de suppletiezandwinning volgens Scenario kustwaarts, oftewel $c = c_{\text{kustwaarts}}$. Zie Figuur G.2.
5. Contourplots van het jaargemiddelde slibpercentage in de bodem voor 2008-2012 als gevolg van de suppletiezandwinning volgens Scenario kustwaarts en de autonome zandwinning, oftewel $p = p_{\text{autonoom}} + p_{\text{kustwaarts}}$. Zie Figuur G.3.
6. Contourplots van het jaargemiddelde slibpercentage in de bodem voor 2008-2012 alleen als gevolg van de suppletiezandwinning volgens Scenario kustwaarts, oftewel $p = p_{\text{kustwaarts}}$. Zie Figuur G.4.

Vervolgens zijn figuren bijgevoegd om de verschillen tussen de overige scenario's en Scenario Kustwaarts weer te geven:

7. Tijdseries van de relatieve gebieds- en jaargemiddelde concentraties worden gegeven voor enerzijds alleen de suppletiezandwinning en anderzijds voor de sommatie van de effecten van de suppletiezandwinning en de autonome winningen voor de vier verschillende scenario's.



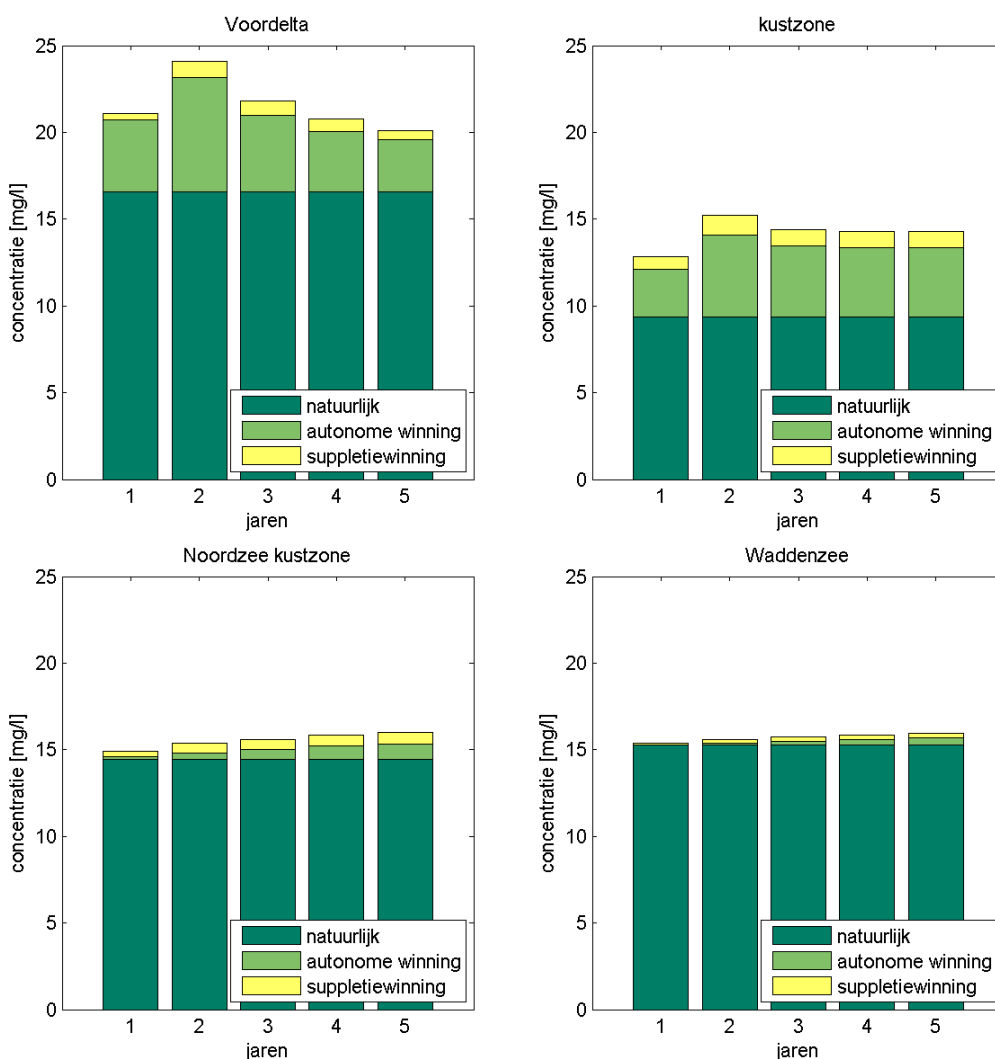
8. Evenals Figuur G.2 worden de extra concentraties als gevolg van de suppletiezandwinning geplot in contourplots voor Scenario zeewaarts en Scenario fasering zs, zie Figuur G.5 en Figuur G.6.

Op basis van deze figuren is de volgende analyse gemaakt voor de effecten van Scenario kustwaarts:

1. De gepresenteerde additionele concentraties zijn vermenigvuldigd met de onzekerheidsfactor 2.2. De daadwerkelijk berekende waarden liggen een factor 2.2 lager dan aangegeven in de figuren. In de figuren wordt daarmee een bovengrensverwachting gepresenteerd.
2. Het slib dat vrijkomt door de zandwinning wordt in eerste instantie meegevoerd door de getijstrooming. Er ontstaat daarmee een verhoogde concentratie binnen de getij ellips, zie bijvoorbeeld de contourplots van de jaargemiddelde concentratie. Afhankelijk van de weerscondities slaat het slib binnen enkele dagen neer. Tijdens stormen wordt het slib weer opgewoeld en wordt het met de dan geldende strooming meegevoerd. Hierdoor ontstaat een netto transport en kan het slib verder dan de getijweg worden verplaatst. Ook dispersie leidt tot verspreiding. Voor de Hollandse kust is het netto transport naar het noorden gericht, wat overigens niet betekent dat er geen verspreiding in zuidelijke richting optreedt.
3. Verhoudingsgewijs bevindt het overgrote deel van het slib zich in de bodem. Slechts een klein deel (enkele procenten) van de totale slibmassa is gesuspendeerd. Dit is overeenkomstig de verhouding zoals voor het achtergrondslib gevonden is.
4. Voor de Zeeuwse kust slaat slib neer in de troggen tussen de banken. Daar is de bodemschuifspanning door golven geringer vanwege de grotere waterdiepte. Als het slib daar eenmaal is neergeslagen, zal het alleen tijdens hevige stormen nog vrijkomen. Het is daarmee gedeeltelijk en tijdelijk geïmmobiliseerd.
5. In de Voordelta worden de hoogste absolute jaargemiddelde concentraties gevonden van zowel het achtergrondslib als slib als gevolg van de autonome zandwinning. In 2009 (winjaar 2) is de totale additionele concentratie het hoogst, voornamelijk als gevolg van de autonome winning. Na 2009 (winjaar 2) is de zandwinning voor MV2 gestopt, waardoor de concentratie afneemt. Ook de suppletiewinning voor de zwakke schakels van Delfland is dan gestopt. Het slib wordt grotendeels in de bodem opgeslagen en komt vrij tijdens stormen en springtij. Dan wordt het hoofdzakelijk in noordelijke richting getransporteerd. Door dit noordwaarts transport neemt de concentratie in de Voordelta af.
6. In de kustzone neemt de autonome concentratie in de eerste twee jaar toe. Na 2009 (winjaar 2) is de concentratie min of meer constant. De effecten van Maasvlakte 2 nemen af, maar de effecten als gevolg van de winning van ophoogzand nemen toe. Bovendien zal het slib dat in eerste instantie richting Voordelta is getransporteerd na verloop van tijd naar het noorden (kustzone) getransporteerd worden als gevolg van het netto noordwaarts gerichte transport.

Ook de concentratie als gevolg van de suppletiezandwinning neemt enigszins toe in de eerste twee jaar en blijft daarna min of meer constant. Het maximale effect als gevolg van de suppletiezandwinning wordt gevonden in 2009 (winjaar 2). Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de zandwinning tbv de zwakke schakels voor Delfland.

7. De effecten van de autonome winning en de suppletiezandwinning nemen toe in de tijd voor de Noordzee kustzone en de Waddenzee. De absolute concentratieverhogingen als gevolg van de autonome zandwinning (voornamelijk MV2) zijn in deze gebieden significant kleiner dan in de Voordelta en de kustzone. In de Waddenzee zijn de effecten het kleinst. De suppletiezandwinning leidt hier tot een gebiedsgemiddelde verhoging van minder dan 0.3 mg/l.



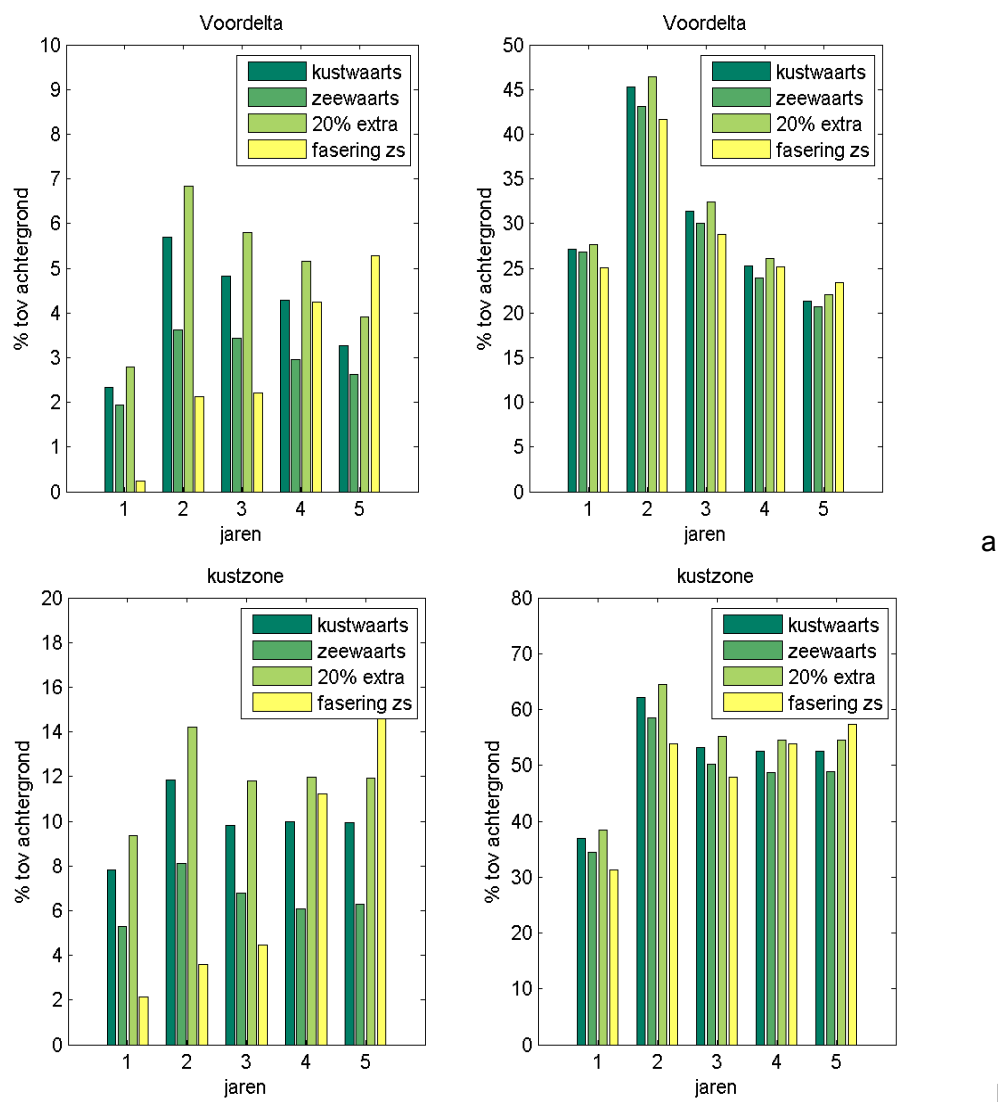
Figuur 5.4: Jaargemiddelde berekende concentraties voor de natuurlijke situatie, de autonome winning en het zandwinscenario gemiddeld over de gebieden a) Voordelta; b) Kustzone; c) Noordzeekustzone; d) Waddenzee.

De figuren met betrekking tot de verschillen tussen de verschillende scenario's leiden tot de volgende analyse:

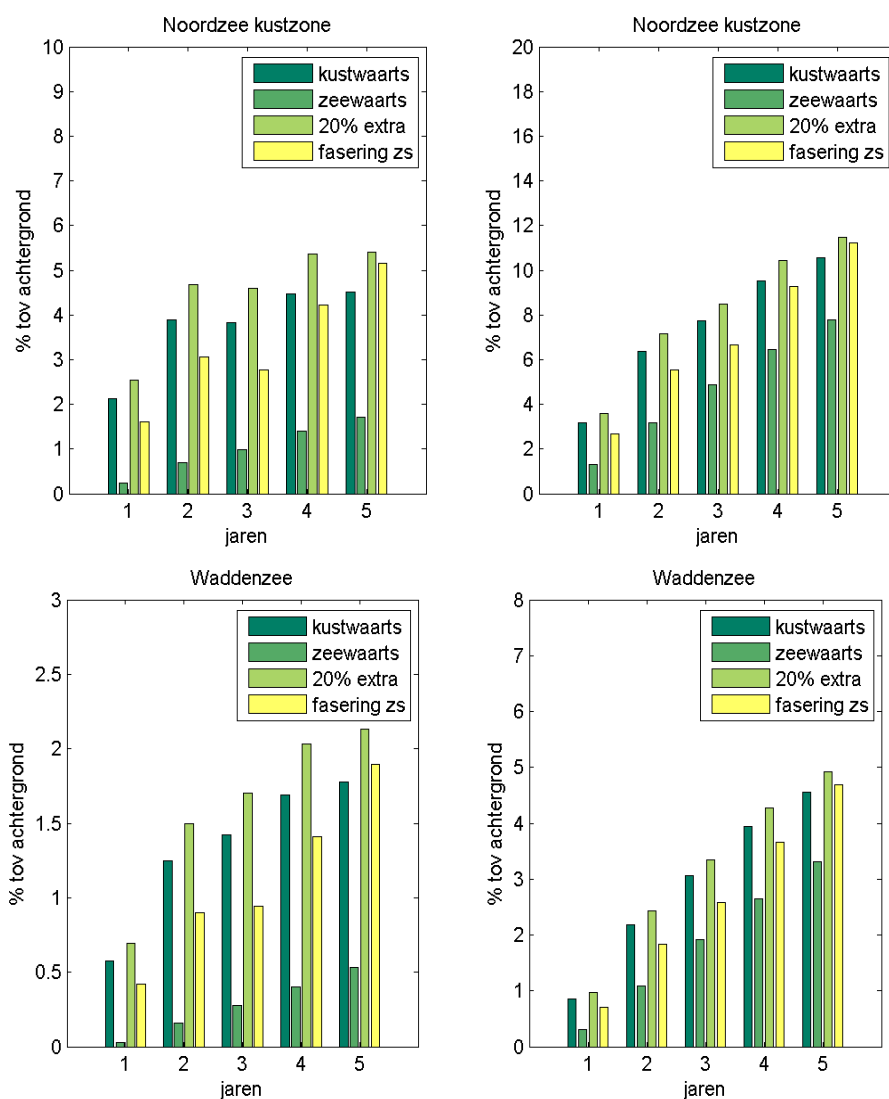
1. Voor de hoofdsenario's (Kustwaarts, Zeewaarts en Fasering zs) blijft de relatieve concentratieverhoging gedurende de winperiode van vijf jaar onder de 6% voor de ecologisch belangrijke gebieden Voordelta, Noordzee kustzone en de Waddenzee. In de kustzone wordt een maximale waarde van 15% gevonden. Deze maximale waarde is echter significant kleiner dan de concentratieverhoging in de kustzone als gevolg van de autonome winningen (ca 40%). De maximale relatieve concentratieverhogingen zijn gegeven in Tabel 5.2.
2. De zeewaartse winning leidt zoals verwacht tot een verlaagde additionele concentratie in de Voordelta, kustzone, Noordzee kustzone en Waddenzee. Het verschil is relatief gering in de Voordelta, maar in de overige gebieden geven de zeewaartse alternatieven een significante verlaging van de concentratie. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt doordat de zeewaartse wingebieden buiten de contouren van de kustzone en Noordzee kustzone liggen. In de zeewaartse locaties is de waterdiepte groter, waardoor golven een minder eroderend effect hebben. Hierdoor zal slib minder mobiel zijn, waardoor de concentraties in het water lager zullen blijven.
3. In het gevoeligheidsscenario Scenario 20% extra is de winning voor suppletiezand met 20% verhoogd. Dit geeft eveneens een verhoging van 20% voor de additionele concentratie. In vrijwel alle gebieden en op vrijwel alle tijdstippen is dit scenario maatgevend. Alleen in het laatste winjaar is in de Voordelta de concentratie voor Scenario fasering zs enigszins hoger.
4. In Scenario fasering zs zijn de zwakke schakels in de tijd verschoven van 2008-2009 naar 2011-2012. Hierdoor valt de winning van de zwakke schakels niet meer samen met de winning voor Maasvlakte II. Het totale cumulatieve effect is daarmee minder groot in 2009 (winjaar 2). In het laatste winjaar (2012) is het cumulatieve effect echter voor de meeste gebieden hoger dan voor Scenario kustwaarts. Vooral in de Voordelta en de Kustzone stijgt de concentratie in de laatste twee jaar.

Tabel 5.2: maximale relatieve concentratieverhogingen als gevolg van de suppletiezandwinning voor de verschillende scenario's (gebaseerd op Figuur 5.5).

	Hoofdsenario's			Gevoeligheidsscenario's	
	Kustwaarts (%)	Zeewaarts (%)	Fasering zs (%)	Kustwaarts Factor 1 (%)	20%extra (%)
Voordelta	6	4	5	3	7
Kustzone	12	8	15	6	14
Noordzee kustzone	5	2	5	3	5
Waddenzee	2	0.5	2	1	2



Figuur 5.5: Jaargemiddelde berekende concentratieverhogingen voor vier verschillende zandwinscenario's gemiddeld over de gebieden a) Voordelta; b) Kustzone. Links: alleen de suppletiezandwinning. Rechts: suppletiezandwinning + autonome winning.



Figuur 5.5: Jaargemiddelde berekende concentratieverhogingen voor vier verschillende zandwinstscenario's gemiddeld over voor de gebieden c) Noordzeekustzone; d) Waddenzee. Links: alleen de suppletiezandwinning. Rechts: suppletiezandwinning + autonome winning.

5.6 Samenvatting en conclusies

In dit hoofdstuk is eerst een analyse gemaakt van de onzekerheden omtrent de verspreiding van slib dat bij de zandwinning in suspensie gebracht wordt. Verschillen bronnen leiden tot onzekerheden in de uitkomsten. Om tot een bovengrens benadering te komen is een onzekerheidsfactor van 2.2 afgeschat. De additionele concentraties als gevolg van de autonome zandwinning en als gevolg van de suppletiezandwinning zijn met deze factor (2.2) vermenigvuldigd.

In Bijlage F is een vergelijking gemaakt tussen het modelinstrumentarium zoals gebruikt in de MER MV2 en het voorliggende modelinstrumentarium. De bovengrensbenadering (met factor 2.2) geeft een vergelijkbare of hogere slibconcentratie dan voor de (bovengrens)instellingen zoals gebruikt in de MER Maasvlakte 2. De verwachtingswaarde (zonder factor 2.2) geeft voor de eerste drie jaar een lagere concentratie dan voor de instellingen volgens de MER MV2, maar hogere waarden voor de jaren daarna. De verschillen worden onder andere veroorzaakt door het verschil in de relatief lage bufferwerking voor de MER MV2 instellingen en de relatief hoge bufferwerking voor de huidige instellingen. De relatief hoge bufferwerking is gebaseerd op de nieuwe schattingen van het bodemslibgehalte (ca 2% ipv 0.5%) van Van Heteren et al. (2006), zie Hoofdstuk 3.

Vervolgens zijn in dit hoofdstuk vier verschillende scenario's gedefinieerd en gesimuleerd voor de winning van suppletiezand:

- Scenario kustwaarts
- Scenario zeewaarts
- Scenario fasering zs
- Scenario 20% extra (gevoeligheid)

Met deze scenario's is het effect van de ruimtelijke verdeling, de winhoeveelheid en de fasering in de tijd bepaald. Naast de effecten van de suppletiezandwinningen is de slibconcentratie als gevolg van autonome winningen meegenomen.

De resultaten zijn vergeleken met de achtergrondslibconcentratie en met de verwachte slibconcentratie, inclusief autonome zandwinning.

Uit de simulaties volgt dat het slib, nadat het in suspensie is gebracht, gedeeltelijk in de bodem wordt opgenomen tijdens kalm weer (dit is een directe consequentie van het opgelegde waterbodemitwisselingsconcept). Tijdens stormen wordt het weer opgewoeld en verspreid met dan heersende (rest)stroming. Uiteindelijk wordt het grootste deel langs de kust in noordwaartse richting getransporteerd.

Voor de ecologische doorvertaling zijn de gebieden Voordelta, Noordzee Kustzone en de Waddenzee van belang. Voor deze gebieden is in Tabel 5.2 de maximale relatieve additionele concentratie bepaald voor de suppletiezandwinning. Deze waarden zijn relatief gemaakt ten opzichte van de achtergrondconcentratie. De gepresenteerde waarden zijn bovengrenswaarden, aangezien een onzekerheidsfactor van 2.2 is toegepast. Deze maximale gebiedsgeïntegreerde waarden blijven gedurende de winperiode kleiner dan 6% voor de drie hoofdscenario's. De verwachtingswaarde, zonder de onzekerheidsfactor, geeft daarmee een maximale stijging van 3%. De cumulatieve effecten worden voornamelijk veroorzaakt door de winning voor Maasvlakte 2. De cumulatieve effecten lopen in de Voordelta op tot ca 45% en in de kustzone tot ca 65% (inclusief factor 2.2).



De gebruikte parameterinstellingen gaan uit van een relatief sterke bufferwerking. De tijdschaal van de uitwisseling tussen de waterkolom en de bodem (5-8 jaar) is overschat tov de interpretatie van de metingen in Laane et al. (1999), die op ca 2 jaar uitkomen. Daarmee zou de toegepaste parameterinstelling een te lange doorwerking kunnen geven en daarmee een overschatting van de slibconcentratie in het water als gevolg van de suppletiezandwinning.

Aangezien de suppletiezandwinning in 2000 en voorgaande jaren impliciet is meegenomen in de achtergrondconcentratie wordt de cumulatieve concentratie overschat. Zie Paragraaf 5.2 voor nadere uitleg.

Geconcludeerd wordt dat de resulterende slibconcentraties een goede basis geven voor de vervolgstap, de modellering van het nutriëntentransport en de primaire productie.



6 SCENARIOSTUDIES NUTRIËNTEN EN PRIMAIRE PRODUCTIE

6.1 Inleiding

In het voorgaande hoofdstuk zijn verschillende zandwinscenario's gedefinieerd. Voor elk scenario is bepaald wat het effect is op de slibconcentratie. In dit hoofdstuk worden deze slibconcentraties gebruikt om te bepalen wat de effecten van de zandwinning zijn op het doorzicht en de primaire productie.

In dit hoofdstuk wordt allereerst het concept van limiterende factoren behandeld in Paragraaf 6.2. Vervolgens wordt de modelopzet behandeld in Paragraaf 6.3. De resultaten worden besproken en geïnterpreteerd in Paragraaf 6.4. Het hoofdstuk wordt afgesloten met conclusies (Paragraaf 6.5).

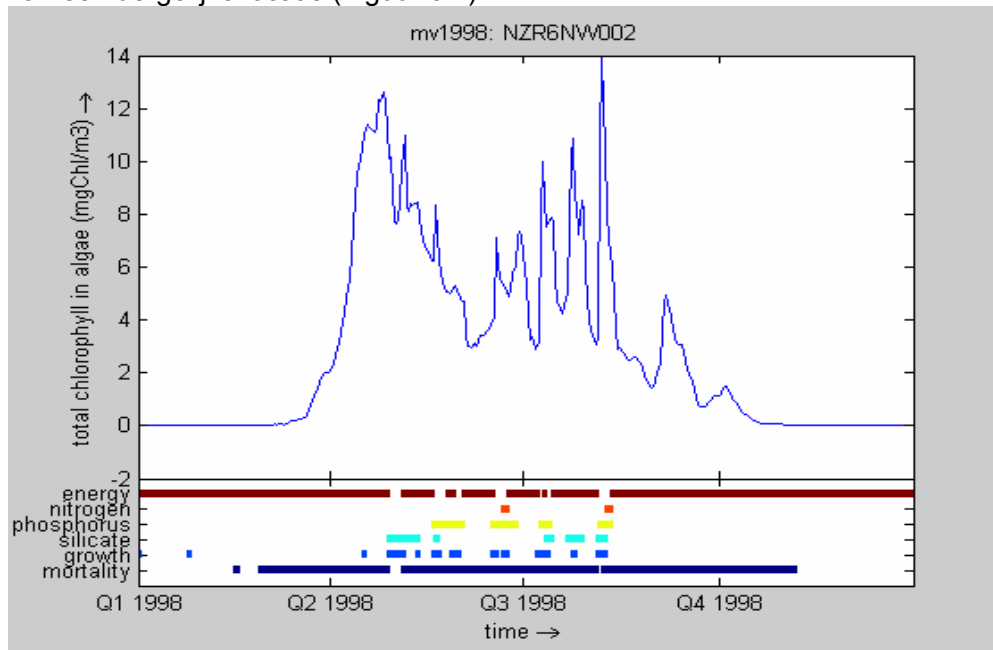
6.2 Concept van limiterende factoren

Voor een goed begrip van de mogelijke invloed van zandwinning op de primaire productie en het nutriëntentransport is inzicht nodig in de manier waarop limiterende factoren werken. De primaire productie hangt af van de beschikbaarheid van nutriënten (de belangrijkste zijn N, P en Si) en zonlicht. Als de gehalten aan opgeloste nutriënten laag of zelfs gelijk aan nul zijn, dan is er waarschijnlijk sprake van een nutriënten limitatie. Lichtlimitatie treedt op als de hoeveelheid, die beschikbaar is voor groei (primaire productie) juist genoeg is om de verliestermen (respiratie, sterfte, sedimentatie) te compenseren. Anders dan voor nutriënten geldt voor licht dat de beschikbaarheid sterk varieert over de diepte (de lichtsterkte dooft exponentieel uit) en in de tijd (dag - nacht cyclus). De waarde van de lichtuitdovingscoëfficiënt wordt bepaald door de eigenschappen van het water zelf en de daarin opgeloste stoffen met name anorganisch zwevend stof, levend en dood fytoplankton (organische stof) en humuszuren ('gelbstoff'). In de Noordzee bestaan er duidelijke ruimtelijke en temporele verschillen in de beschikbare hoeveelheden nutriënten en licht (onder water) en dus in de limitaties van fytoplankton.

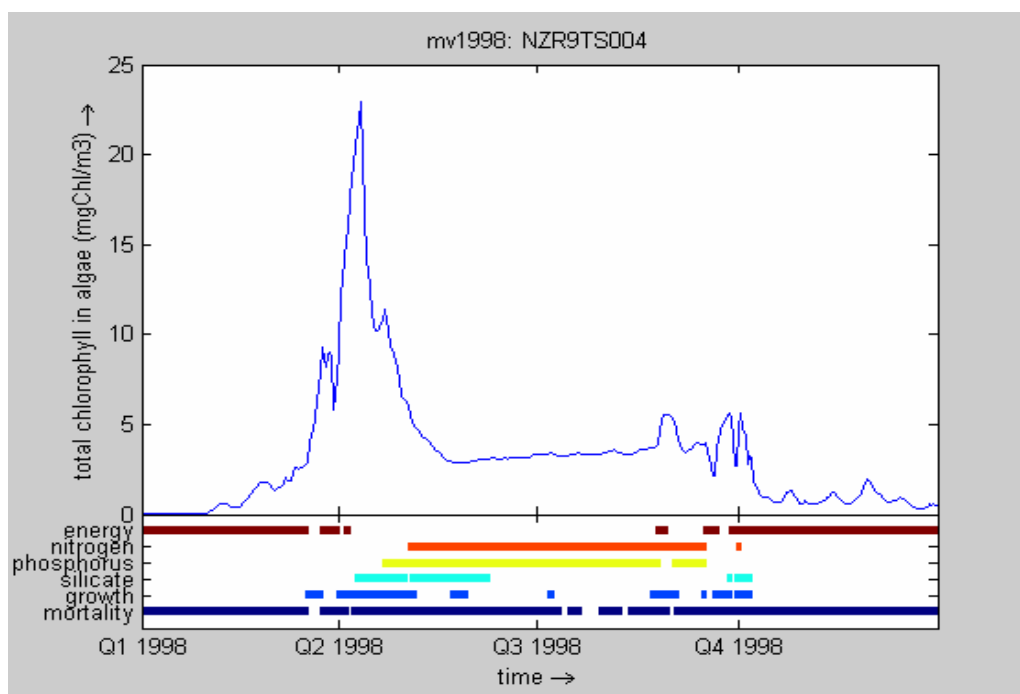
In de winter wanneer de primaire productie laag is, is licht de belangrijkste limitatie vanwege de lage instraling. Nutriënten zijn zelden limiterend ten gevolge van de relatief hoge rivier afvoer en mineralisatie (bacteriële afbraak) van dood organisch materiaal. Als de instraling toeneemt en de hoeveelheid zwevend stof afneemt in het voorjaar, dan komt de primaire productie op gang. Het moment waarop dit gebeurt hangt af van de diepte en achtergrondsturbiditeit en vertoont daardoor een aanzienlijke ruimtelijke variatie. Voor de situatie in de kustwateren is een combinatie nodig van de effecten van licht en nutriënten beschikbaarheid. Twee typische patronen zijn:

(1) Primaire productie is gedurende het hele jaar licht gelimiteerd (door 'self-shading' de bijdrage van algen en dood organisch materiaal). Dit leidt tot een sinus-achtig beeld van de biomassa omdat deze wordt aangestuurd door de jaarlijkse cyclus van de instraling. Verlaging van zwevend stof in de zomer maanden en een verlaging van de bijdrage van zoet water in de zomer versterkt dit beeld. Noordwijk 2 km is een typisch voorbeeld van een dergelijke locatie (Figuur 6.1). Behalve in mei en juni is de primaire productie licht gelimiteerd. De biomassa stijgt in het voorjaar omdat de instraling toeneemt en er voldoende nutriënten zijn. In termen van chlorofyl is de voorjaarspiek in dit soort gebied extra geprononceerd doordat licht gelimiteerd fytoplankton veel chlorofyl per eenheid van biomassa bevat.

(2) Zomerniveaus van primaire productie worden bepaald door de beschikbaarheid van nutriënten, voorjaar en herfst niveaus (mede) door de licht intensiteit. In een dergelijk systeem vertoont het chlorofyl vaak een twee-toppig verloop van relatief lage en constante waarden in de zomermaanden. Terschelling 4 km is een typisch voorbeeld van een dergelijke locatie (Figuur 6.2).

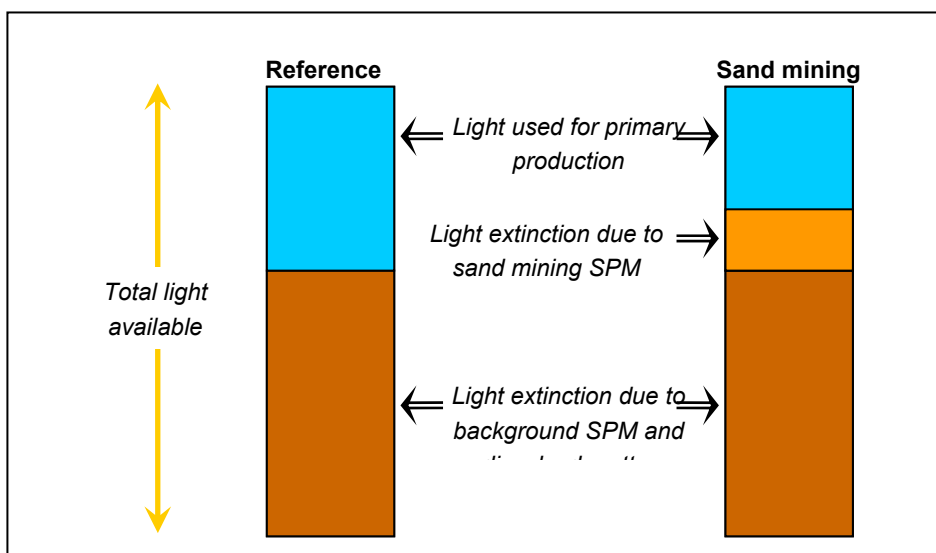


Figuur 6.1: Chlorofyl concentratie (in $\mu\text{g/l}$) en limiterende factoren op station Noordwijk 2 km in 1998 Limiterende factoren:: licht (bruin), stikstof (rood); fosfor (geel); silicium (licht blauw); groei (blauw); sterfte (donker blauw).

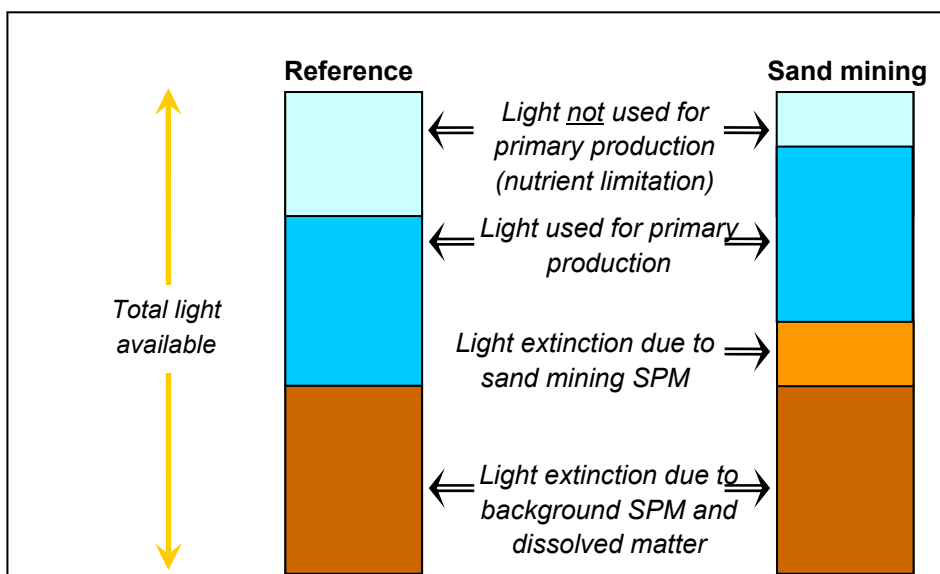


Figuur 6.2: Chlorofyl concentratie (in $\mu\text{g/l}$) en limiterende factoren op station Noordwijk 2 km in 1998 Limiterende factoren:: licht (bruin), stikstof (rood); fosfor (geel); silicium (licht blauw); groei (blauw); sterfte (donker blauw).

Zandwinning beïnvloedt de lichtuitdoving, maar of en zo ja met welk effect, hangt dus af van de vraag wat limiterend is. In overwegend licht gelimiteerde gebieden als de Voordelta of de kust van Noordwijk heeft zandwinning een direct effect op de primaire productie: deze neemt af. De totale uitdoving van licht blijft gedurende het zomer halfjaar ongeveer gelijk. In nutriënt gelimiteerde gebieden is er een surplus aan licht beschikbaar en hangt het van de mate van SPM toename af of er een effect optreedt. Als de extra vertroebeling ten gevolge van zandwinning dit surplus niet volledig uitput, dan blijft de primaire productie in het zomer halfjaar gelijk, maar de totale vertroebeling neemt wel toe. Er kunnen overigens ook indirecte effecten op de fytoplankton biomassa optreden. Doordat ten gevolge van zandwinning in licht gelimiteerde gebieden minder nutriënten worden gebruikt, komen er elders meer beschikbaar. Dit kan tot een stijging van de primaire productie leiden. Deze verschillende effecten zijn schematisch weergegeven in Figuur 6.3 en Figuur 6.4.



Figuur 6.3: In licht gelimiteerde gebieden wordt al het beschikbare licht gebruikt voor primaire productie. Meer SPM ten gevolge van zandwinning leidt tot verlaging van de primaire productie.



Figuur 6.4: In nutriënt gelimiteerde gebieden wordt niet al het beschikbare licht gebruikt voor primaire productie. Meer SPM ten gevolge van zandwinning leidt niet tot verlaging van de primaire productie.

6.3 Modelopzet

In vergelijking tot de validatie berekeningen (Hoofdstuk 4) is alleen de hoeveelheid anorganisch slib gewijzigd. Voor elk scenario, waarvan de effecten zijn onderzocht, is het slibveld zoals berekend met Finel voor elke berekeningstijdstap gesuperponeerd op het achtergrondslib veld. Verondersteld is dat het extra door zandwinning vrijkomende slib dezelfde lichtuitdovingscoëfficiënt heeft als het achtergrondslib. Het GEM model is vervolgens 5 jaar achter elkaar gedraaid. Hierbij is steeds dezelfde, constante forcering gebruikt met betrekking tot nutriëntenbelasting, stroming, open randen, achtergrondslib en meteorologische condities. Alleen het extra slib door zandwinning varieert van jaar tot jaar. De initiële condities van het eerste jaar zijn gelijk aan die van de basis berekening, die van elk volgend jaar zijn overgenomen uit het laatste berekeningsresultaat van het voorgaande scenario jaar. Mogelijke effecten van de zandwinning op nutriënten in water en sediment en op overwinterend fytoplankton worden op deze wijze meegenomen. Voor een beschrijving van alle scenario's zie 5.4.

6.4 Resultaten

Om de effecten van de scenario's te beoordelen zijn drie soorten van grafieken gemaakt:

1. kaartbeelden voor chlorofyl en primaire productie (jaargemiddelde totale concentraties per berekening (Figuur H.3) en jaargemiddeld absoluut verschil van de scenario's ten opzichte van de autonome situatie (Figuur H.4)), zie Figuur C.7 voor de huidige situatie;
2. jaargemiddelde verschillen in zwevend stof (SPM), primaire productie, chlorofyl, organisch koolstof, opgelost anorganisch stikstof (nitraat + plus ammonium: DIN), opgelost anorganisch fosfaat (ortho fosfaat) en de extinctiecoëfficiënt in een aantal representatieve gebieden (Figuur H.5), zie Figuur H.1 voor de ligging van de gebieden;

3. tijdreeksen van zwevend stof (SPM), primaire productie, chlorofyl, organisch koolstof, opgelost anorganisch stikstof (nitraat + plus ammonium: DIN), opgelost anorganisch fosfaat (ortho fosfaat) en de extinctiecoëfficiënt op een aantal representatieve locaties (Figuur H.6), zie Figuur H.2 voor de ligging van de locaties.

6.4.1 Jaargemiddelde kaartbeelden

Uit vergelijking van de kaartbeelden voor chlorofyl en primaire productie (Figuur H.3 en Figuur H.4) blijkt dat er nog al wat ruimtelijke verschillen zijn in patronen. Dit komt doordat de primaire productie een locale fluxgrootte is terwijl het chlorofyl gehalte de resultante is van locale productie (en sterfte) en transport. Zo zijn in een aantal gebieden dicht langs de Hollandse kust de zwevend stof gehalten zo hoog dat ter plekke geen netto groei mogelijk is (te weinig licht), toch zijn de chlorofyl gehalten relatief hoog door aanvoer van fytoplankton uit gebieden met een lagere lichtuitdoving.

Uit Figuur H.3 blijkt dat de ruimtelijke verschillen per scenario en per jaar gering zijn: het globale beeld van jaargemiddeld chlorofyl gehalte en primaire productie blijft in essentie gelijk. Toch hebben de verschillende vormen van zandwinning wel enige effecten. Deze worden duidelijk uit Figuur H.4, waarin de absolute verschillen worden getoond.

Algemeen geldt dat in de buurt van zandwinningslocaties de primaire productie iets lager wordt. Elders zijn er geen effecten, sporadisch neemt de primaire productie iets toe. Het gebied waarin chlorofyl beïnvloed wordt is over het algemeen groter, maar het effect per locatie is geringer. Dit komt doordat transport effecten van lokaal optredende productie verschillen nivelleert.

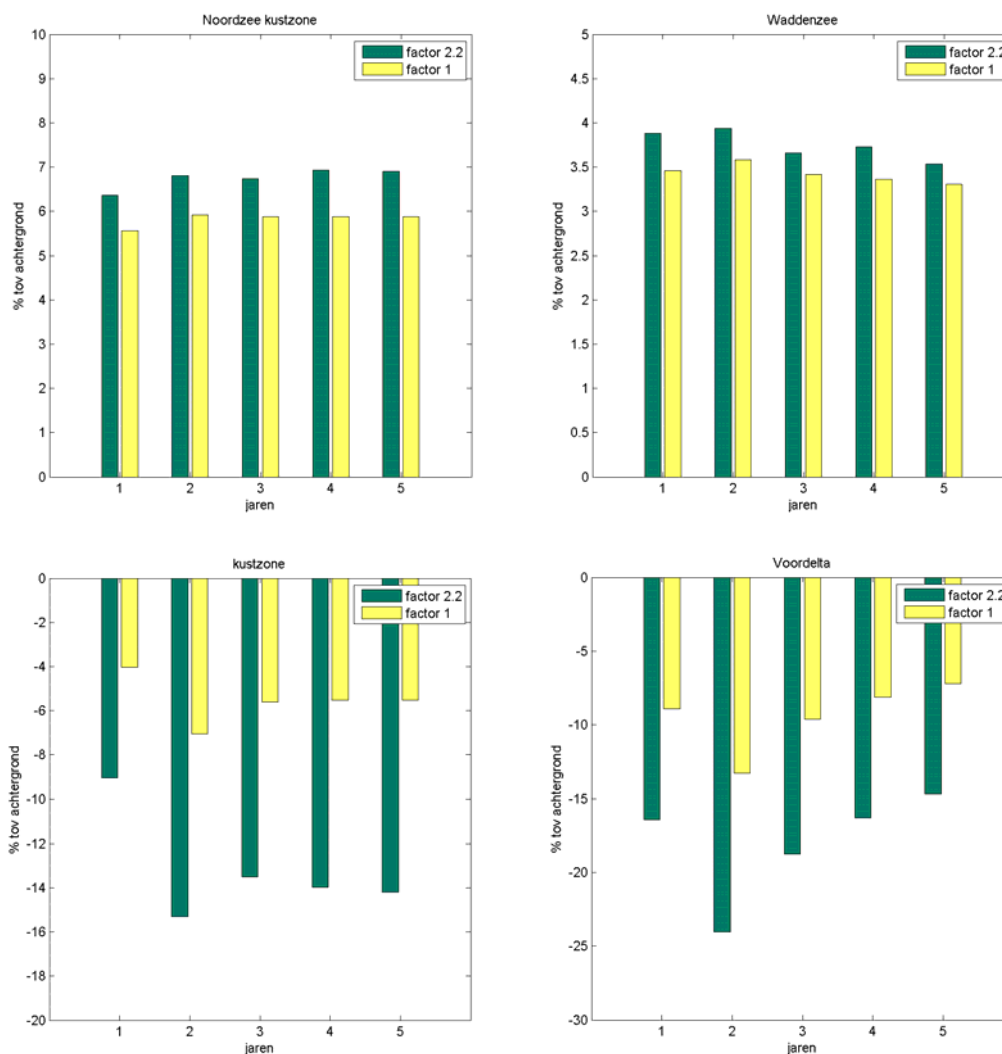
6.4.2 Jaargemiddeldes per gebied

Figuur H.5(a,c,e,g,i) toont de procentuele veranderingen van de verschillende scenario's. Figuur H.5(b,d,f,h,j) toont de jaargemiddelde verschillen per grootte in een aantal gebieden (absoluut) ten opzichte van de natuurlijke situatie. De effecten zijn het grootst in de Voordelta. SPM stijgt van ruim 15 tot 20 à 25 g/m³ (jaar 2). De primaire productie daalt van 1.2 naar 0.9 tot 1.0 gC/m².dag. Alle overige groottes vertonen hiervan afgeleide patronen: chlorofyl daalt ook maar minder dan de primaire productie, de totale vertroebeling stijgt en de opgeloste nutriënten nemen toe door de verminderde opname door fytoplankton. Verschillen per scenario zijn marginaal. De gemiddelde extinctiecoëfficiënt neemt toe van 0.8 tot 0.9, maximaal 1.0 per m.

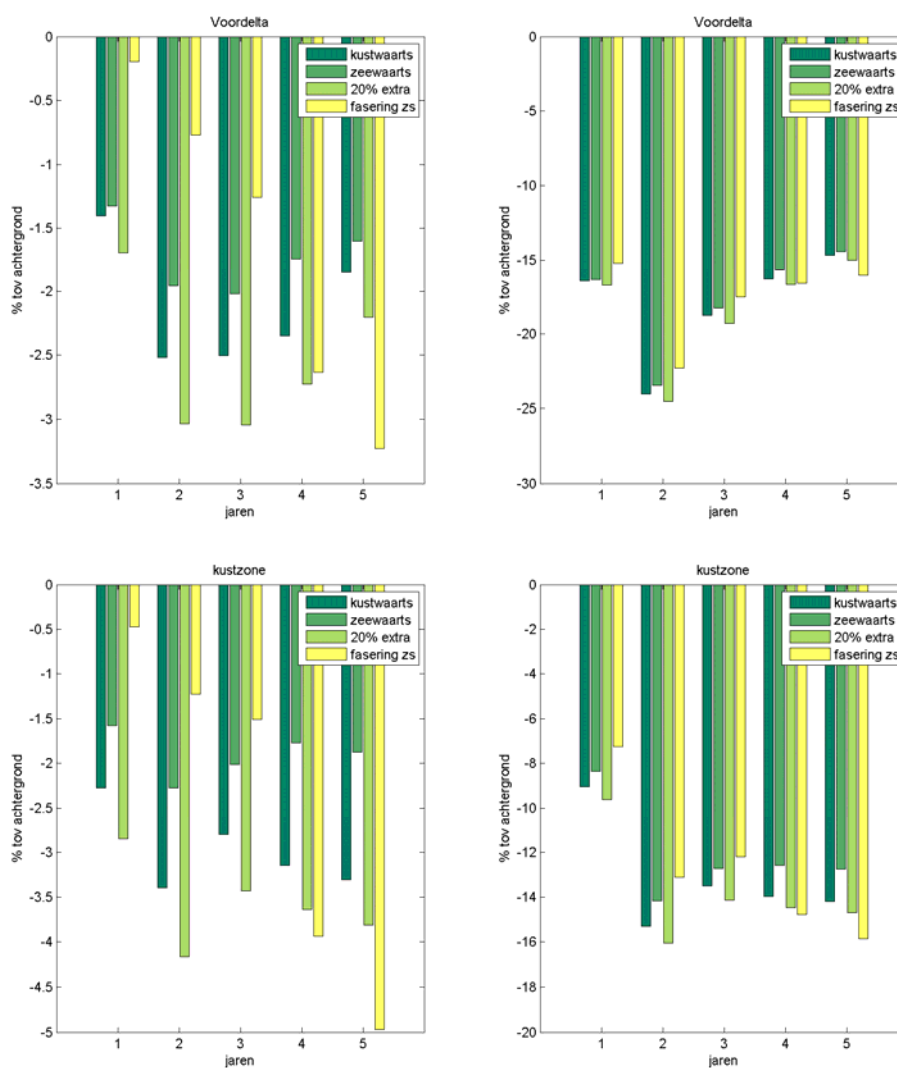
In de kustzone zijn de verschillen vergelijkbaar van aard maar minder groot. In alle andere gebieden zijn de verschillen zeer gering. Opvallend is de lichte stijging van chlorofyl in de Waddenzee. Dit komt doordat het zwevend stof gehalte nauwelijks verandert, terwijl de beschikbare hoeveelheid nutriënten licht stijgt door vermindering van nutriëntegebruik in de kustzone.

In Figuur 6.5 is het effect van de onzekerheidsfactor weergegeven. In de kustzone en de Voordelta werkt de factor 2.2 bijna lineair door in de chlorofylgehalten. Dit komt doordat in deze gebieden licht de belangrijkste limiterende factor is (zie ook Figuur 6.3). In de Noordzeekustzone en de Waddenzee werken twee mechanismen elkaar tegen. Aan de ene kant de vertroebeling als gevolg van de winningen en aan de andere kant de extra aanvoer van nutriënten. Doordat in deze gebieden nutriënten limitaties frequent voorkomen of zelfs overheersen (Waddenzee) werkt de onzekerheidsfactor niet proportioneel door in de berekeningsresultaten van chlorofyl.

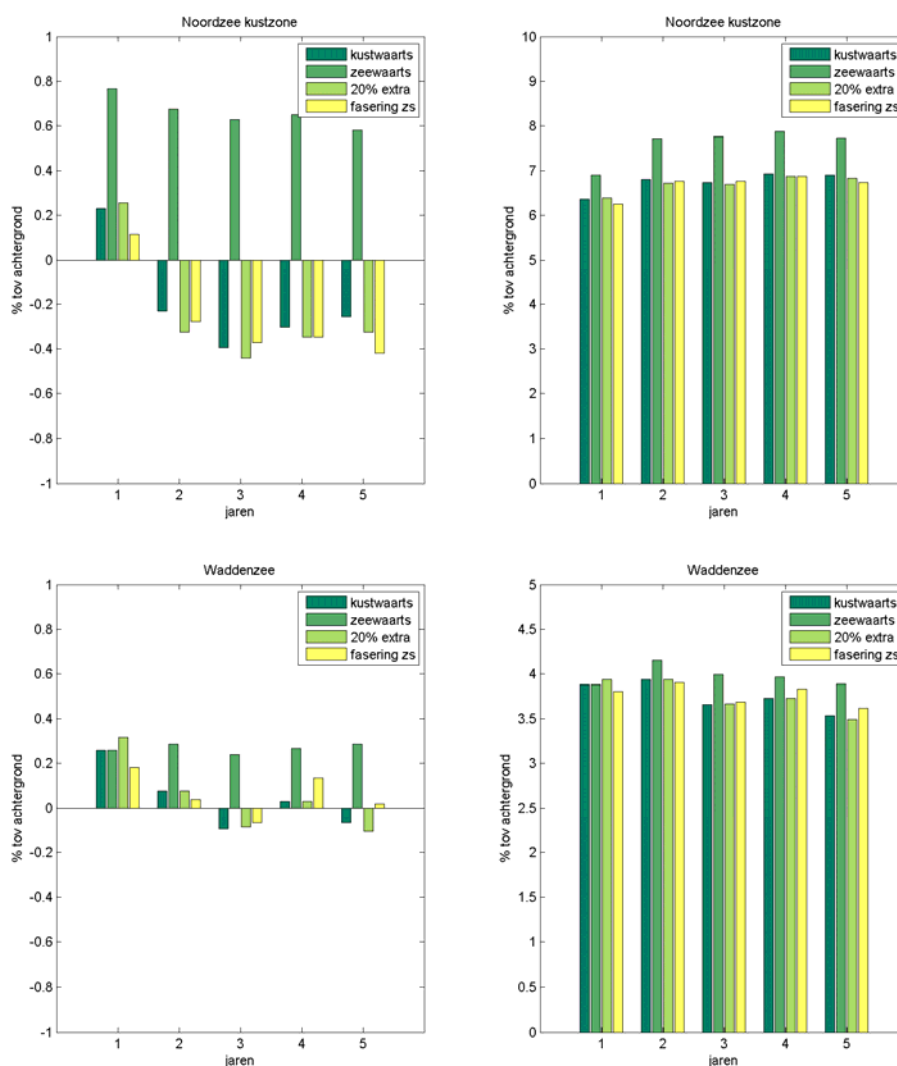
In Figuur 6.6 zijn de relatieve jaargemiddelde chlorofyl concentraties gegeven ten opzichte van de achtergrond. De effecten van de suppletiezandwinning en de cumulatieve effecten zijn gegeven. Hieruit blijkt dat in de ecologisch belangrijke gebieden de maximale afname in chlorofyl in de Voordelta 3.2% is (scenario Fasering zs). In het voornemen blijft de relatieve afname beperkt tot 2.5%. Zoals blijkt uit Figuur 6.5 werkt de onzekerheidsfactor 2.2 ongeveer lineair door. De verwachte maximale afname is daarmee ca 1.5% voor scenario Fasering zs en 1.3% voor het voornemen (scenario kustwaarts).



Figuur 6.5: Relatieve cumulatieve (suppletiezandwinning+autonome ontwikkeling) verandering in chlorofylgehalte voor de simulaties met een onzekerheidsfactor 2.2 en zonder onzekerheidsfactor.



Figuur 6.6: jaargemiddelde chlorofyl concentraties voor de verschillende zandwinscenario's voor de gebieden a) Voordelta; b) Kustzone. Links: alleen de suppletiezandwinning. Rechts: suppletiezandwinning + autonome winning.



Figuur 6.6: jaargemiddelde chlorofyl concentraties voor de verschillende zandwinsten voor de gebieden c) Noordzeekustzone; d) Waddenzee. Links: alleen de suppletiezandwinning. Rechts: suppletiezandwinning + autonome winning.

6.4.3 Tijdreeksen individuele locaties

Figuur H.6 toont het tijdsafhankelijke gedrag van de belangrijkste effectvariabelen voor scenario's achtergrond, RWS-autonoom en kustwaarts op een aantal individuele locaties.

De stations Walcheren 2 km en Walcheren 30 km worden nauwelijks beïnvloed door de zandwinning. Bij Walcheren 2 is sprake van een kleine toename van SPM en een kleine daling van de primaire productie en het chlorofyl gehalte. Op de stations Goeree 6 km, Noordwijk 2 km en Noordwijk 10 km zijn de verschillen duidelijker maar nog altijd gering doordat de primaire productie minder dan proportioneel reageert op het SPM en vervolgens chlorofyl weer minder dan proportioneel reageert op de veranderingen in primaire productie. De opkomst van de voorjaarsbloei wordt één à twee weken vertraagd; de hoogte van de piek blijft ongeveer gelijk. De extinctie vertoont een wat ander beeld omdat twee effecten een verschillende kant opwerken. Omdat licht met

name bij Noordwijk een belangrijke limitatie is, leidt een toename van de bijdrage van zwevend stof aan de uitdoving van licht tot een afname van de bijdrage van fytoplankton (zie Figuur 6.4). Onder stormachtige condities wordt de uitdoving vooral door zwevend stof veroorzaakt. Daardoor neemt de hoogte van de pieken van de extinctiecoëfficiënt wel toe.

Effecten op de locaties in de Waddenzee (Marsdiep, Dovebalg) en voor de kust van Terschelling (TS04 en TS10) zijn gering.

De berekende verschillen zijn verklaarbaar op basis van de algemene principes zoals besproken in Paragraaf 6.2.

6.5 Conclusies

Op basis van de voorgaande analyses zijn de volgende conclusies getrokken:

1. De onzekerheidsfactor van 2.2 werkt bijna lineair door in de chlorofyl concentraties voor de Voordelta en de kustzone. In de Waddenzee en de Noordzee kustzone is de doorwerking veel minder sterk.
2. Doordat primaire productie, chlorofyl en nutriënten minder dan proportioneel reageren op veranderingen in zwevend stof gehalten, zijn de effecten op deze grootheden relatief minder groot. De relatieve afname in chlorofyl is ca twee maal zo klein als de relatieve toename in slibgehalte.
3. De invloed van de aanleg van de Maasvlakte is beduidend groter dan de invloed van de suppletiezandwinactiviteiten. In de Voordelta is de invloed van de Maasvlakte 2 zelfs ongeveer een factor acht groter.
4. De verschillen in primaire productie, chlorofyl, nutriënten en doorzicht tussen de individuele jaren zijn gering.
5. Ook de verschillen in primaire productie, chlorofyl, nutriënten en doorzicht tussen de individuele scenario's zijn gering. Scenario Zeewaarts geeft een verplaatsing van de lokale effecten; Scenario 20% extra geeft een verhoging van de effecten van minder dan 20% tov Scenario Kustwaarts; en Scenario Fasering zs geeft een verplaatsing in de tijd van het maximale effect. De verschillen in effect op primaire productie tussen de scenario's volgen dezelfde trends als de verschillen in effect op zwevend stof.
6. Effecten zijn met name merkbaar in de omgeving van de zandwinningsgebieden; effecten op verder weg gelegen gebieden als de Waddenzee zijn zeer gering. Er wordt zelfs een in geringe mate verhoogd chlorofylgehalte gevonden in de Waddenzee. Dit kan verklaard worden doordat minder nutriënten in de kustzone gebruikt worden, die daarmee beschikbaar komen in de Waddenzee.
7. De effecten van de suppletiezandwinning op chlorophyl concentraties zijn jaargemiddeld en gemiddeld over de deelgebieden maximaal:
Voordelta : -3 %
Waddenzee : + 0.3 % (positief !)
Noordzeekustzone: + 0.8 % en – 0.4%
Kustzone : -5 %
Deze waarden zijn inclusief de onzekerheidsfactor 2.2.
8. Maximale relatieve veranderingen als gevolg van de suppletiezandwinning zijn voor de ecologisch belangrijke gebieden maximaal ca 3% (zonder onzekerheidsfactor ca 1.5%), zie ook punt 7. De maximale relatieve cumulatieve veranderingen voor de Voordelta zijn ca 25% en worden



voornamelijk veroorzaakt door de Maasvlakte 2. Dergelijke variaties vallen binnen de range van de natuurlijke variabiliteit, maar zijn natuurlijk wel in één richting (minder primaire productie en minder fytoplankton): de verwachte algenbiomassa's nemen lokaal dus wel af.

9. In een relatief sterk beïnvloed gebied als de Noordwijk raai kan de opkomst van de voorjaarsbloei één tot twee weken worden vertraagd.

7 CONCLUSIES

7.1 Algemeen

In deze rapportage is de invloed van suppletiezandwinning op het doorzicht (extinctie coëfficiënt) en de primaire productie bepaald. Hiertoe is een modellentrein ingezet bestaande uit drie onderdelen. Ten eerste is een hydrodynamicamodel opgezet en gecalibreerd. Ten tweede is een model opgezet voor de simulatie van slibtransport. Een uitgebreide calibratie is uitgevoerd voor de huidige situatie. Het slibmodel is toegepast om de additionele slibconcentratie te bepalen als gevolg van suppletiezandwinning. Ten derde is een model toegepast voor de bepaling van het doorzicht en de primaire productie. Dit model is gevalideerd voor de huidige situatie en toegepast om de effecten van de zandwinning op de primaire productie te bepalen.

Voor de effectbepaling van de zandwinning zijn drie hoofdscenario's gedefinieerd: 'Kustwaarts'; 'Zeewaarts' en 'Fasering zwakke schakels' en een gevoeligheidsscenario: '20% extra'. Met behulp van deze scenario's is de gevoeligheid bepaald van de effecten van de zeewaartse verplaatsing van een aantal wingebieden; de effecten van de verschuiving van de winning voor de Zwakke Schakels van de eerste twee jaar naar de laatste twee jaar en de effecten van een 20% hogere winhoeveelheid.

In onderstaande paragrafen staan de belangrijkste conclusies opgesomd.

7.2 Hydrodynamica

Het hydrodynamicamodel zoals toegepast in de MER Maasvlakte 2 is nader gedetailleerd. Het rekenrooster is aangepast en een extra calibratie is uitgevoerd, resulterend in een betere reproductie van de stroming in onder andere de Waddenzee en de Voordelta. Aan de criteria, zoals opgesteld in De Goede en Van Maren et al. (2005), wordt voldaan. Er is daarmee geconcludeerd dat de uitkomsten van de hydrodynamica modellering gebruikt konden worden voor de slibtransportmodellering.

7.3 Slib

Voor de slibmodellering is het model zoals toegepast in de MER zandwinning MV2 als uitgangspunt genomen. Vervolgens zijn verbeteringen toegepast in de golfforcering, zijn enkele parameters aangepast en is het initiële slibpercentage in de bodem ruimtelijk gevarieerd in overeenstemming met de meest recente inzichten. Een vergelijking is tenslotte gemaakt met de beschikbare meetgegevens: Smartbuoy-metingen bij Noordwijk, MWTL-data voor de Nederlandse kust en satellietbeelden voor de hele Noordzee.

De temporele variabiliteit, zoals volgt uit de metingen, worden goed gereproduceerd. Opvallende tijdschalen zijn de tweemaaldaagse getijcyclus, de doottij-springtij cyclus, de storm *events* en de seizoensfluctuaties. Ook de ruimtelijke variatie wordt goed gerepresenteerd door het model. Voor de Hollandse kust wordt de concentratiegradiënt goed gesimuleerd en de relatief hoge concentraties in de Voordelta en de Waddenzee worden eveneens gereproduceerd. Tenslotte wordt het bodemslibpercentage voor de kustzone en de Noordzeekustzone redelijk goed gesimuleerd.

Geconcludeerd is dat het model voldoende goed opgezet en gecalibreerd is om toegepast te worden voor de bepaling van de effecten van zandwinning voor de Nederlandse kust.

Zoals aangegeven, zijn vier verschillende winscenario's gesimuleerd. Uit de slibsimulaties volgt dat het slib, nadat het in suspensie is gebracht, gedeeltelijk in de bodem wordt opgenomen tijdens kalm weer. Tijdens stormen wordt het weer opgewoeld en verspreid met dan heersende (rest)stroming. Uiteindelijk wordt het grootste deel langs de kust in noordwaartse richting getransporteerd.

Hoewel het slibtransport uitgebreid gecalibreerd is, zijn er nog onzekerheden omtrent de modellering. Om met deze onzekerheden rekening te houden is een bovengrensbepaling toegepast voor de slibconcentratie als gevolg van de suppletiezandwinning. De resulterende additionele slibconcentraties als gevolg van de suppletiezandwinning zijn met een factor 2.2 vermenigvuldigd. Deze factor is gebaseerd op verschillende bronnen van onzekerheid.

Voor de ecologische doorvertaling zijn de gebieden Voordelta, Noordzee Kustzone en de Waddenzee van belang. Voor deze gebieden is in Tabel 5.2 de maximale relatieve additionele concentratie bepaald voor de suppletiezandwinning. Deze waarden zijn relatief gemaakt ten opzichte van de achtergrondconcentratie. De gepresenteerde waarden zijn bovengrenswaarden, aangezien een onzekerheidsfactor van 2.2 is toegepast. Deze maximale gebiedsgeïntegreerde waarden blijven gedurende de winperiode kleiner dan 6% voor de drie hoofdsenario's.

Aangezien de suppletiezandwinning in 2000 en voorgaande jaren impliciet is meegenomen in de achtergrondconcentratie wordt de cumulatieve concentratie overschat. Zie Paragraaf 5.2 voor nadere uitleg.

7.4 Doorzicht, Nutriënten en primaire productie

Voor de simulatie van het doorzicht, de nutriënten en de primaire productie is het GEM-model toegepast. Als invoer is de slibconcentratie gebruikt. Overige instellingen zijn niet aangepast ten opzichte van de MER Maasvlakte 2. Een validatie is uitgevoerd voor het jaar 2000. De resultaten kwamen goed overeen met de beschikbare metingen. Alleen voor enkele locaties offshore (bijvoorbeeld Noordwijk 70km) gaven de modelresultaten een overschatting van de metingen.

Voor de scenarios-studies zijn de slibvelden uit de slibmodellering gebruikt als invoer. De volgende conclusies zijn getrokken op basis van de analyse van de modeluitkomsten van de scenariostudies:

1. De onzekerheidsfactor van 2.2 werkt bijna lineair door in de chlorofyl concentraties voor de Voordelta en de kustzone. In de Waddenzee en de Noordzee kustzone is de doorwerking veel minder sterk.
2. Doordat primaire productie, chlorofyl en nutriënten minder dan proportioneel reageren op veranderingen in zwevend stof gehalten, zijn de effecten op deze grootheden relatief minder groot. De relatieve afname in chlorofyl is ca twee maal zo klein als de relatieve toename in slibgehalte.
3. De invloed van de aanleg van de Maasvlakte is beduidend groter dan de invloed van de suppletiezandwinactiviteiten. In de Voordelta is de invloed van de Maasvlakte 2 zelfs ongeveer een factor acht groter.



4. De verschillen in primaire productie, chlorofyl, nutriënten en doorzicht tussen de individuele jaren zijn gering.
5. Ook de verschillen in primaire productie, chlorofyl, nutriënten en doorzicht tussen de individuele scenario's zijn gering. Scenario Zeewaarts geeft een verplaatsing van de lokale effecten; Scenario 20% extra geeft een verhoging van de effecten van minder dan 20% tov Scenario Kustwaarts; en Scenario Fasering zs geeft een verplaatsing in de tijd van het maximale effect. De verschillen in effect op primaire productie tussen de scenario's volgen dezelfde trends als de verschillen in effect op zwevend stof.
6. Effecten zijn met name merkbaar in de omgeving van de zandwinningsgebieden; effecten op verder weg gelegen gebieden als de Waddenzee zijn zeer gering. Er wordt zelfs een in geringe mate verhoogd chlorofylgehalte gevonden in de Waddenzee. Dit kan verklaard worden doordat minder nutriënten in de kustzone gebruikt worden, die daarmee beschikbaar komen in de Waddenzee.
7. De effecten van de suppletiezandwinning op chlorophyl concentraties zijn jaargemiddeld en gemiddeld over de deelgebieden maximaal:
Voordelta : -3 %
Waddenzee : + 0.3 % (positief !)
Noordzeekustzone: + 0.8 % en – 0.4%
Kustzone : -5 %
Deze waarden zijn inclusief de onzekerheidsfactor 2.2.
8. Maximale relatieve veranderingen als gevolg van de suppletiezandwinning zijn voor de ecologisch belangrijke gebieden maximaal ca 3% (zonder onzekerheidsfactor ca 1.5%), zie ook punt 7. De maximale relatieve cumulatieve veranderingen voor de Voordelta zijn ca 25% en worden voornamelijk veroorzaakt door de Maasvlakte 2. Dergelijke variaties vallen binnen de range van de natuurlijke variabiliteit, maar zijn natuurlijk wel in één richting (minder primaire productie en minder fytoplankton): de verwachte algenbiomassa's nemen lokaal dus wel af.
9. In een relatief sterk beïnvloed gebied als de Noordwijk raai kan de opkomst van de voorjaarsbloei één tot twee weken worden vertraagd.



8 LITERATUUR

RIKZ (2002). Noordzee-atlas voor zwevend stof op basis van satellietbeelden in 2000. RIKZ/IT/2002.102.

AGI (2003). Noordzee-atlas voor zwevend stof op basis van satellietbeelden in 2001. AGI-GAR-2003-38.

Blauw, A.; Van de Wolfshaar, K.; Meuwese H., 2006. Transboundary nutrient transports in the North Sea. WL-rapport 4188.

Buijsman, A., H. Ridderinkhof, 2006. Long-term ferry-ADCP observations of tidal currents in the Marsdiep inlet. Journal of Sea Research.

Giessen, A. van der, W.P.M. de Ruijter and J.C. Borst, 1990. Three-dimensional current structure in the Dutch coastal zone. Netherlands Journal of Sea Research, 25 (1/2), p. 45-55.

Goede, E.D. de, & D.S. van Maren, 2005. Impact of Maasvlakte 2 on the Wadden Sea and North Sea coastal zone. Track 1: Detailed modelling research. Part I: Hydrodynamics. WL|Delft Hydraulics report z3945.20. Royal Haskoning 9R2847.A0.

Hut, H.J., 2004. Stroommeting Buitendelta Zeegat tussen Vlieland en Terschelling 27 augustus 2002. Notitie 2003-212. Rijkswaterstaat, Meetdienst Noord-Nederland.

Prandle, D., G. Ballard, D. Flatt, A.J. Harrison, S.E. Jones, P.J. Knight, S. Loch, J. McManus, R. Player & A. Tappin, 1996. Combining modelling and monitoring to determine fluxes of water, dissolved and particulate metals through the Dover Strait. Cont. Shelf Res., 16, p.237-257.

Ridderinkhof, H., H. van Haren, F. Eijgenraam & T. Hillebrand, 2000. Ferry observation on temperature, salinity and currents in the Marsdiep inlet between the North Sea and Wadden Sea. Proc. 2nd Int. Conf. on EuroGoos, Elsevier oceanographic series.

Van Prooijen B., Van Ledden M., T. van Kessel, A. Nolte, H. Los, J. Boon, W. de Jong (2006). Impact sand extraction Maasvlakte 2. Royal Haskoning, Svasek Hydraulics and WL | Delft Hydraulics.

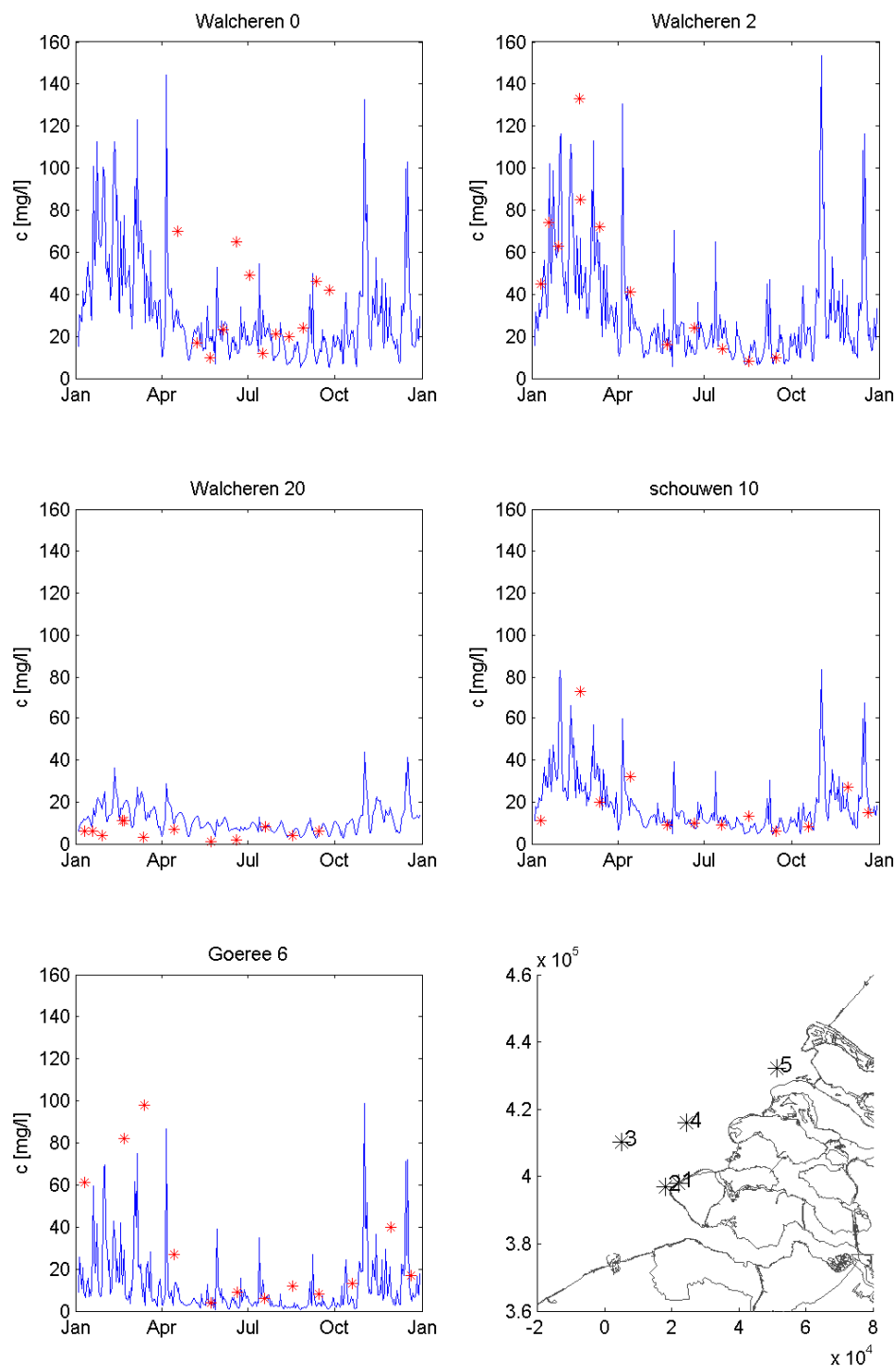
Van Rijn, L.C. 1990. Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas. Aqua publications. ISBN 90-800356-2-9.



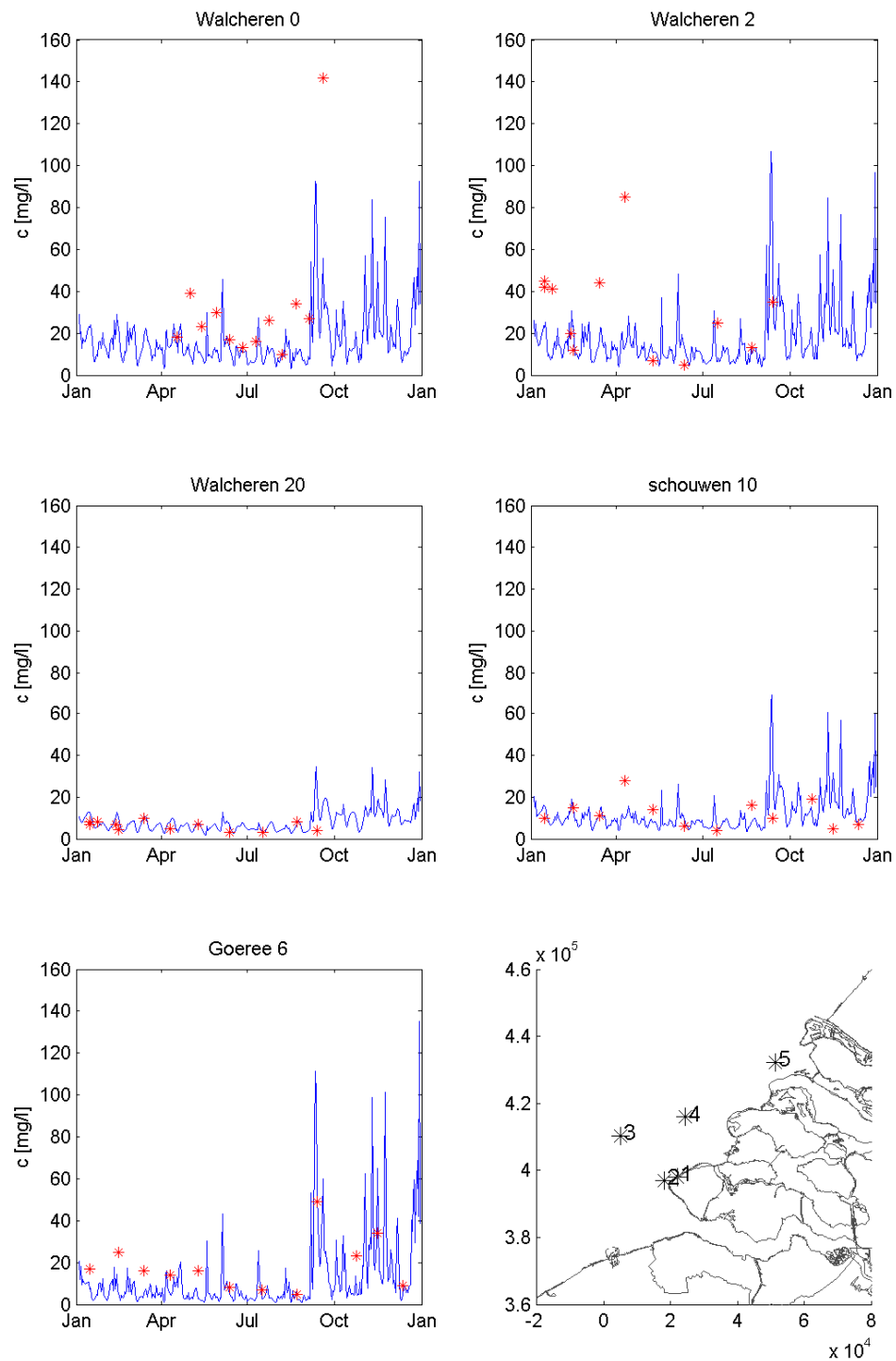
BIJLAGEN



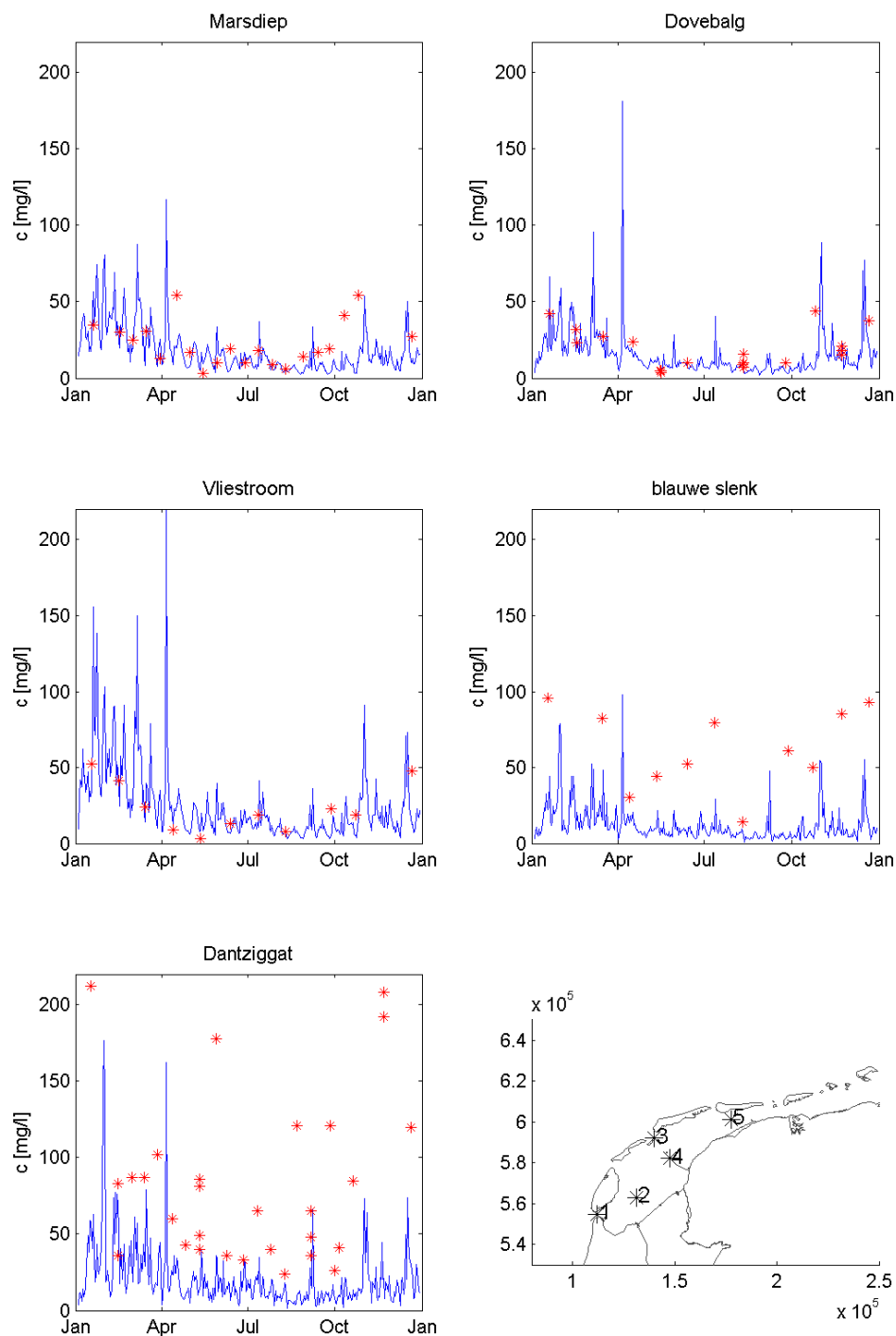
A. CALIBRATIE SLIBTRANSPORT



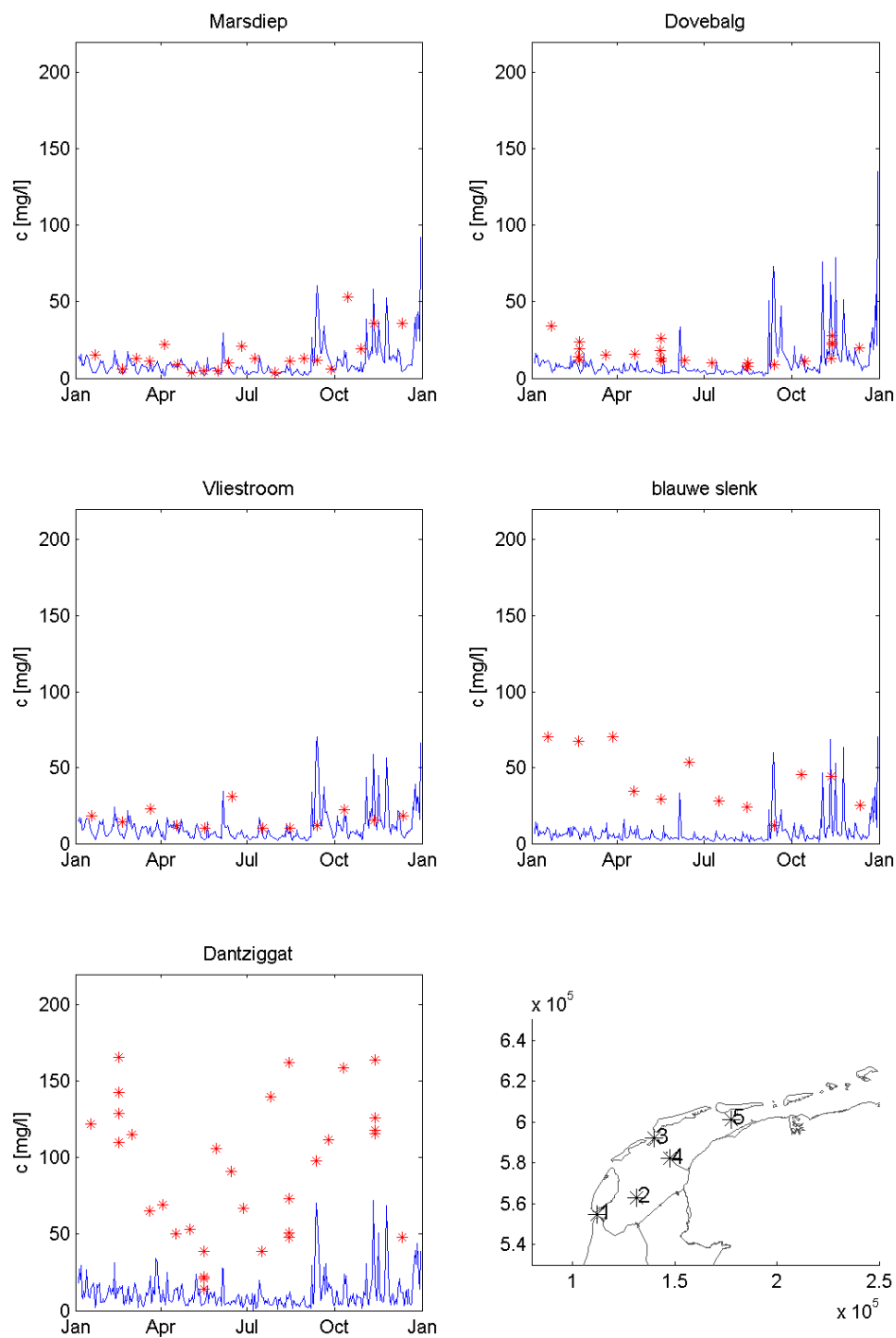
Figuur A.1: Berekende tijdseries (-) en MWTL-data (*) voor locaties in de Voordelta voor het jaar 2000.



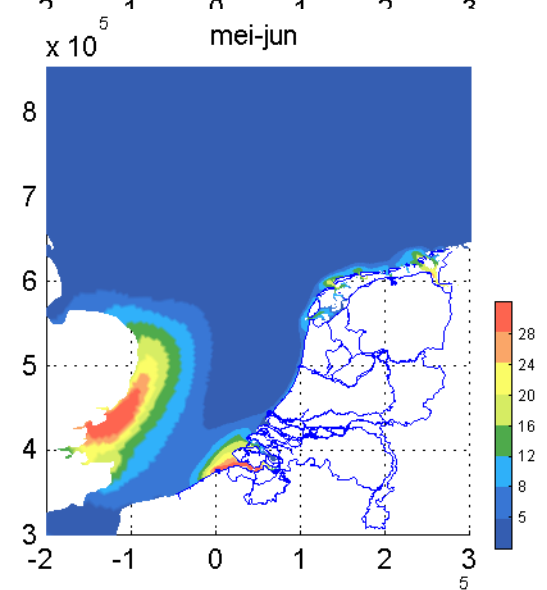
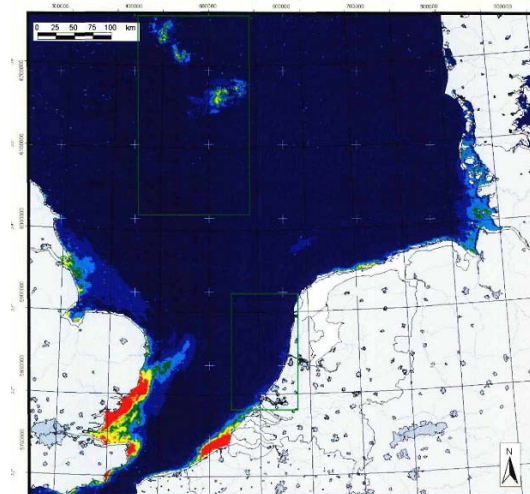
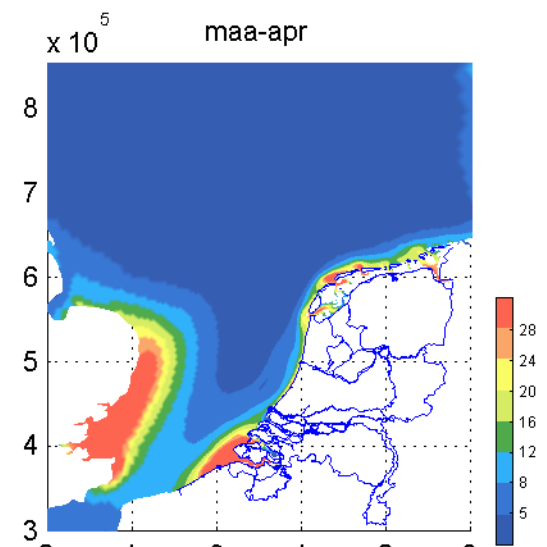
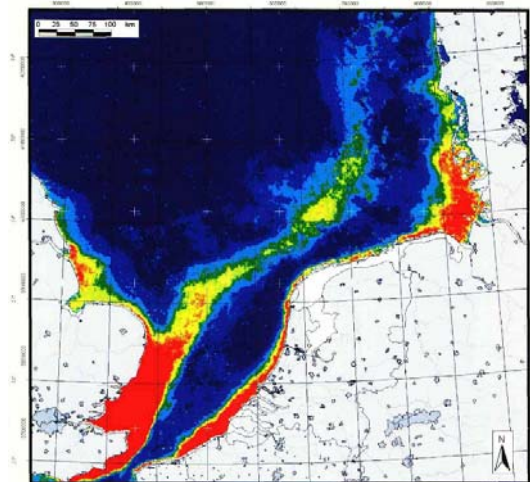
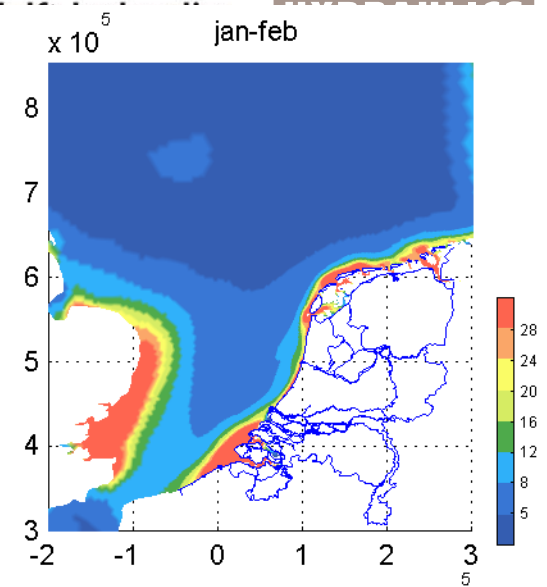
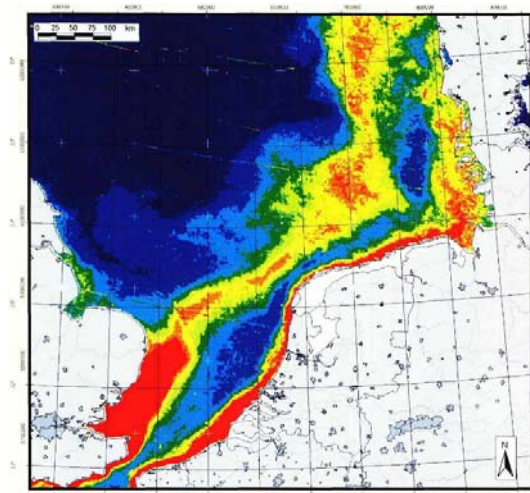
Figuur A.2: Berekende tijdseries (-) en MWTL-data (*) voor locaties in de Voordelta voor het jaar 2001.



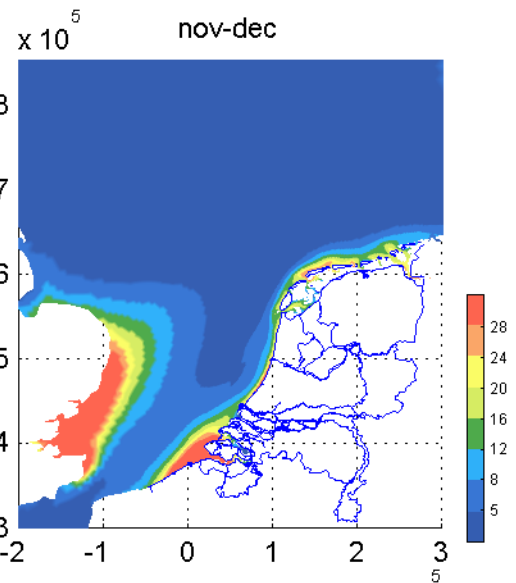
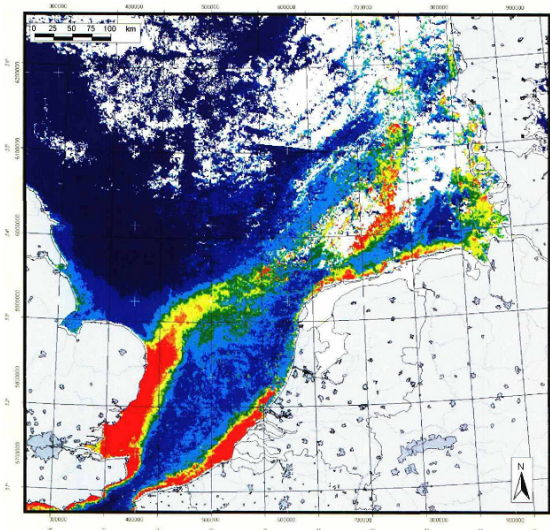
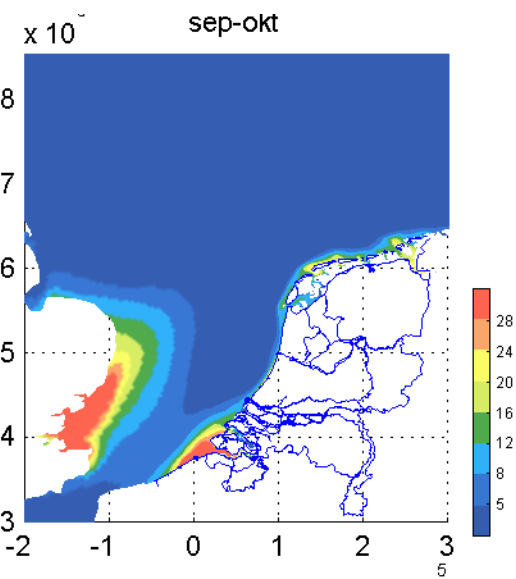
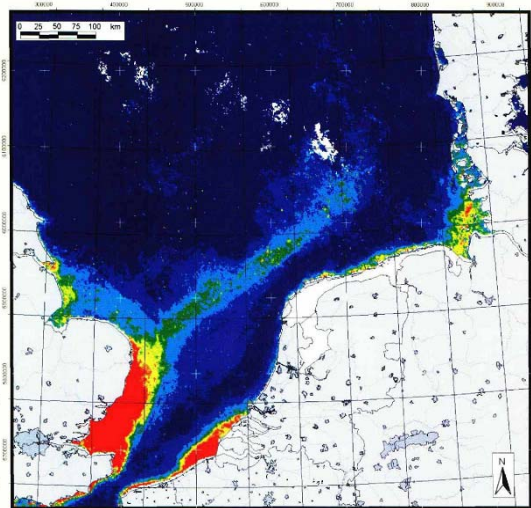
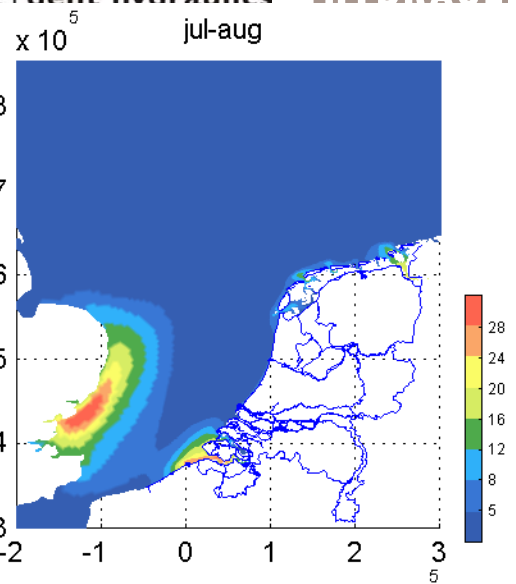
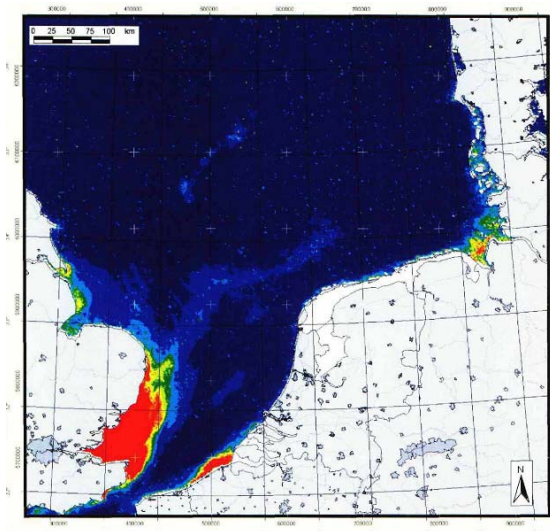
Figuur A.3: Berekende tijdseries (-) en MWTL-data (*) voor locaties in de Waddenzee voor het jaar 2000.



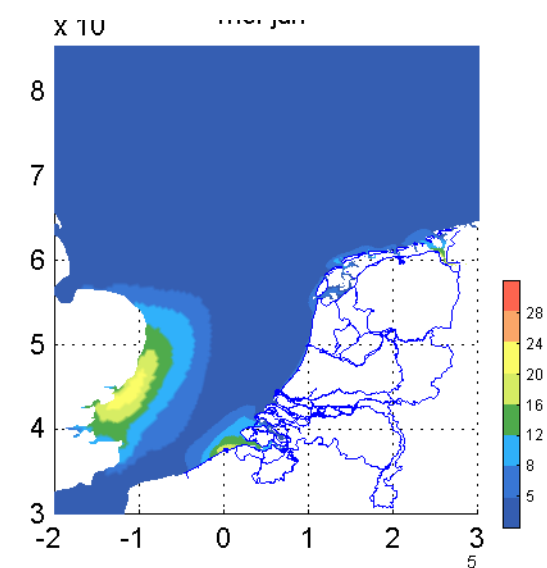
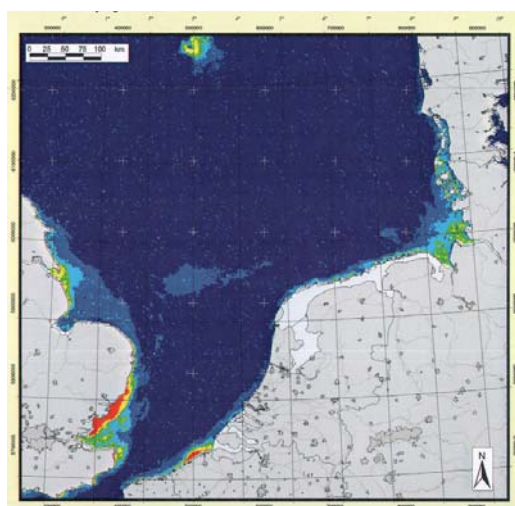
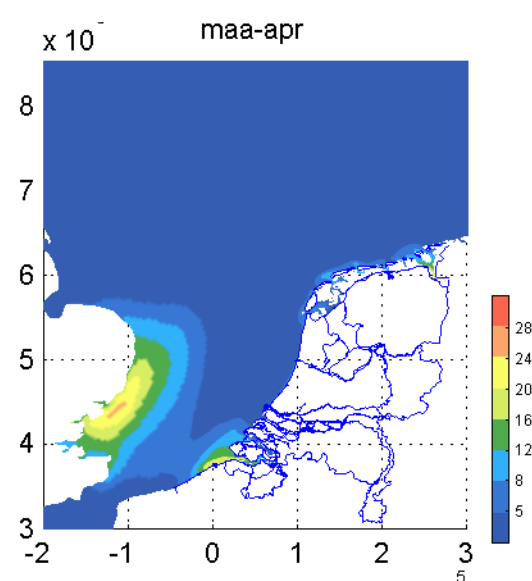
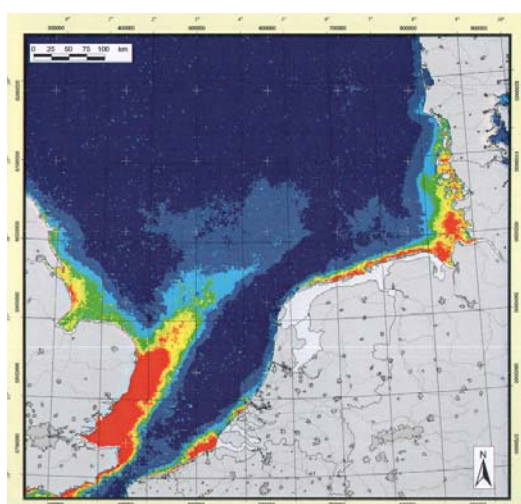
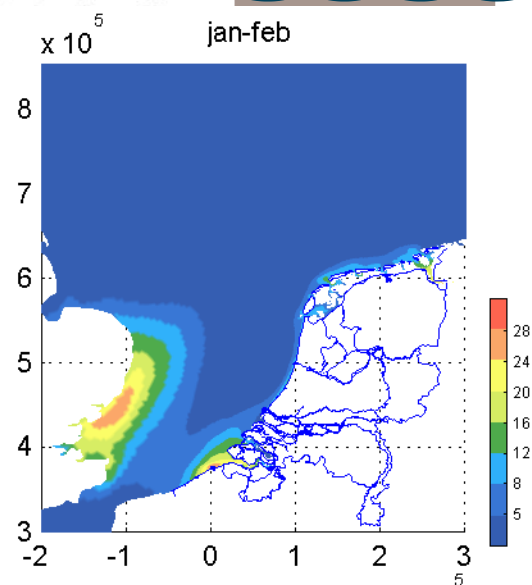
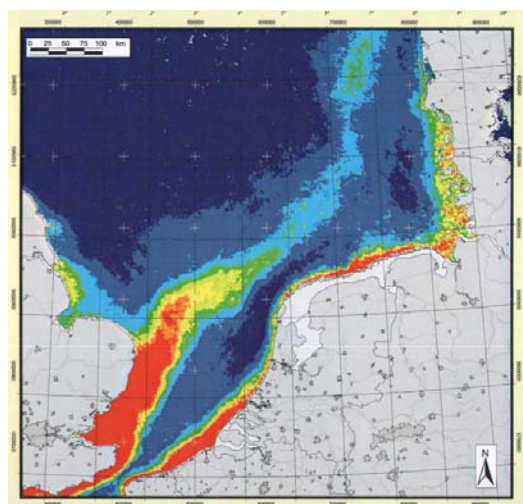
Figuur A.4: Berekende tijdseries (-) en MWTL-data (*) voor locaties in de Waddenzee voor het jaar 2001.



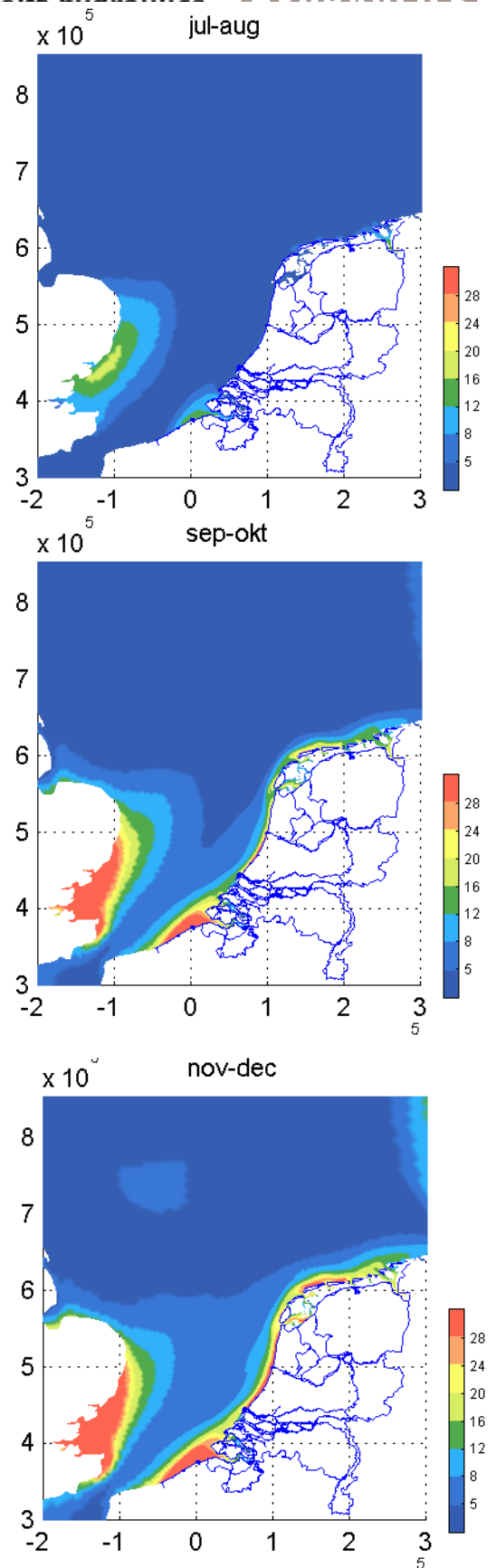
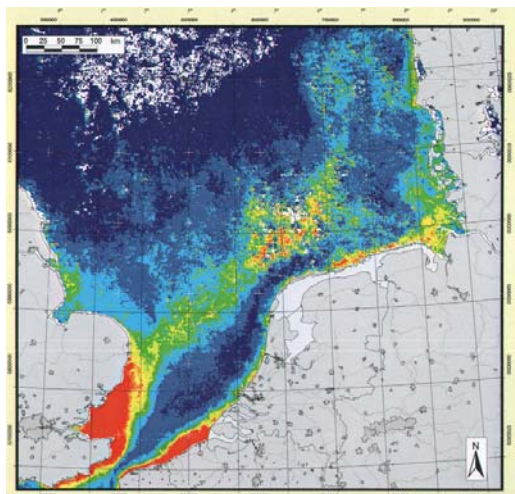
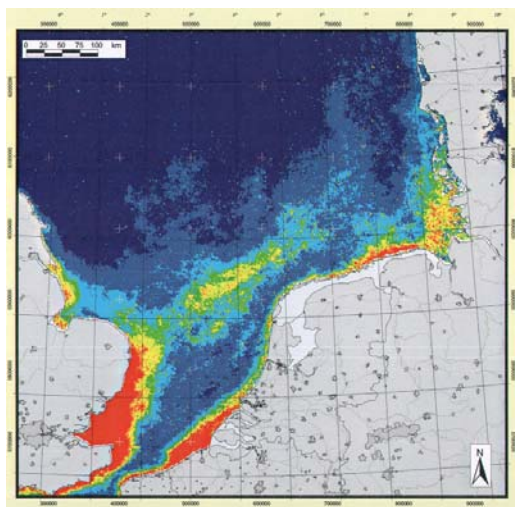
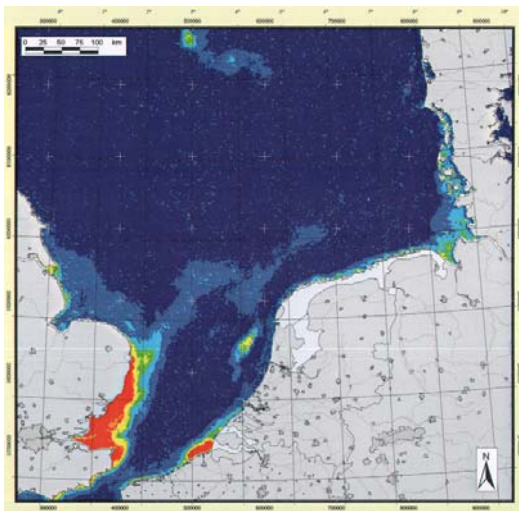
Figuur A.5: Tweemaandelijks gemiddelde concentraties voor het jaar 2000. Links de waarden uit de satellietbeelden (RIKZ 2002) en rechts de gesimuleerde concentraties. a) januari-februari; b) maart-april; c) mei-juni.



Figuur A.6: Tweemaandelijks gemiddelde concentraties voor het jaar 2000. Links de waarden uit de satellietbeelden (RIKZ 2002) en rechts de gesimuleerde concentraties. a) juli-augstus; b) september-oktober; c) november-december.



Figuur A.7: Tweemaandelijks gemiddelde concentraties voor het jaar 2001. Links de waarden uit de satellietbeelden (AGI 2003) en rechts de gesimuleerde concentraties. a) januari-februari; b) maart-april; c) mei-juni.



Figuur A.8: Tweemaandelijks gemiddelde concentraties voor het jaar 2001. Links de waarden uit de satellietbeelden (AGI 2003) en rechts de gesimuleerde concentraties. a) juli-augustus; b) september-oktober; c) november-december.



B. SHORT DESCRIPTION OF GEM MODEL

From: F.J. Los, M.T. Villars and M.W.M. Van der Tol, A 3-dimensional primary production model (BLOOM/GEM) and its applications to the (southern) North Sea (coupled physical-chemical-ecological model). *Journal of Marine Systems* (in press).

B.1 Modelling instrument BLOOM/GEM

BLOOM/GEM is a generic ecological modelling instrument that can be applied to any water systems (fresh, transitional or coastal water) to calculate the primary production, chlorophyll-a concentration and phytoplankton species composition. We define a 'generic model' here as a computer code comprising a consistent set of formulations of processes that together described (part of) ecosystem functioning which can be applied to those water bodies that satisfy those ecosystem characteristics. BLOOM/GEM is part of the Delft3D integrated modelling system of WL | Delft Hydraulics, which includes separate modules for hydrodynamics as well as for waves, morphology, and suspended sediments. In this chapter the general set up of BLOOM/GEM is described. The specific application of this generic model to the North Sea is described in the next chapter.

The ecological modelling instrument BLOOM/GEM has two main tasks:

It calculates the *transport* of model substances (state variables) in the water column as a function of advective and dispersive transport (provided by a hydrodynamic model, such as Delft3D-FLOW (Lesser et al., 2004; WL | Delft Hydraulics, 2005), Telemac (EDF-DER, 1998; 2000) or others).

It calculates the *water quality and ecological processes* affecting the concentrations of the state variables. These processes are defined as 'reactions' that causes one or more state variables of the model to appear, to disappear or to change into another state. Within the advection-dispersion equation (below), the processes are included in the source and sink term (S).

B.2 Transport of substances

The transport of dissolved or suspended matter in a fluid is commonly described by the advection-dispersion equation in Cartesian coordinates (Crank, 1975):

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial C u}{\partial x} - \frac{\partial C v}{\partial y} - \frac{\partial C w}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + S(x, y, z)$$

where:

- C : concentration (kg.m⁻³)
- u,v,w : components of the velocity vector (m.s⁻¹)
- D_x,D_y,D_z : components of the dispersion tensor (m².s⁻¹)
- x,y,z : coordinates in three spatial dimensions (m)
- S : source or sink of mass due to physical, chemical and biological processes (kg.m⁻³.s⁻¹)
- t : time (s)



In BLOOM/GEM, this equation is the basis for transport of substances. This equation states that the change of the concentration in time is caused by advective transport due to translation with the velocity vector (u, v, w) and by diffusive and/or dispersive transport, plus addition or extraction of mass (source/sink).

The source and sink term 'S' on the right hand side represents waste loads as well as various (kinetic) water quality and ecological processes. The coefficients terms in this equation are the three components of the velocity vector, the dispersion coefficients D_x , D_y and D_z as well as the source and sink term S. In order to solve the equation, these coefficient terms must be known. The structure of the source/sink term S must also be known. The reactions or other processes which represent S can be 0-order, first-order, or second-order reactions. At the open boundaries of the model domain, suitable boundary conditions for C need to be prescribed. These area dependent conditions determine the uniqueness and physical correctness of the solution of equation (1).

The advection-dispersion equation (1) can be solved analytically for relatively simple problems. For most practical applications, numerical simulation techniques are required due to the complexity of the geometry, the coefficients and the boundary conditions. A number of options for the numerical solution scheme are provided by BLOOM/GEM. In view of these practical applications, BLOOM/GEM has been designed with the aim of flexibility:

- it supports 1D, 2D and 3D model schematisations with a complex and irregular geometry;
- it is equipped with different finite difference solution methods, for both stationary and time varying problems; and
- the input of the geometry and the model coefficients can be done in various ways and the programme supports interfacing with other hydrodynamic models through files.

In addition to transport, concentrations of substances are determined by various physical, chemical and biological reactions, which are referred to as 'water quality and ecological processes'.

B.3 Water quality and ecological processes

Included in BLOOM/GEM are physical, biological and/or chemical reactions that cause one or more state variables of the model to appear, to disappear or to change into another state variable. These processes are related to algae growth and mortality, mineralization of organic matter, nutrient uptake and release, and oxygen production and consumption. The BLOOM/GEM modelling instrument considers three nutrient cycles: nitrogen, phosphorus and silica. The carbon cycle is partially modelled, and a mass-balance of organic carbon is made. The model assumes that the availability of inorganic carbon for uptake by algae is unlimited. Furthermore, different groups of algae are considered, either phytoplankton (e.g. diatoms, flagellates, dinoflagellates, *Phaeocystis*) or macroalgae (*Ulva* 'attached' or *Ulva* 'suspended'), oxygen, suspended detritus, and inorganic particulate matter. Light availability for phytoplankton growth is calculated based on the light irradiance and extinction, due to suspended sediment as well as phytoplankton and other organic matter. Different formulations are available for characterisation of grazers, microphytobenthos, bottom sediment and sediment-water exchange. The formulations can range from simple functions (e.g. grazing) to fully

dynamical processes (e.g. algae growth and mortality). The full set of possible processes is illustrated schematically in Figure 1 and the most standardly used ones are described briefly below. Depending on the objective of the application, a decision as to which ones to include must be made for each model application. In addition it should be noted that not all processes have been equally tested and validated (e.g. microphytobenthos). More detailed description of the processes, including model formulations and process coefficients are given in Los and Wijsman (2007).

Nutrient cycling processes

There is a closed mass balance of all nutrients (P, N and Si) and the processes included for the three nutrients are generally similar. Processes include the uptake of inorganic nutrients by algae and by benthic algae (microphytobenthos). Algae mortality produces detritus and inorganic nutrients (via autolysis). Mineralization of detritus in the water column and in the bottom sediment produces inorganic nutrients, in water and sediment, respectively. Different sediment water formulations are available to define how inorganic nutrients in the sediment are released back into the water column (see sediment-water interaction, below). Nutrients in detritus can be sedimented and resuspended, in a similar manner to inorganic suspended sediment. Nutrients in benthic detritus (sediment) can also become buried, and essentially removed from the system. Specific processes for nitrogen are nitrification and denitrification. Specific processes for phosphorus are sedimentation of adsorbed inorganic phosphorus (AIP), creating a pool of AIP in the sediment, and adsorption/desorption of orthophosphate. There is no explicit microbial loop – the mineralization of algae and detritus is modelled with decay coefficients, which vary with the stoichiometry of the dead organic matter.

Phytoplankton growth and mortality processes

BLOOM/GEM calculates the growth of algae as a function of nutrient and light conditions. Phytoplankton mortality and grazing produces detritus and releases inorganic nutrients (autolysis) in the water column, while mortality of benthic algae produces benthic detritus and releases inorganic nutrients (autolysis) in either the bottom sediment or directly into the overlying water depending on the sediment formulation chosen. Benthic algae can also be buried and removed from the system if there is significant sedimentation. Pelagic algae can sediment to the bottom and benthic algae can be resuspended into the water column. Zooplankton and benthic grazers can be explicitly modelled or may be represented by a grazing function or as part of the total ('natural') mortality (Los and Wijsman, 2006; Loucks and Van Beek, 2005).

Oxygen related processes

BLOOM/GEM solves the mass balance for oxygen, in which several oxygen producing and oxygen consuming processes are considered. Oxygen is produced by algae (primary production) and is consumed by algal respiration, by mineralization of detritus and other organic material (in the water column and bottom sediment), and by nitrification. Exchange of oxygen with the atmosphere (e.g. reaeration) can result in either a gain or loss of oxygen in the water column (Blauw et al., 2007?).

Light attenuation

Since primary production is strongly influenced by light availability and can even become limited if there is too little light, the correct calculation of light conditions in the water column is essential. The availability of light is a function of the solar irradiation within a certain wave length range (photosynthetically available radiation: PAR) and of the



extinction due to absorption and scattering of the light inside the water column. The extinction of light underwater is described by the Lambert-Beer law, the empirical relationship between the absorption of light and the concentration of absorbing species in water:

$$I_z = I_0 * e^{-kz}$$

In this equation I_z is the underwater light intensity at depth z , I_0 is the surface irradiance, k is the extinction coefficient, which can be related to the absorption and scattering properties of the water constituents.

In BLOOM/GEM, the light extinction coefficient (k) is calculated with an empirical model as the sum of the extinction by inorganic suspended solids, labile organic matter, phytoplankton and other organic substances which is taken as a function of the amount of fresh water. Each of the substances, including different phytoplankton species, is characterized by a specific extinction coefficient (Los and Bokhorst, 1997; Van Gils and Tatman, 2003). A detailed description of the equation used in BLOOM/GEM is presented by Los and Wijsman, 2007. Inorganic suspended sediment can be modelled as a state variable (Delft3D-WAQ, WL | Delft Hydraulics, 2003a), or concentrations can be provided as a forcing function. Recently, methods for obtaining suspended sediment concentrations from remote sensing data are being developed (WL|Delft Hydraulics, 2003b).

Sediment-water interaction

BLOOM/GEM provides several options for modelling bottom sediment processes and sediment-water interactions. These vary in complexity and ease of use. Using the simplest description, the sediment serves as a temporary storage of detritus and adsorbed phosphate just below the lowest water segments. The sediment pool can accumulate inorganic and organic particulate matter due to sedimentation from the water column. As the organic matter mineralises in the bottom, related nutrients are released directly back into the overlying water column. In the event of erosion, the bottom particulate matter is resuspended back into the water column. Burial or more generically 'inactivation' permanently removes nutrients from the sediment (WL | Delft Hydraulics, 2002). This approach is often sufficiently accurate, but proves to be inadequate in shallow areas in which a more intense exchange of material between water and sediment prevails. For these type of systems more complicated modules have been designed. Among these are a four layer biochemical model called SWITCH (Smits and Van der Molen, 1993), GEMSED a special version of the benthic nutrient model in ERSEM (Ruurdij and Van Raaphorst, 1995), and a new, n-layer model (WL | Delft Hydraulics, 2002). Potentially these models provide a more accurate description, but they are complicated and in many cases there is a lack of data from sediments to validate them.

BLOOM concept of optimisation

The total algal biomass usually consists of various species of phytoplankton belonging to different taxonomic or functional groups such as diatoms, flagellates, green algae and cyanobacteria, commonly referred to as blue-green algae. This is true for both fresh-water as well as for marine systems. They have different requirements for resources (e.g. nutrients, light) and they have different ecological properties. Some species are considered to be objectionable due to their effect on the turbidity of the water, the

formation of scums or the production of toxins. For example, *Oscillatoria* can achieve very high biomass levels in shallow lakes causing a very low transparency (Berger et al., 1983; Berger 1984; Zevenboom et al., 1982), and *Microcystis* is notorious for the formation of scums and has been reported to produce toxins that are harmful to animals (e.g. cattle) and men (Atkins et al., 2001; Chorus et al., 2000). In the marine environment, *Phaeocystis* is responsible for foam on beaches (Lancelot et al., 1987) and mass mortality of shellfish due to the settlement of a bloom in sheltered areas and subsequent depletion of oxygen (Rogers and Lockwood, 1990). To deal with these phenomena, it is necessary to distinguish between different types of phytoplankton in a model.

The phytoplankton module BLOOM is based upon the principle of competition between different species (Los et al., 1984; Los and Brinkman, 1988; Los, 1991; Van der Molen et al., 1994; Loucks and Van Beek, 2005; Los and Wijsman, 2007). Two basic units are distinguished by the model: The first unit is that of functional groups which we refer to as 'species groups' or simply 'species'. A model species may be equivalent to a biological species, or it can be representative for larger taxonomic units, which are supposed to have similar ecological characteristics. The second unit is that of 'types'. Model species usually consist of several types. A type represents the physiological state of the model species under various possible conditions of limitation. Model species are usually divided into three different types: an N-type representing the eco-physiological condition of a species under nitrogen limitation, a P-type for phosphorus limitation and an E-type, representing the state of a species under low light conditions.

The solution algorithm of the model considers all potentially limiting factors in terms of the available amounts and the requirements by each type of phytoplankton, i.e. the equations are solved under optimisation constraints. The optimisation algorithm selects the resource that is most likely to become limiting and the best adapted type under the prevailing conditions. The suitability of a type (its fitness) is determined by the ratio of its requirement and its growth rate. This means that a type can either become dominant because it needs a comparatively small amount of a limiting resource (it is efficient) or because it grows rapidly (it is opportunistic).

Subsequently, the algorithm considers the next potentially limiting factor and again selects the best adapted phytoplankton type. This procedure is repeated until it is impossible to select a new pair of phytoplankton type and limiting factor without violating (i.e. over-exhausting) one of the resources. Thus the model seeks the optimum solution consisting of n types and n limiting factors.

As a further refinement, BLOOM takes the existing biomasses of all phytoplankton types into account. Because the phytoplankton types represent different phenotypes of the same species, the transition of one type to another occurs at the time scale of a cell division, which is in the order of one day. Due to this characteristic time scale (i.e. Chapter 5 of Harris, 1986), the simulation time step for the BLOOM phytoplankton processes is usually chosen to be 24 hours. A transition between different species is a much slower process as it depends on mortality and net growth rates of different species. In the model, therefore, transitions between types can occur with each BLOOM time step, which is thus more rapid than the transition between species, which may require weeks. It can be shown mathematically that the principle by which each phytoplankton type maximizes its own benefit, effectively means that the total net

production of the phytoplankton community is maximized. This makes it possible to use the computationally efficient Linear Programming technique (Danzig, 1963) to compute the phytoplankton biomasses according to the competition rules formulated for the module.

Note: The BLOOM/GEM model allows a 'variable timestep' to be used for efficient computer run time. For transport typically a time step between 1 and 30 minutes is required depending on the grid and numerical method that is being used. For calculation of ecological processes within BLOOM/GEM, a time step of 24 hours is usually short enough to provide sufficiently accurate results for most biological and chemical processes. Two exceptions are the calculation of the primary production rate and the dissolved oxygen concentration, both of which are calculated with the same time step as transport (i.e. in the order of minutes) to account for the diurnal cycle in the light intensity. To this purpose the measured daily solar radiation is distributed over the known day length according to a predetermined cosine function. Thus the diurnal cycle of dissolved oxygen is simulated at a 30 minutes time step. The result for primary production is integrated over 24 hours to generate the daily growth rate of phytoplankton taking other fluxes i.e. mortality, respiration and nutrient uptake into account. Hence in a typical simulation transport and a small number of processes are simulated with a short time step (i.e. 30 minutes or less) while the majority of the processes are simulated using a much longer time step of 24 hours. Comparative simulations have shown that results of simulations with a 30 minute time step for all processes are similar to those with the variable time-steps.

The number and the characteristics of the phytoplankton species are inputs to the model. Data for about 20 different marine and fresh-water species have been collected over the years based on literature, laboratory experiments (Zevenboom and Mur, 1981; Zevenboom et al., 1983; Zevenboom and Mur, 1984; Post et al., 1985; Riegman, 1992) and previous model applications. Depending on the problem and the water system being modelled (specific model application to either fresh, transitional or coastal water), sometimes only major groups are included such as diatoms, greens and blue-greens, and sometimes individual genera are modelled such as *Ulva* or *Phaeocystis*. For each species and species type, there is a different factor for converting biomass to chlorophyll concentration. This factor is variable depending on the limiting factor (light; nutrients) and ranges from 0.0067 to 0.0533 mg Chla per mg C. A complete overview is given in Los and Wijsman, 2007.

B.4 History of GEM/BLOOM applications for the North Sea - repeated validations

Conceptual and mathematical ecological models have played a central role in marine biology and ecology as tools for synthesis, prediction, and understanding. It is clear that significant progress has been made over the last 20 years in the development of numerical process models of the marine environment (Moll et al., 2003; Prandle et al., 2005).

In the Netherlands, ecological modelling and model development occurred in several different groups, each with a different geographic and biological focus, e.g. primary production and macrobenthos in the Wadden Sea (ECOWASP, Brinkman, 1993) carbon flows and macrobenthos in the Eastern Scheldt Estuary (SMOES, Klepper et al., 1994;



Scholten and Van der Tol, 1994) and benthic processes in the Western Scheldt (Soetaert et al., 1994; Soetaert and Herman, 1995a; 1995b). There was also a considerable Dutch contribution to the development of the ERSEM ecological model (Baretta-Bekker, 1995; Baretta-Bekker and Baretta, 1997). WL | Delft Hydraulics together with the Netherlands Institute for Coastal and Marine Management/RIKZ have focused coupled on hydrodynamic - water quality - ecology models and applications for the North Sea as a whole. This work began in the early 1980s when one of the main issues was to describe, understand and predict the development and abatement of eutrophication in the Dutch coastal zone (Van Pagee et al., 1988; Glas and Nauta, 1989; Nauta et al., 1992).

At that time, the transport modelling was based on 2D hydrodynamical calculations for average conditions (one representative day). As a compromise between computational performance and accuracy, a uniform grid size of 16x16 km was selected for the southern North Sea schematisation (up to 57 degrees N) totalling 1395 computational elements. The coupled water quality modelling instrument "DYNAMO" provided reasonable results on a seasonal basis for total algal biomass expressed as chlorophyll and nutrients in areas where the grid size was not too large to represent important horizontal gradients. DYNAMO considered only 2 algae types 'diatoms' and 'others', the first requiring silica as a nutrient.

The next big step in the Dutch North Sea ecological modelling was the implementation of the phytoplankton optimisation module BLOOM, first as a vertical water column application (De Groot et al., 1991; Peeters et al., 1995), then as part of a coupled 2D hydrodynamic-water quality-ecology model (Los and Bokhorst, 1997; Oskar et al., 1998), followed by the model application to a new, curve-linear model grid of the Dutch North Sea coast. This coastline-following grid allowed transport to follow the coastal contours. Seasonal Variations in flow conditions were mimicked by correcting the dispersive flow rates of the representative daily flow as a function of the wind direction and speed during a simulation of the water quality – ecology part of the model. The application, called North Sea Bloom, was used for several management evaluations (e.g. Boon and Bokhorst, 1995; Los and Bokhorst, 1997; Oskar et al., 1998). For the first applications, extensive comparison of model results and measurements was made to obtain the optimal set of model coefficients given the objective of the modelling and the application area. Subsequent advancements and improvements in this line of North Sea ecological modelling consisted of only minor changes in the ecological model formulations and process coefficients. More significant, were step-wise increases in the spatial resolution of the model. Developments in hydrodynamic modelling and increasing computational facilities also allowed more time-specific transport to be modelled, progressing from an 'average' daily residual flow (De Ruijter et al., 1987), to a representative spring-neap cycle (WL Delft Hydraulics/MARE, 2001a,c), to 'historic' hydrodynamics based on spatially varying, daily wind and atmospheric pressure conditions (Table 1). These improvements were driven in part by the need for more accurate model results in regions where steep gradients for nutrients exists, as is the case in the Dutch coastal zone, the main region of interest.

Additional improvements in the model applications primarily concerned abiotic conditions that affect the ecology (suspended solids concentrations and light conditions), as well as the river nutrient loads. Since 1994, with cooperation of the leading Dutch ecological institutes, a number of generic ecological model formulations have been



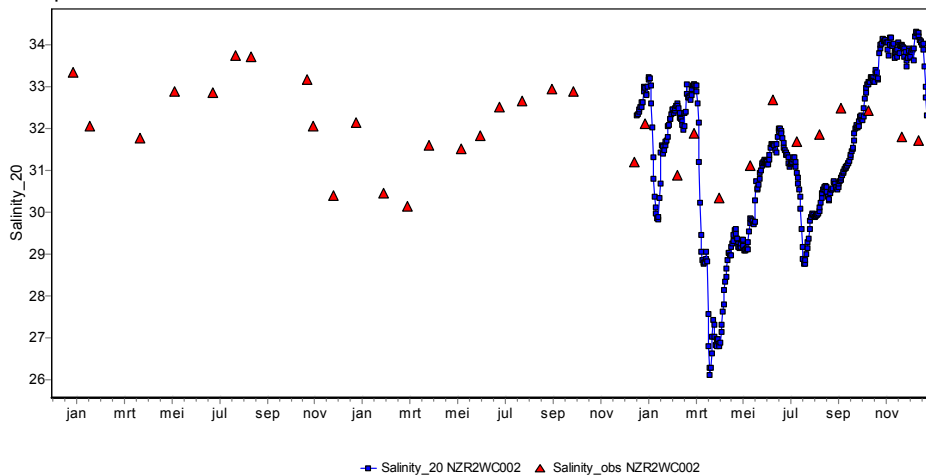
implemented, such as those for macrophytobenthos and other benthic processes. These specific formulations have been combined with BLOOM/GEM (WL | Delft Hydraulics, 2003 a), but not all of these have yet been extensively tested. Further modifications in the ecological modules have been with respect to phytoplankton kinetics (WL Delft Hydraulics/MARE, 2001a) and some coefficients for the extinction computation (Van Gils and Tatman, 2003). Ongoing developments include deriving forcing functions for suspended sediment concentrations from optical remote sensing data. The BLOOM/GEM model applications throughout this period have been primarily 2-dimensional (vertically mixed), due to generally well-mixed conditions in the area of interest, i.e. the Dutch coastal zone.



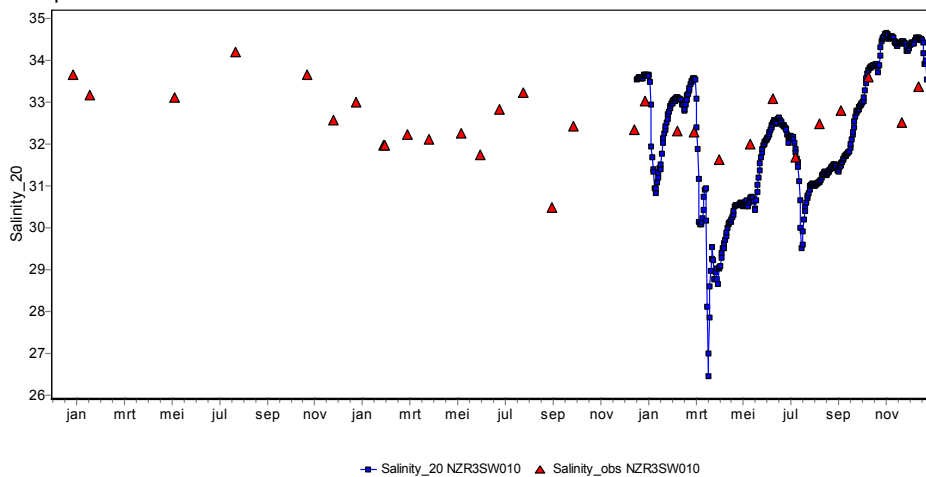
C. VALIDATIE NUTRIENTEN EN PRIMAIRE PRODUCTIE (MWTL)



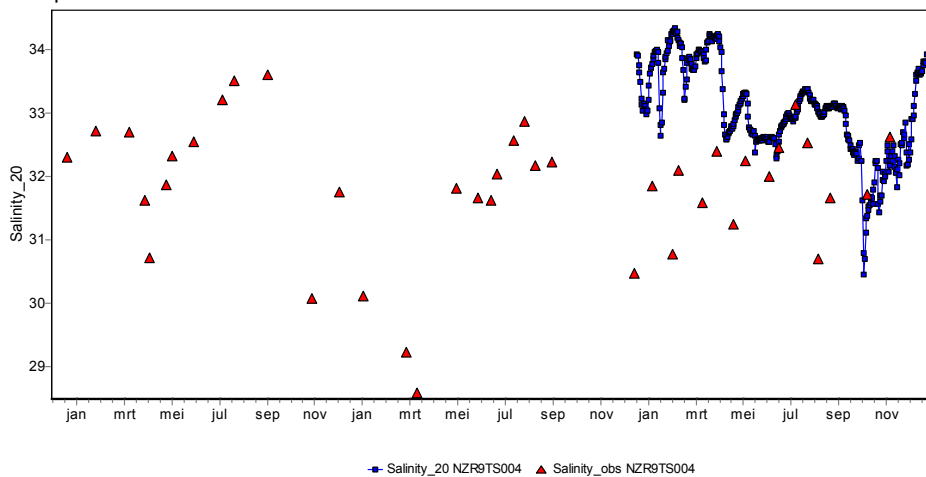
Graph for location NZR2WC002



Graph for location NZR3SW010



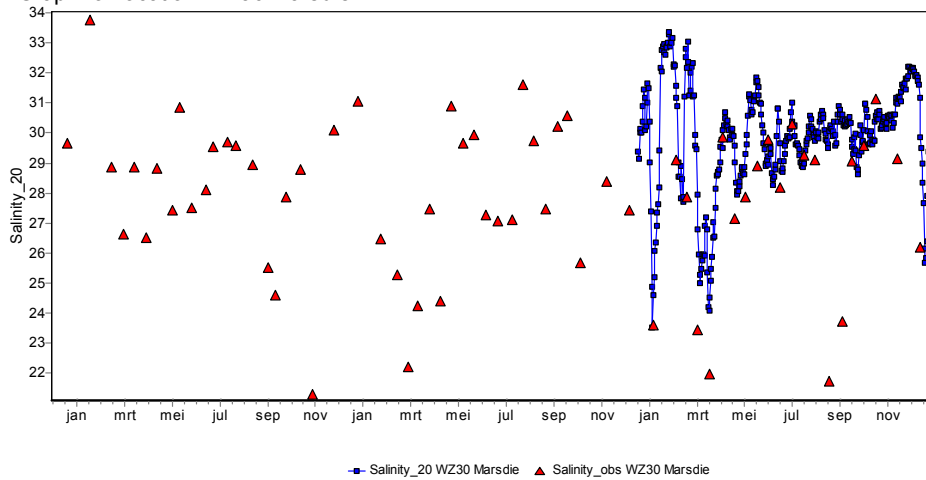
Graph for location NZR9TS004



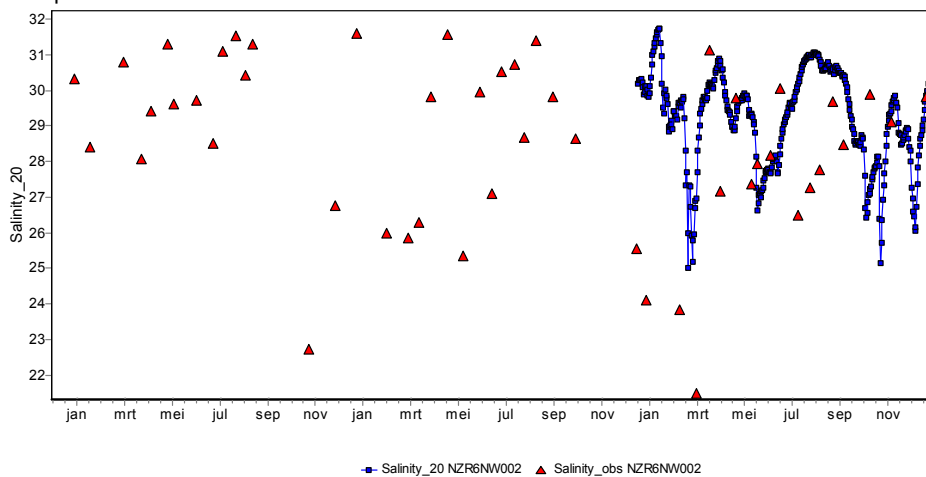
Figuur C.1: Berekende (getrokken blauwe lijn) en gemeten (rode driehoeken) saliniteit in de Nederlandse kustzone en langs de Noordwijk raai voor het jaar 2000.



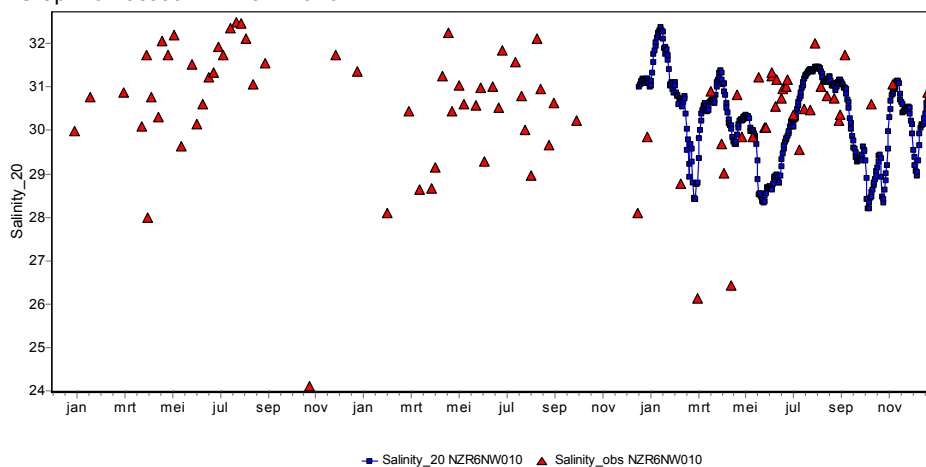
Graph for location WZ30 Marsdie



Graph for location NZR6NW002



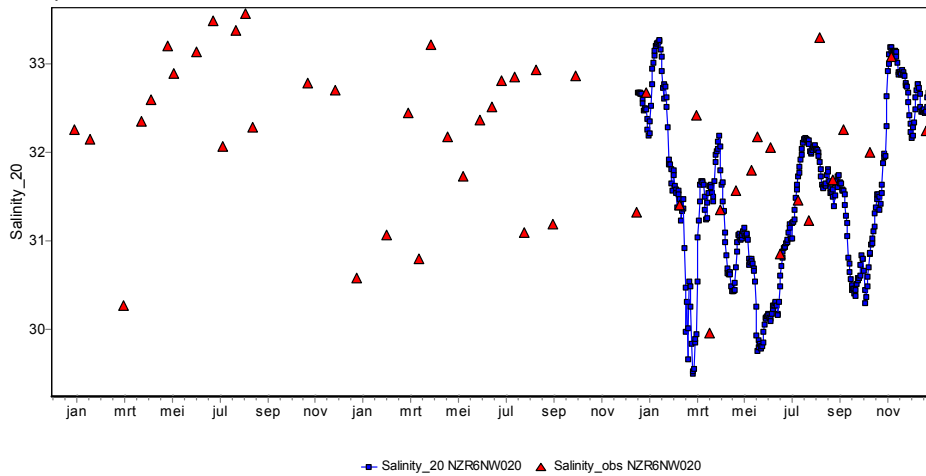
Graph for location NZR6NW010



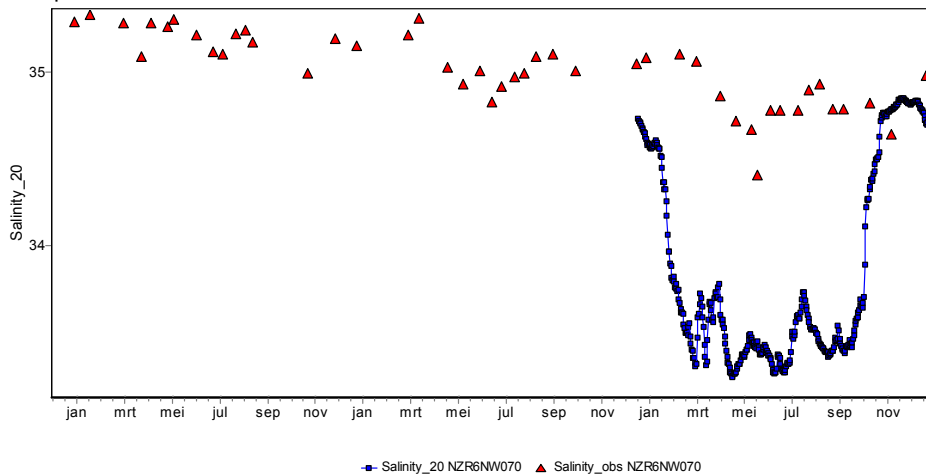
Figuur C.1 (vervolg):Berekende (getrokken blauwe lijn) en gemeten (rode driehoeken) saliniteit in de Nederlandse kustzone en langs de Noordwijk raai voor het jaar 2000.



Graph for location NZR6NW020



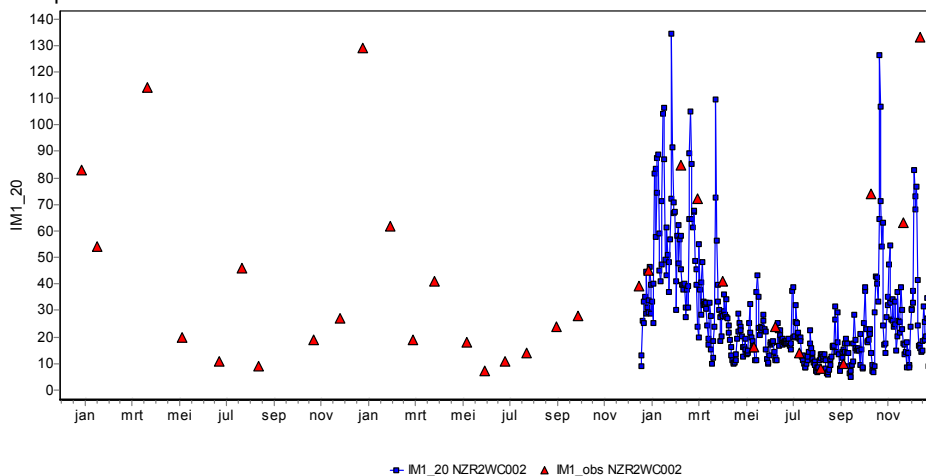
Graph for location NZR6NW070



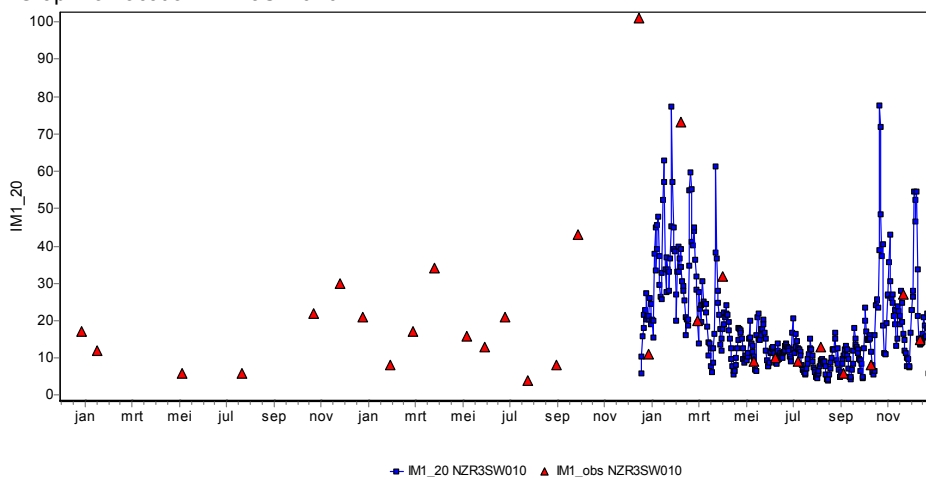
Figuur C.1 (vervolg):Berekende (getrokken blauwe lijn) en gemeten (rode driehoeken) saliniteit in de Nederlandse kustzone en langs de Noordwijk raai voor het jaar 2000.



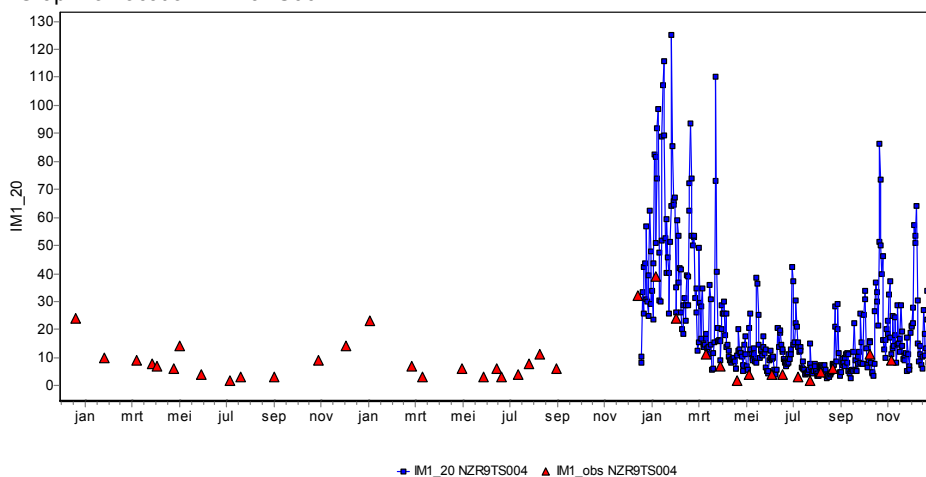
Graph for location NZR2WC002



Graph for location NZR3SW010



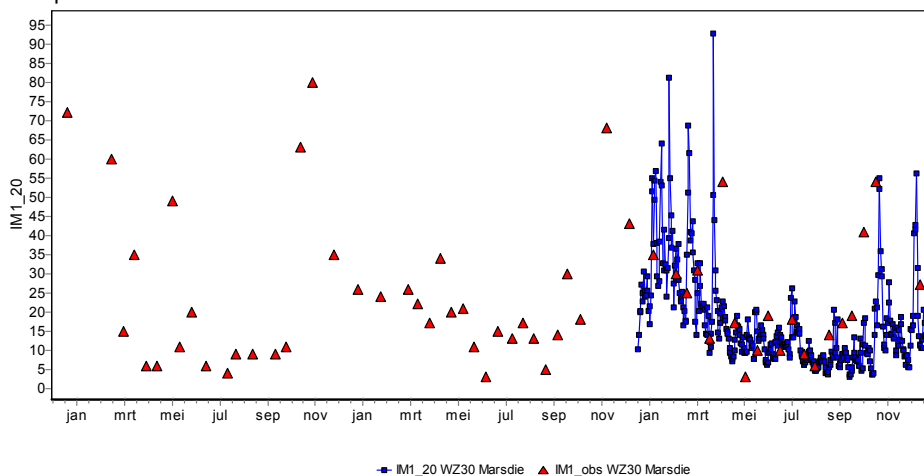
Graph for location NZR9TS004



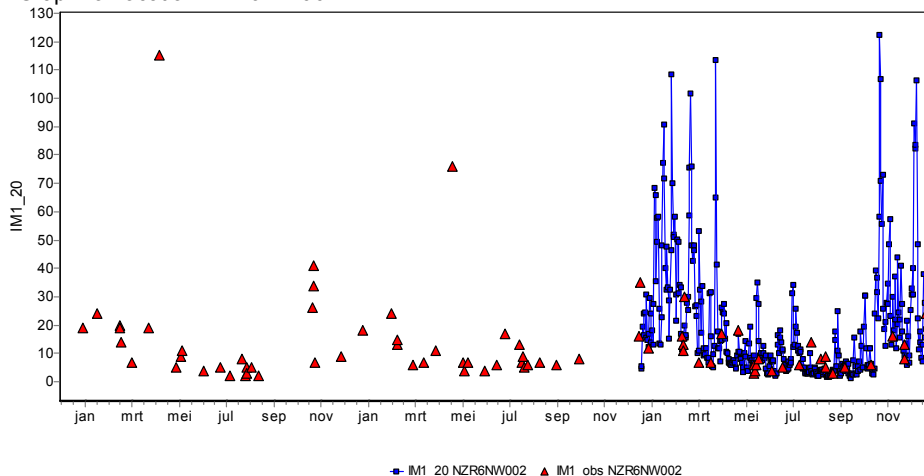
Figuur C.2: Berekende (getrokken blauwe lijn) en gemeten (rode driehoeken) zwevend stof concentraties in de Nederlandse kustzone en langs de Noordwijk raai voor het jaar 2000.



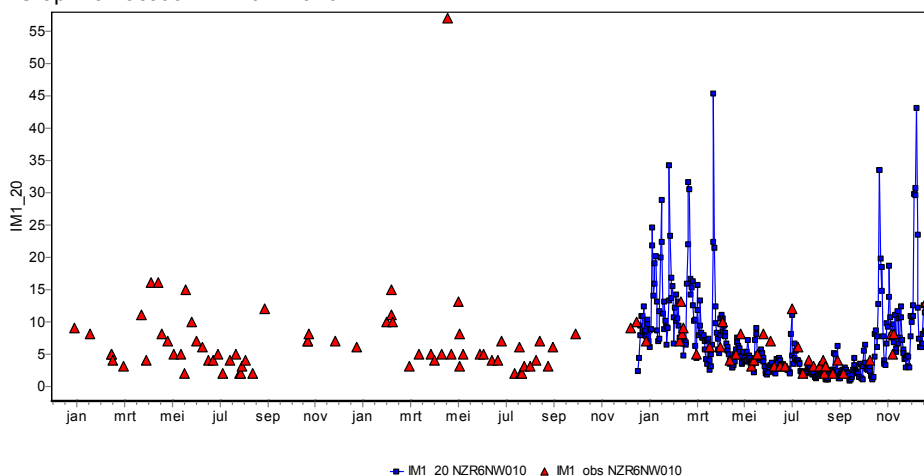
Graph for location WZ30 Marsdie



Graph for location NZR6NW002



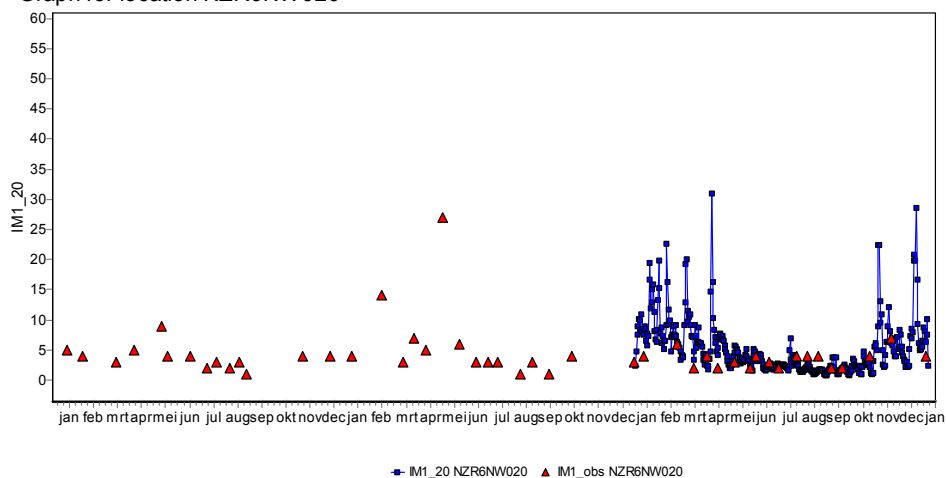
Graph for location NZR6NW010



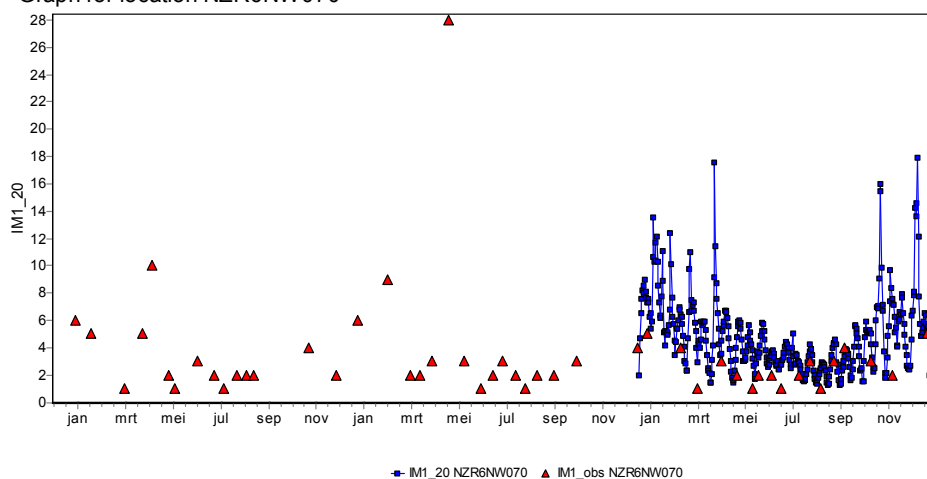
Figuur C.2 (vervolg) Berekende (getrokken blauwe lijn) en gemeten (rode driehoeken) zwevend stof concentraties in de Nederlandse kustzone en langs de Noordwijk raai voor het jaar 2000.



Graph for location NZR6NW020



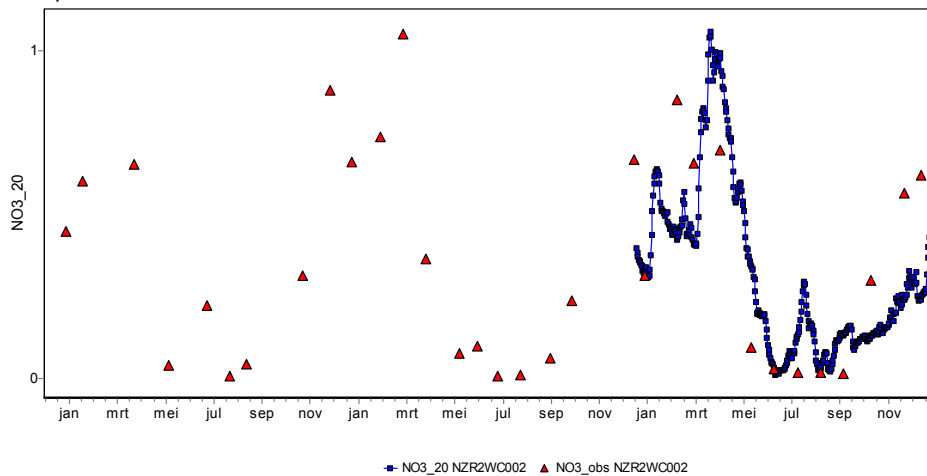
Graph for location NZR6NW070



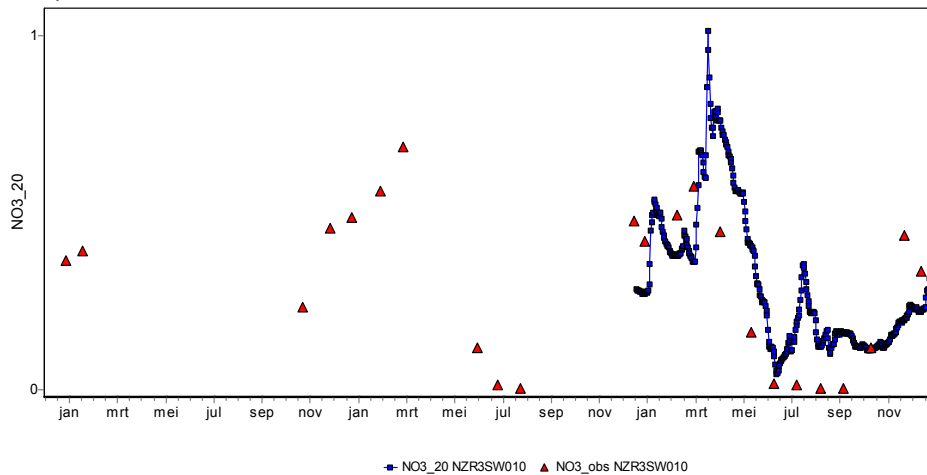
Figuur C.2 (vervolg) Berekende (getrokken blauwe lijn) en gemeten (rode driehoeken) zwevend stof concentraties in de Nederlandse kustzone en langs de Noordwijk raai voor het jaar 2000.



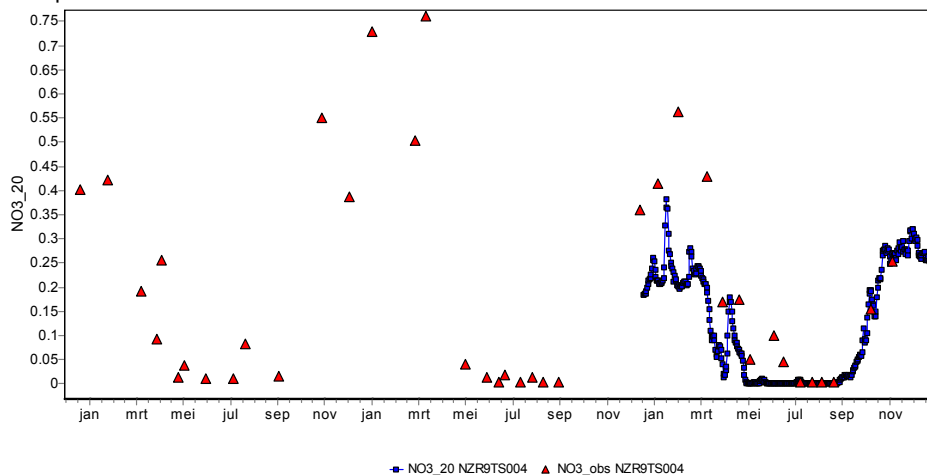
Graph for location NZR2WC002



Graph for location NZR3SW010



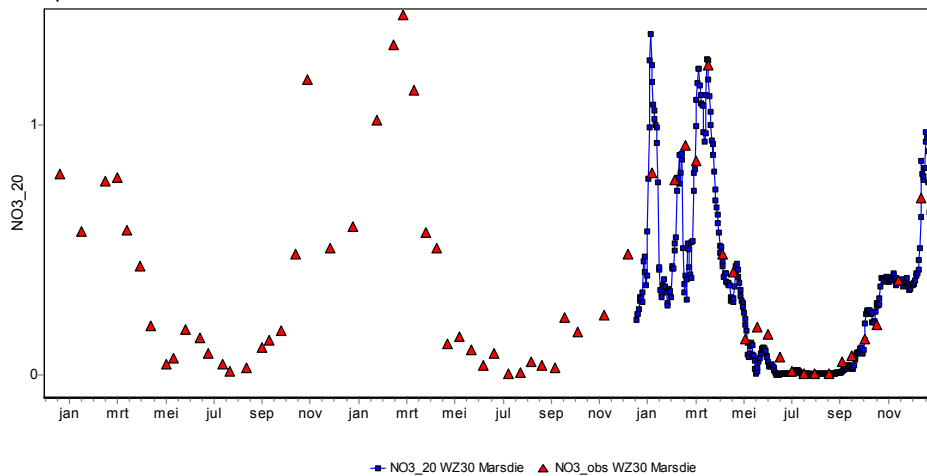
Graph for location NZR9TS004



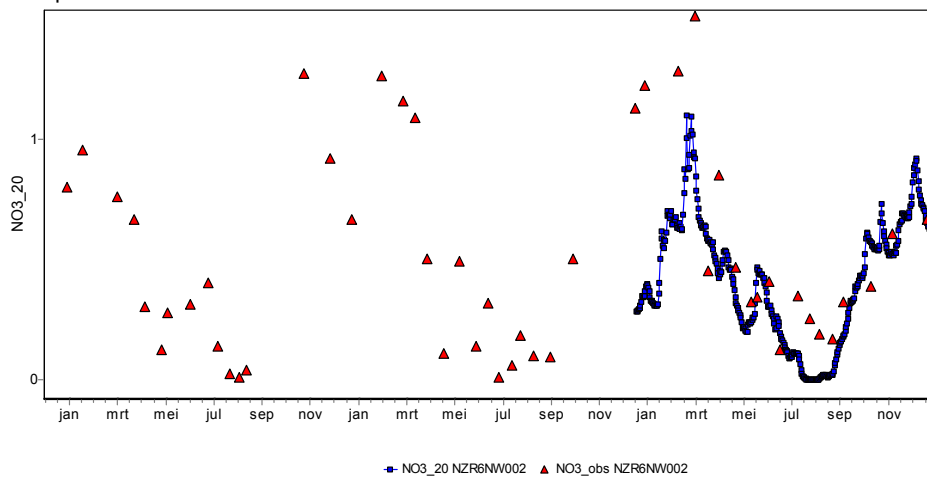
Figuur C.3: Berekende (getrokken blauwe lijn) en gemeten (rode driehoeken) nitraat concentraties in de Nederlandse kustzone en langs de Noordwijk raai voor het jaar 2000.



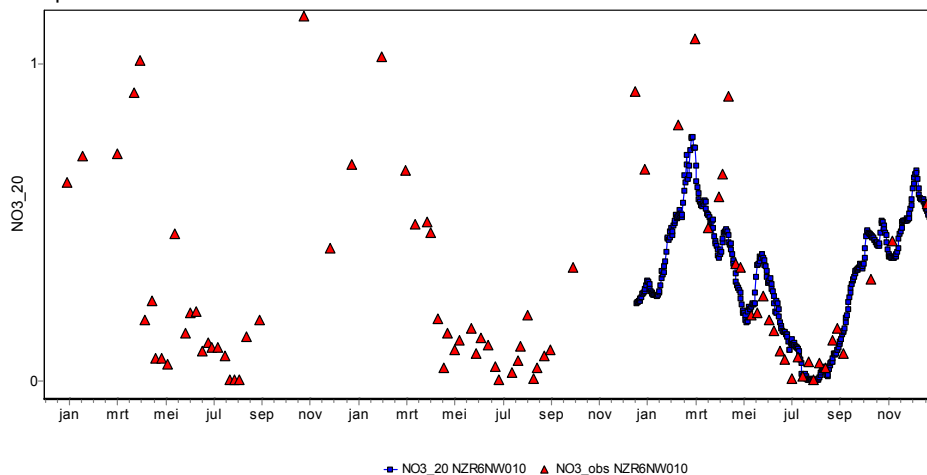
Graph for location WZ30 Marsdie



Graph for location NZR6NW002



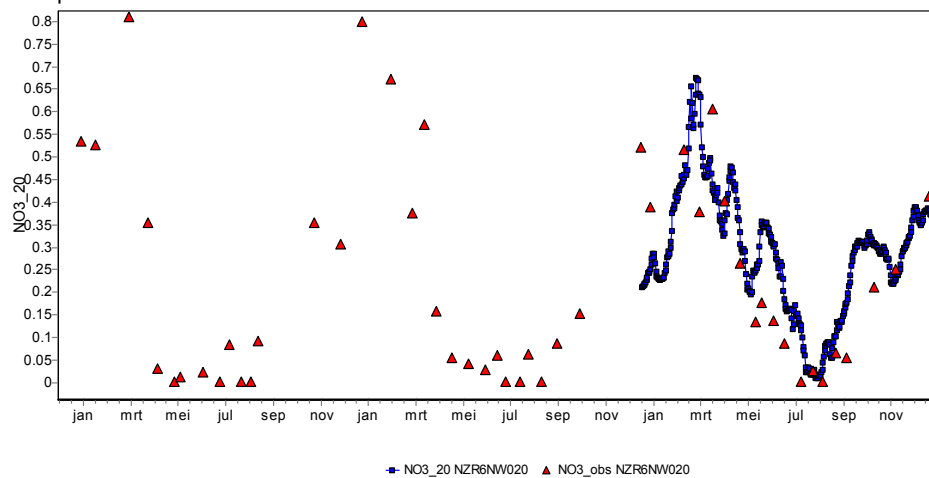
Graph for location NZR6NW010



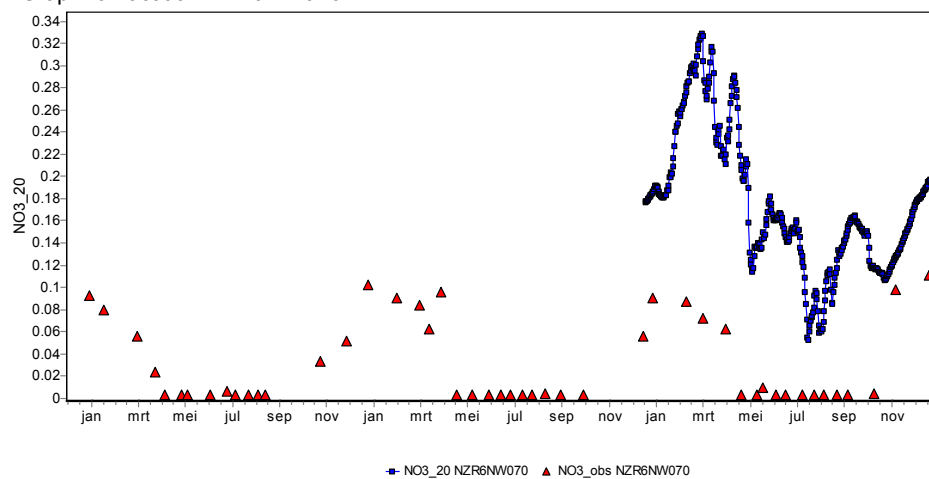
Figuur C.3 (vervolg): Berekende (getrokken blauwe lijn) en gemeten (rode driehoeken) nitraat concentraties in de Nederlandse kustzone en langs de Noordwijk raai voor het jaar 2000.



Graph for location NZR6NW020

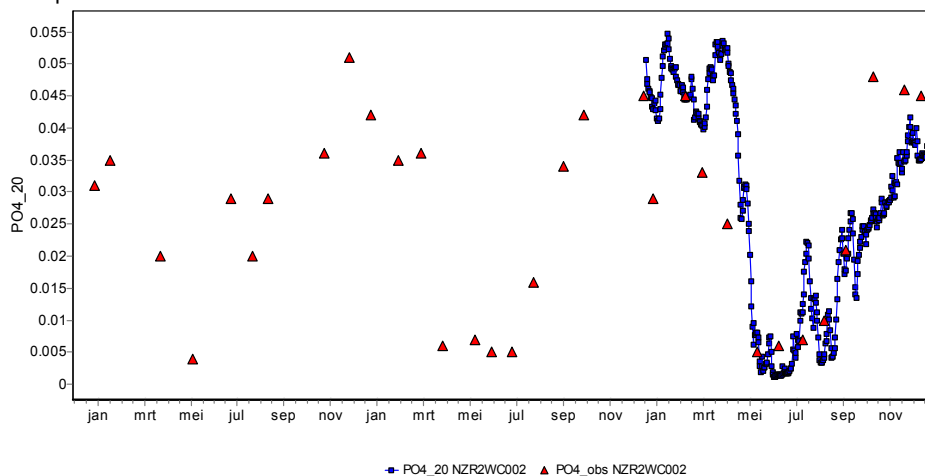


Graph for location NZR6NW070

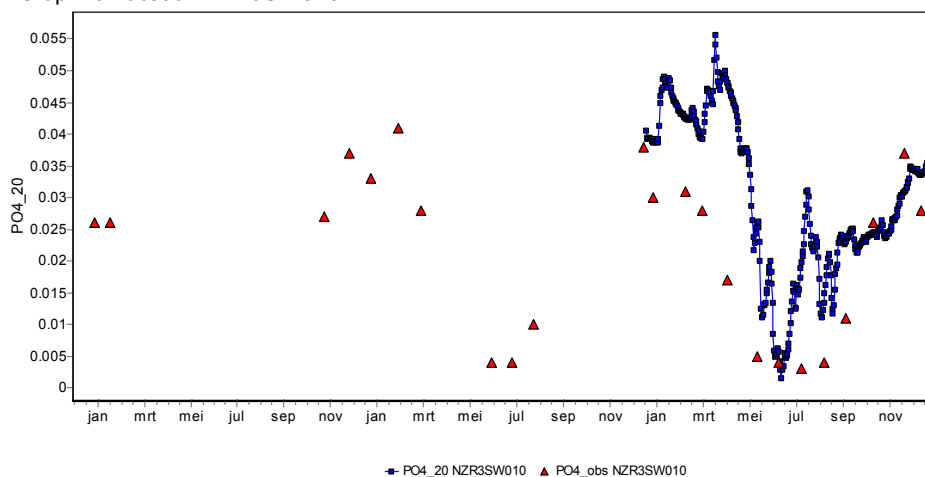


Figuur C.3 (vervolg): Berekende (getrokken blauwe lijn) en gemeten (rode driehoeken) nitraat concentraties in de Nederlandse kustzone en langs de Noordwijk raai voor het jaar 2000.

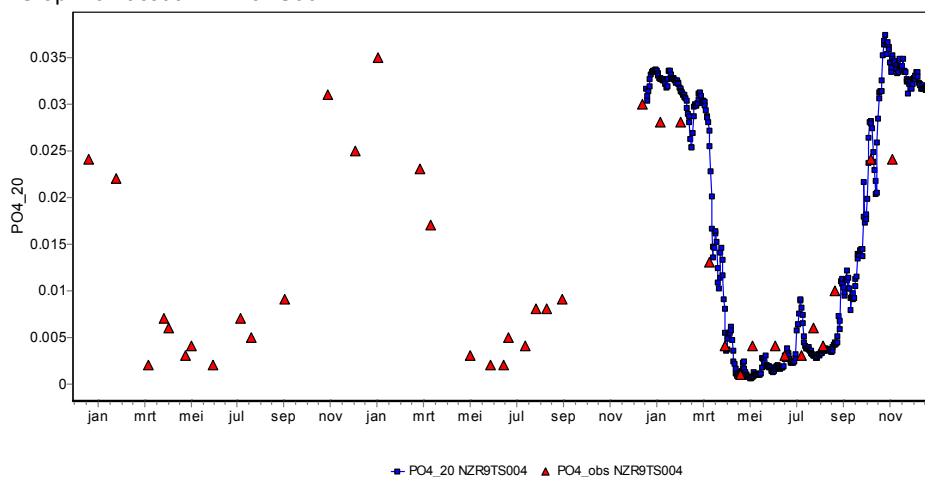
Graph for location NZR2WC002



Graph for location NZR3SW010



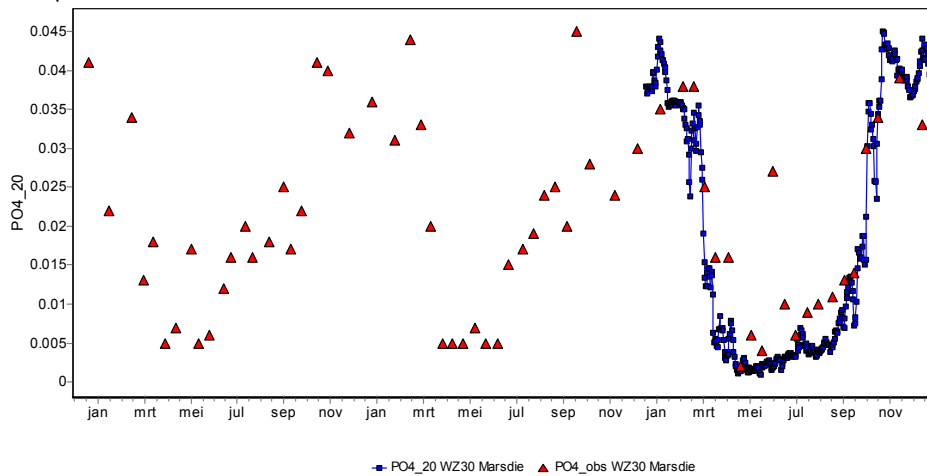
Graph for location NZR9TS004



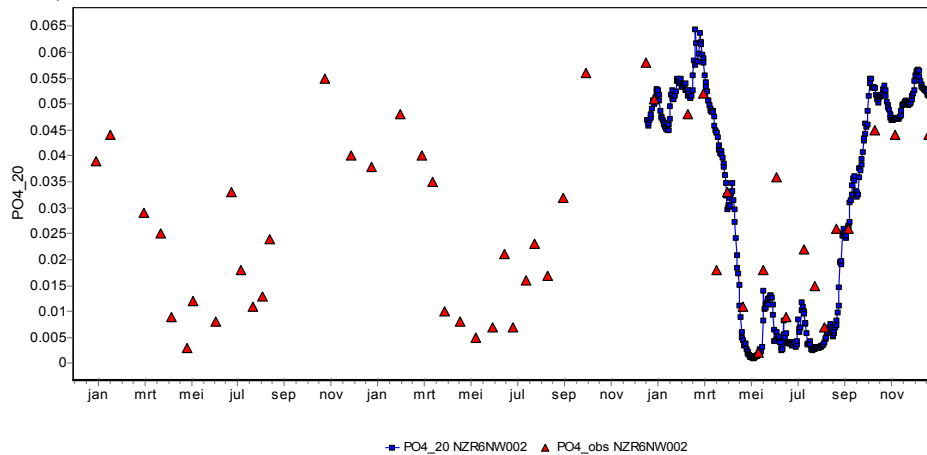
Figuur C.4: Berekende (getrokken blauwe lijn) en gemeten (rode driehoeken) fosfaat concentraties in de Nederlandse kustzone en langs de Noordwijk raai voor het jaar 2000.



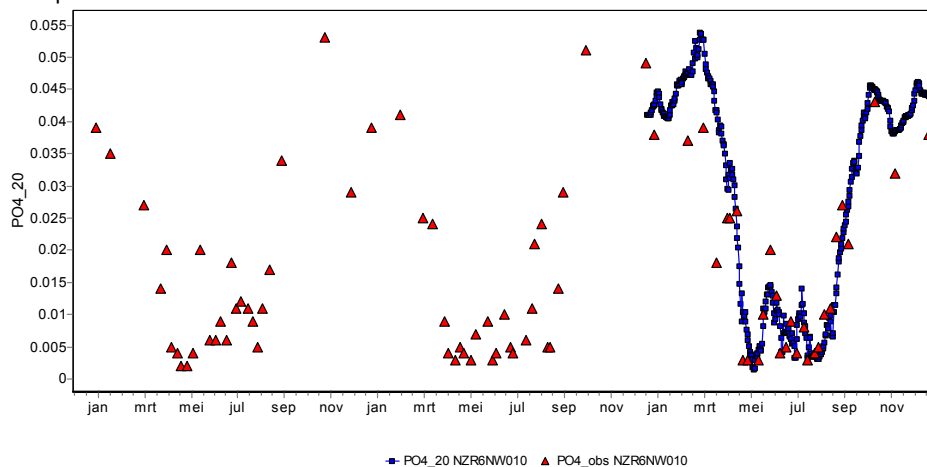
Graph for location WZ30 Marsdie



Graph for location NZR6NW002



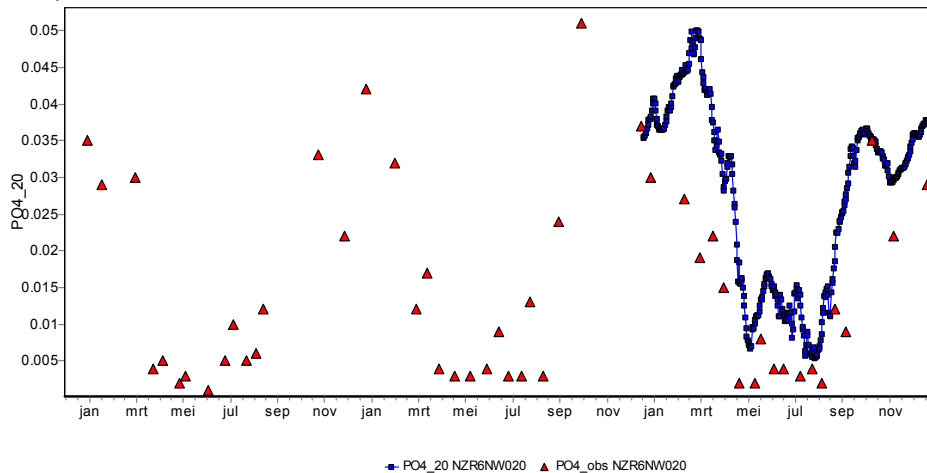
Graph for location NZR6NW010



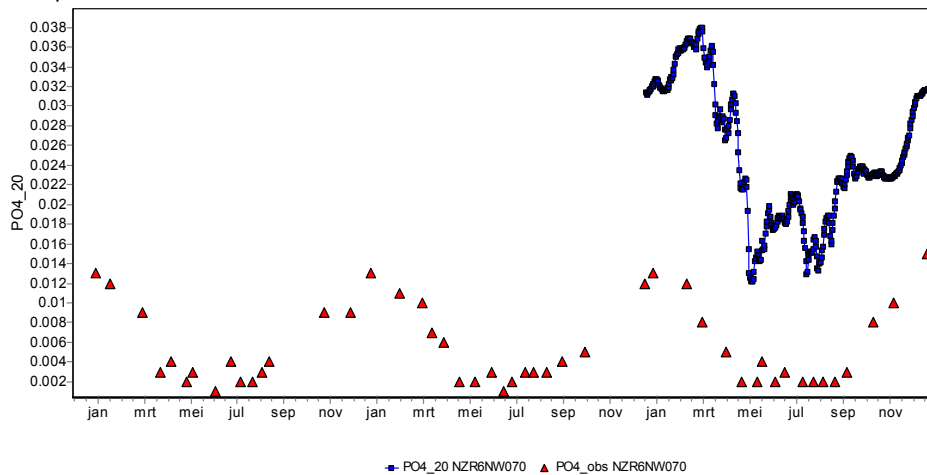
Figuur C.4 (vervolg): Berekende (getrokken blauwe lijn) en gemeten (rode driehoeken) fosfaat concentraties in de Nederlandse kustzone en langs de Noordwijk raai voor het jaar 2000.



Graph for location NZR6NW020



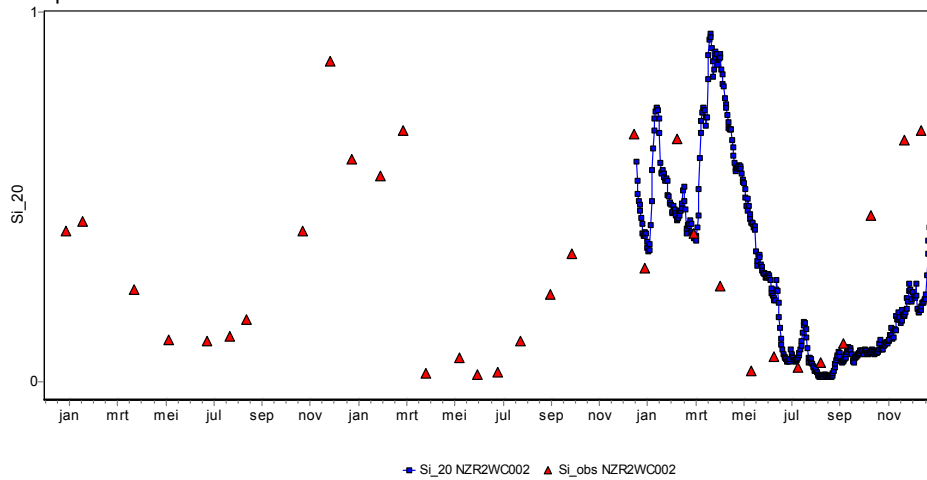
Graph for location NZR6NW070



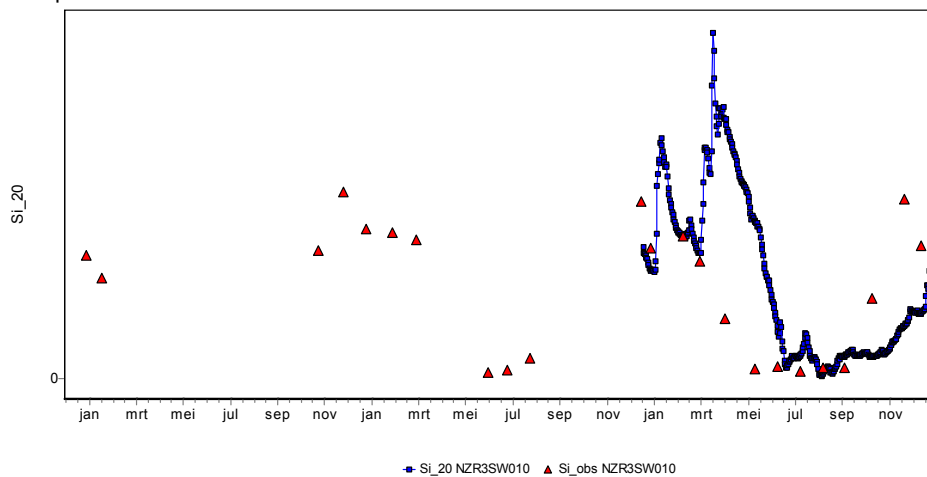
Figuur C.4 (vervolg): Berekende (getrokken blauwe lijn) en gemeten (rode driehoeken) fosfaat concentraties in de Nederlandse kustzone en langs de Noordwijk raai voor het jaar 2000.



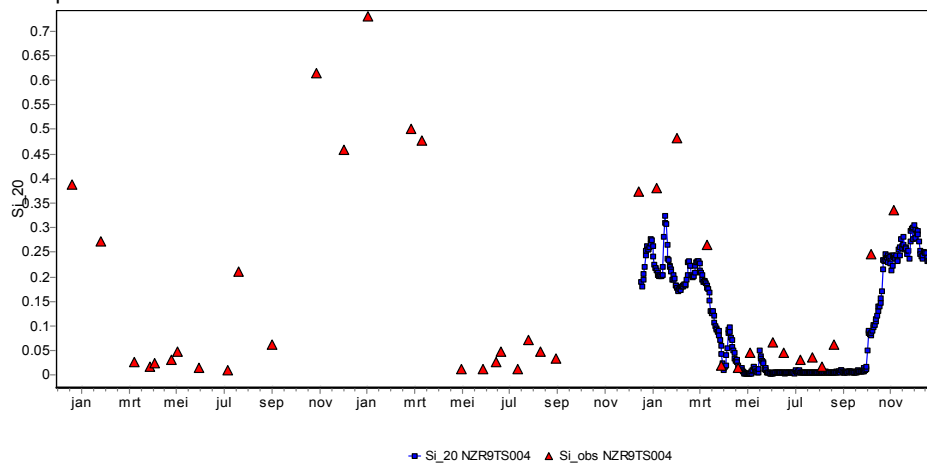
Graph for location NZR2WC002



Graph for location NZR3SW010



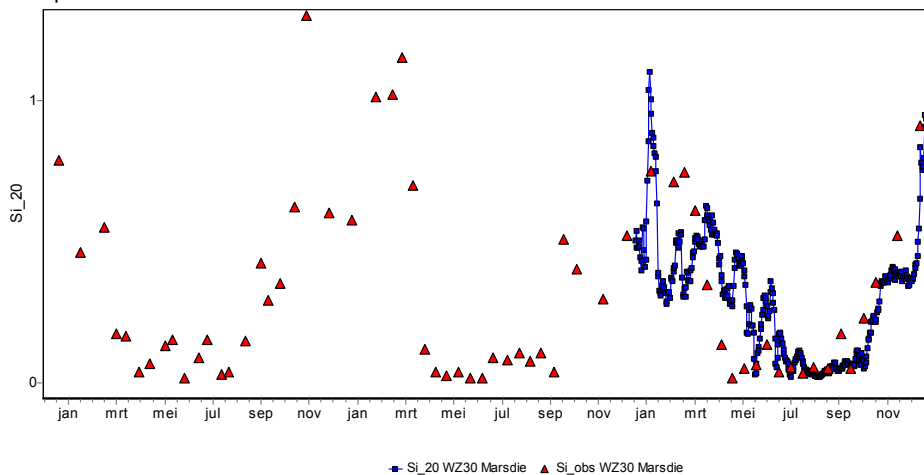
Graph for location NZR9TS004



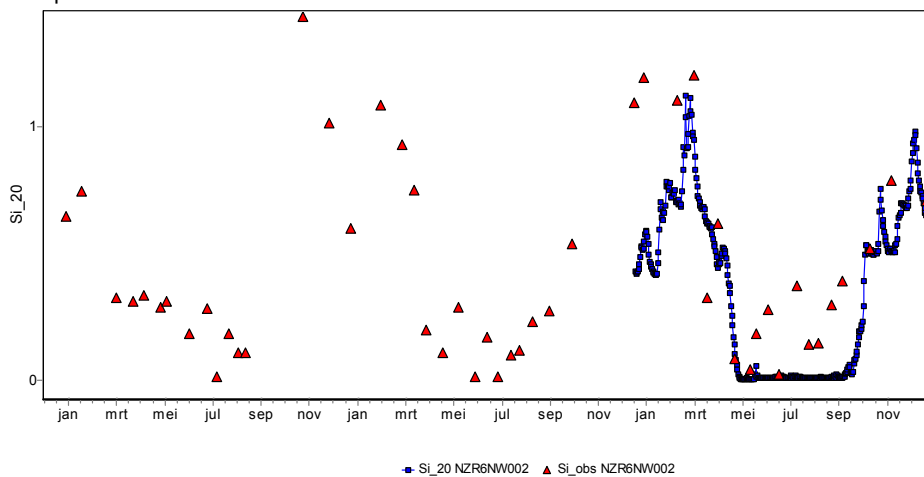
Figuur C.5: Berekende (getrokken blauwe lijn) en gemeten (rode driehoeken) silicaat concentraties in de Nederlandse kustzone en langs de Noordwijk raai voor het jaar 2000.



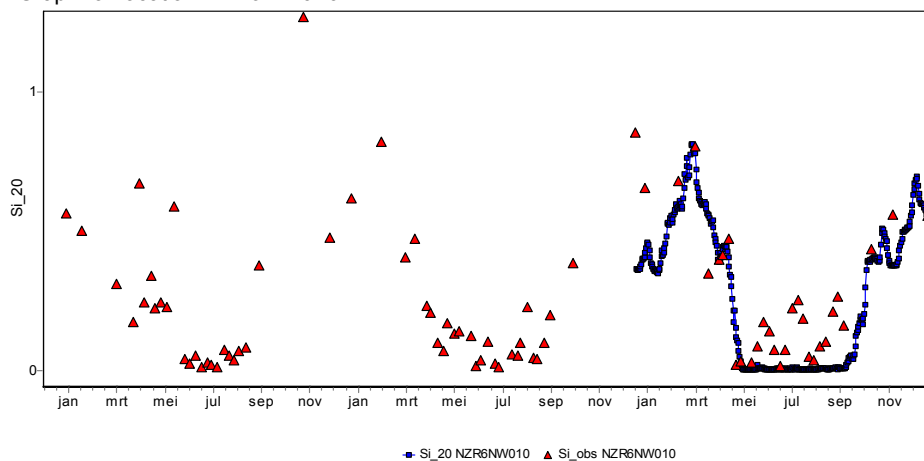
Graph for location WZ30 Marsdie



Graph for location NZR6NW002

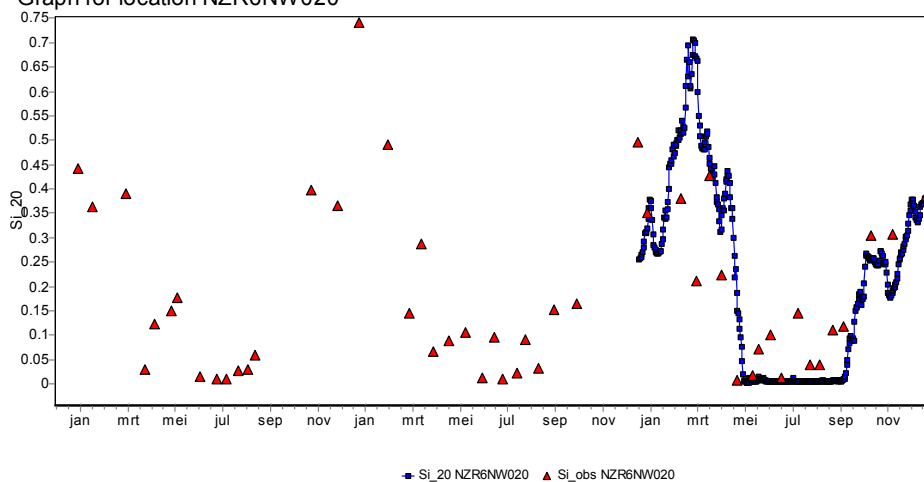


Graph for location NZR6NW010

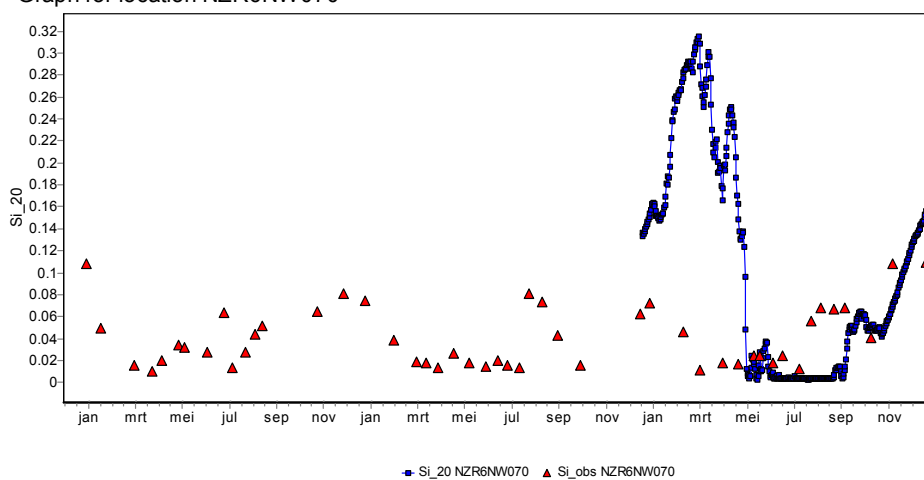


Figuur C.5 (vervolg): Berekende (getrokken blauwe lijn) en gemeten (rode driehoeken) silicaat concentraties in de Nederlandse kustzone en langs de Noordwijk raai voor het jaar 2000.

Graph for location NZR6NW020



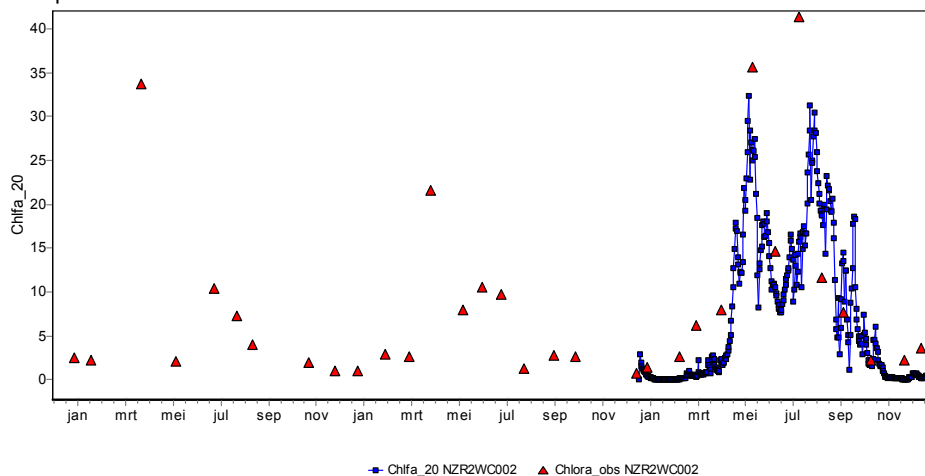
Graph for location NZR6NW070



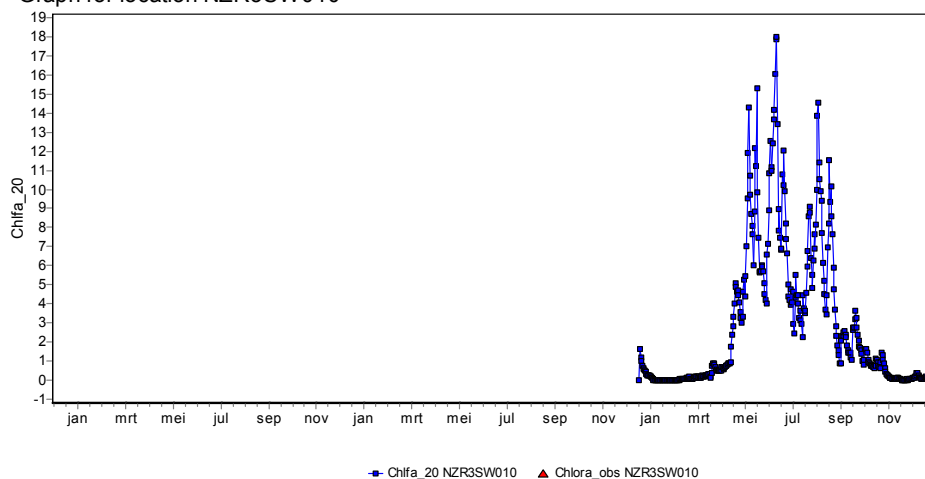
Figuur C.5 (vervolg): Berekende (getrokken blauwe lijn) en gemeten (rode driehoeken) silicaat concentraties in de Nederlandse kustzone en langs de Noordwijk raai voor het jaar 2000.



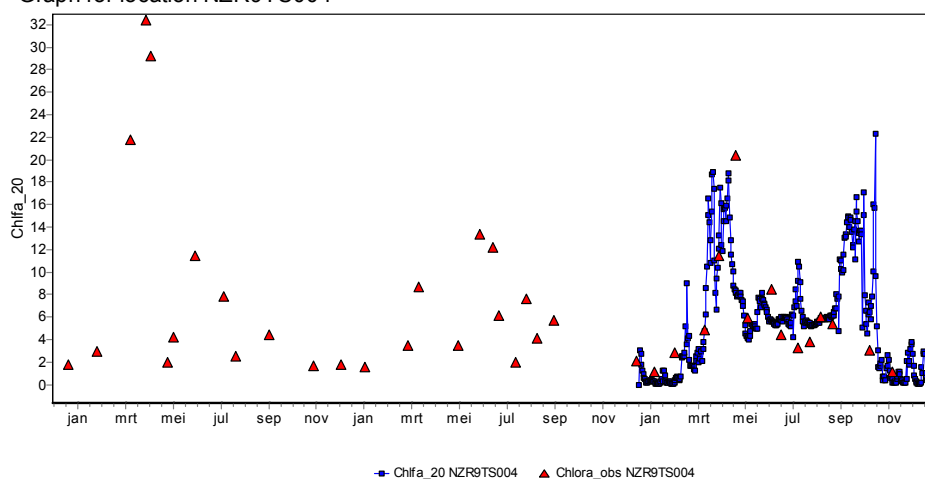
Graph for location NZR2WC002



Graph for location NZR3SW010



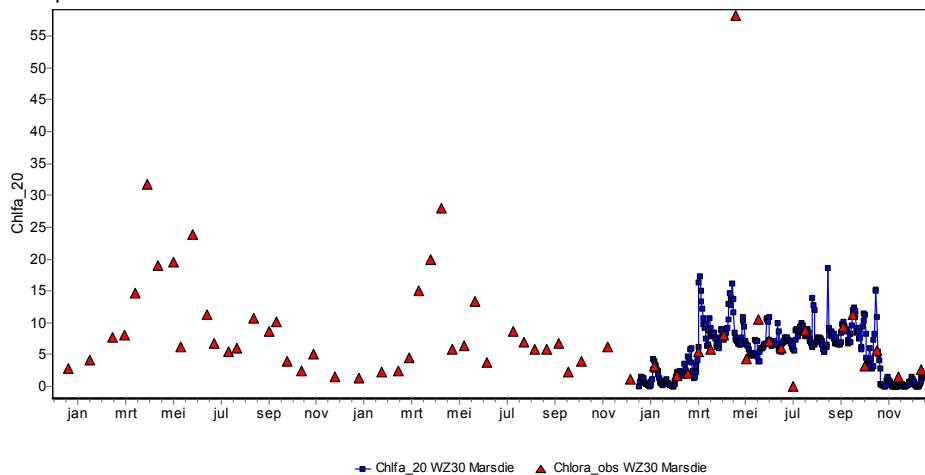
Graph for location NZR9TS004



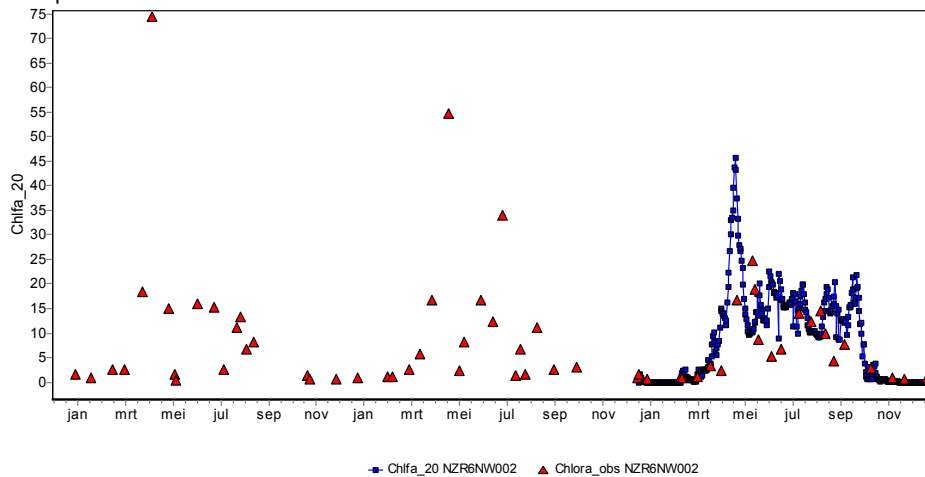
Figuur C.6: Berekende (getrokken blauwe lijn) en gemeten (rode driehoeken) chlorofyl concentraties in de Nederlandse kustzone en langs de Noordwijk raai voor het jaar 2000.



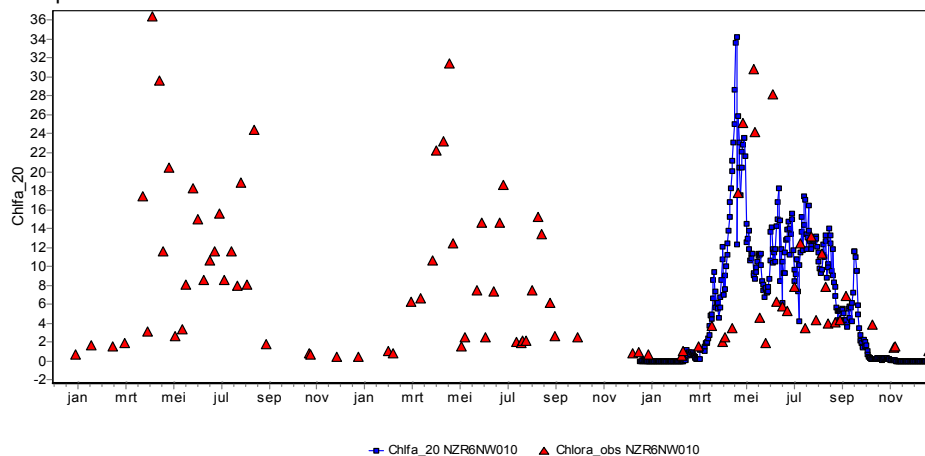
Graph for location WZ30 Marsdie



Graph for location NZR6NW002

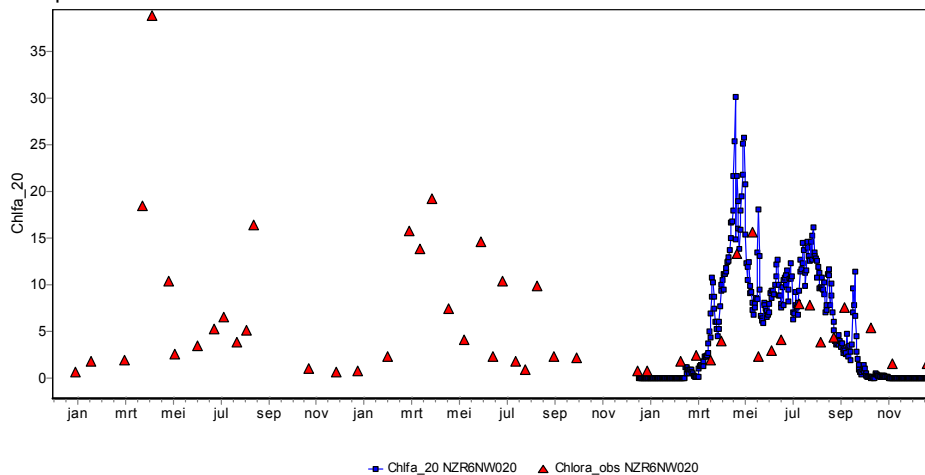


Graph for location NZR6NW010

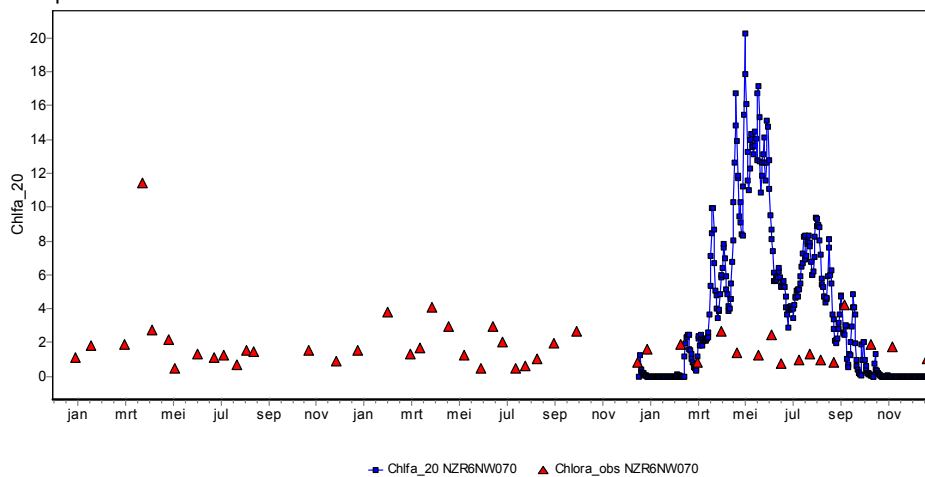


Figuur C.6 (vervolg): Berekende (getrokken blauwe lijn) en gemeten (rode driehoeken) chlorofylconcentraties in de Nederlandse kustzone en langs de Noordwijk raai voor het jaar 2000.

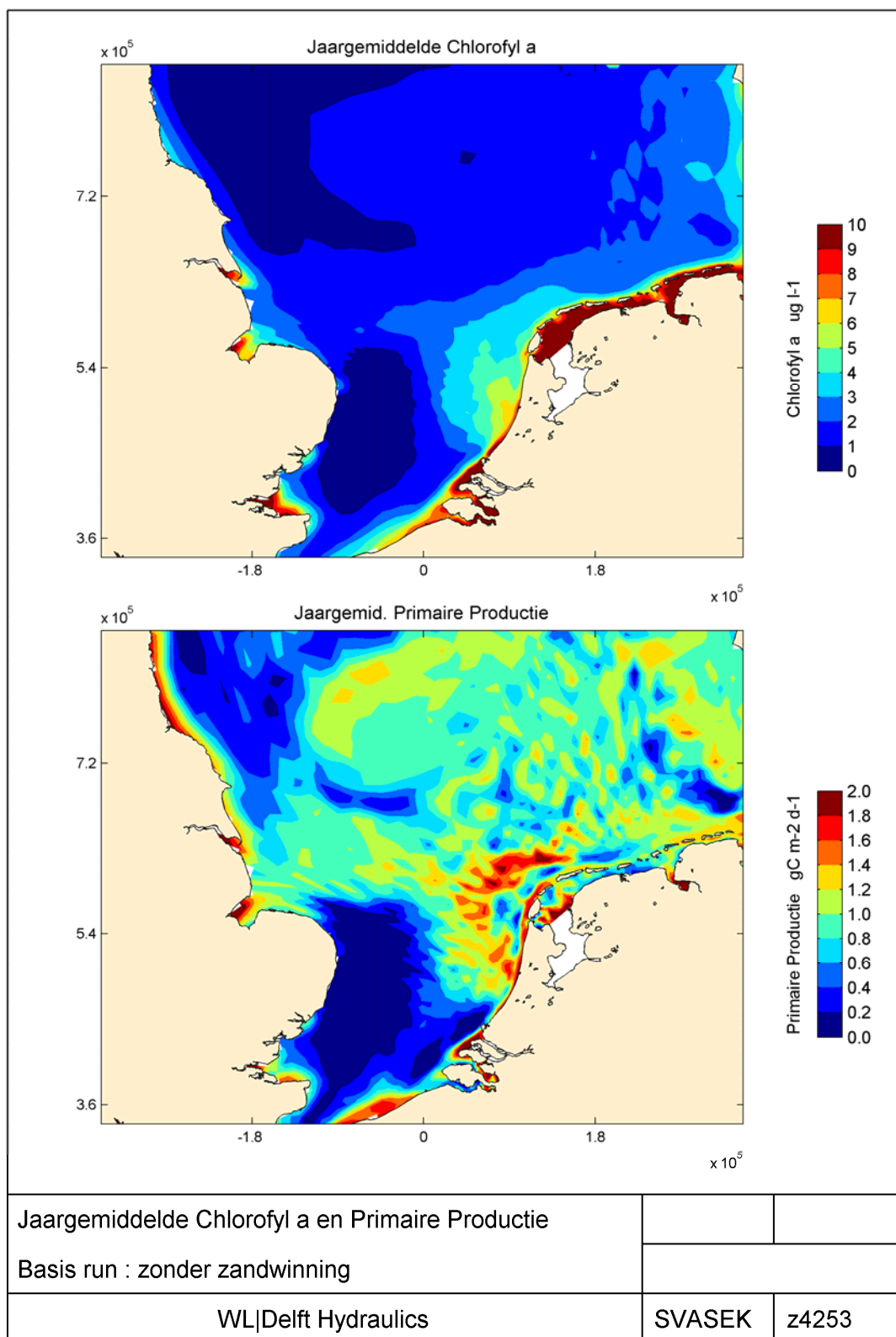
Graph for location NZR6NW020



Graph for location NZR6NW070



Figuur C.6 (vervolg): Berekende (getrokken blauwe lijn) en gemeten (rode driehoeken) chlorofylconcentraties in de Nederlandse kustzone en langs de Noordwijk raai voor het jaar 2000.

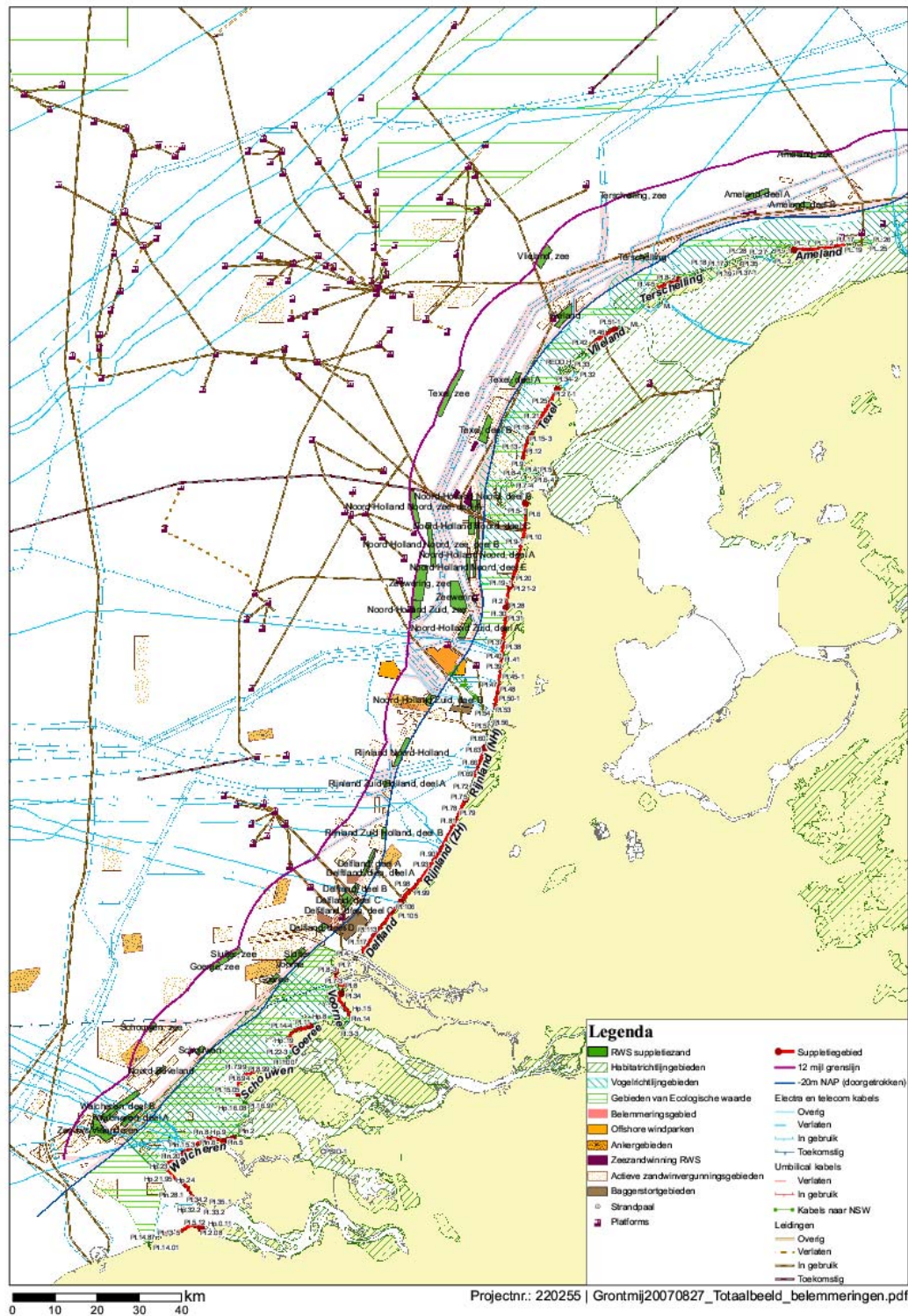


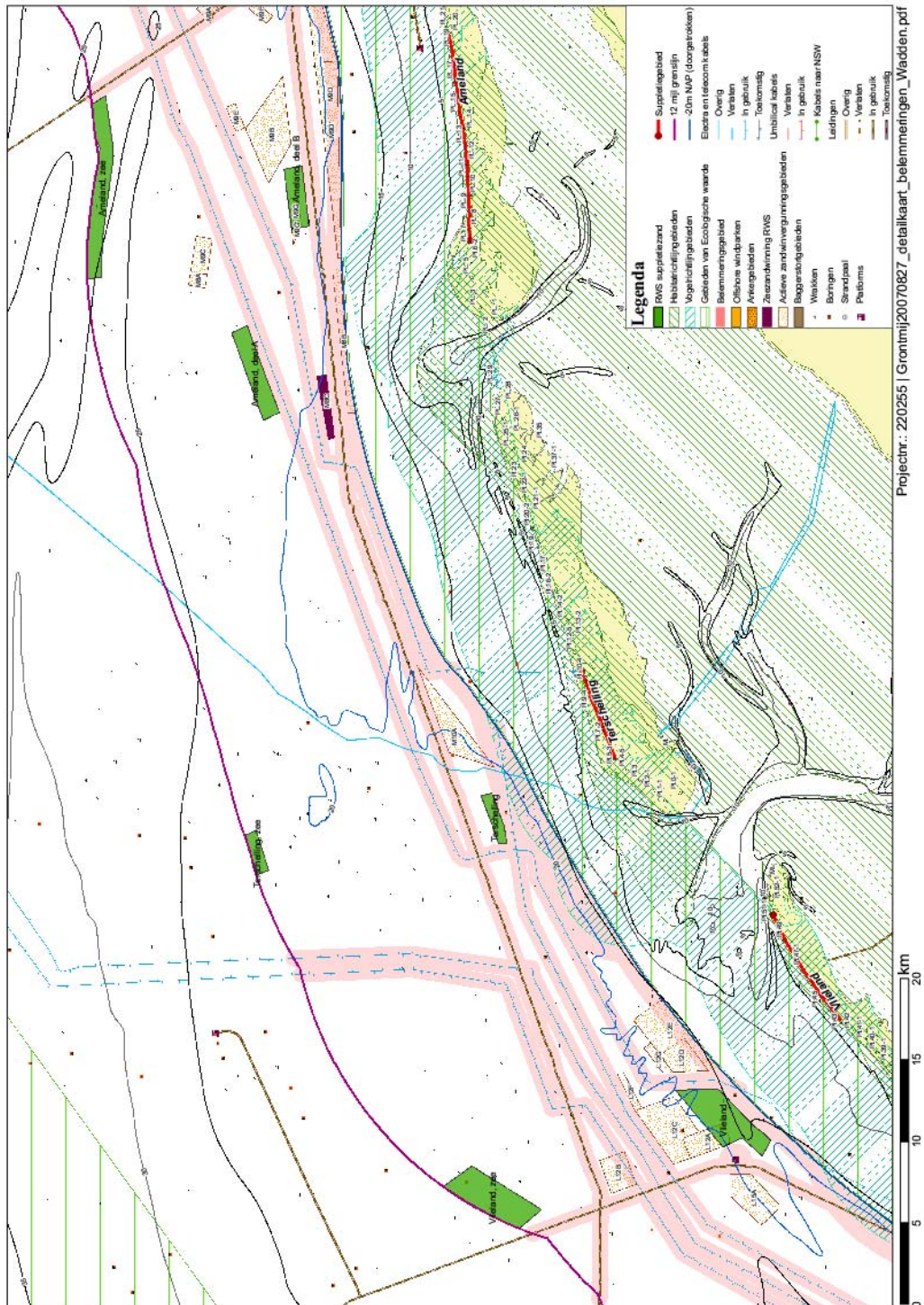
Figuur C.7: Jaargemiddelde waarden voor Chlorofyll a en voor de primaire productie.

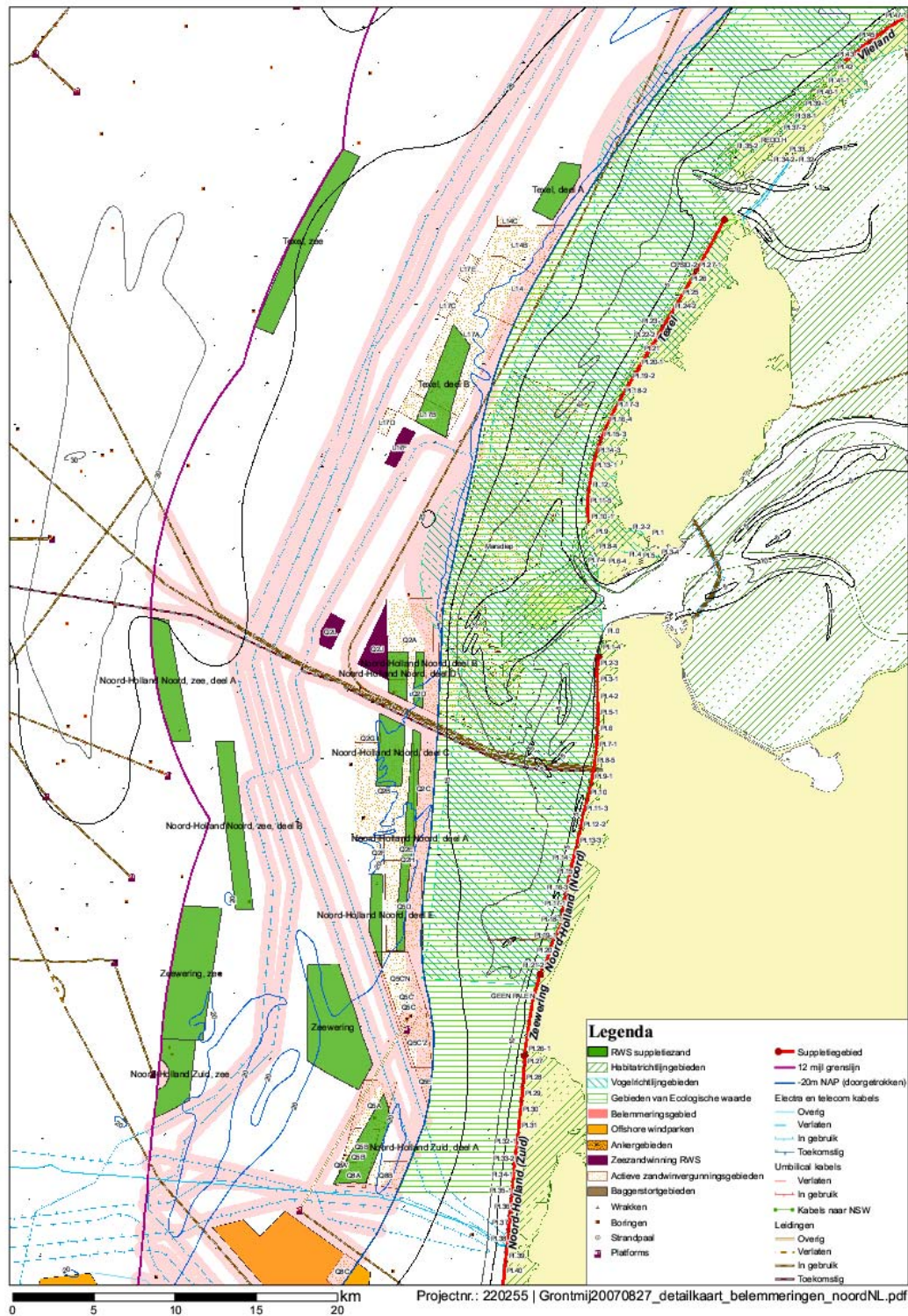


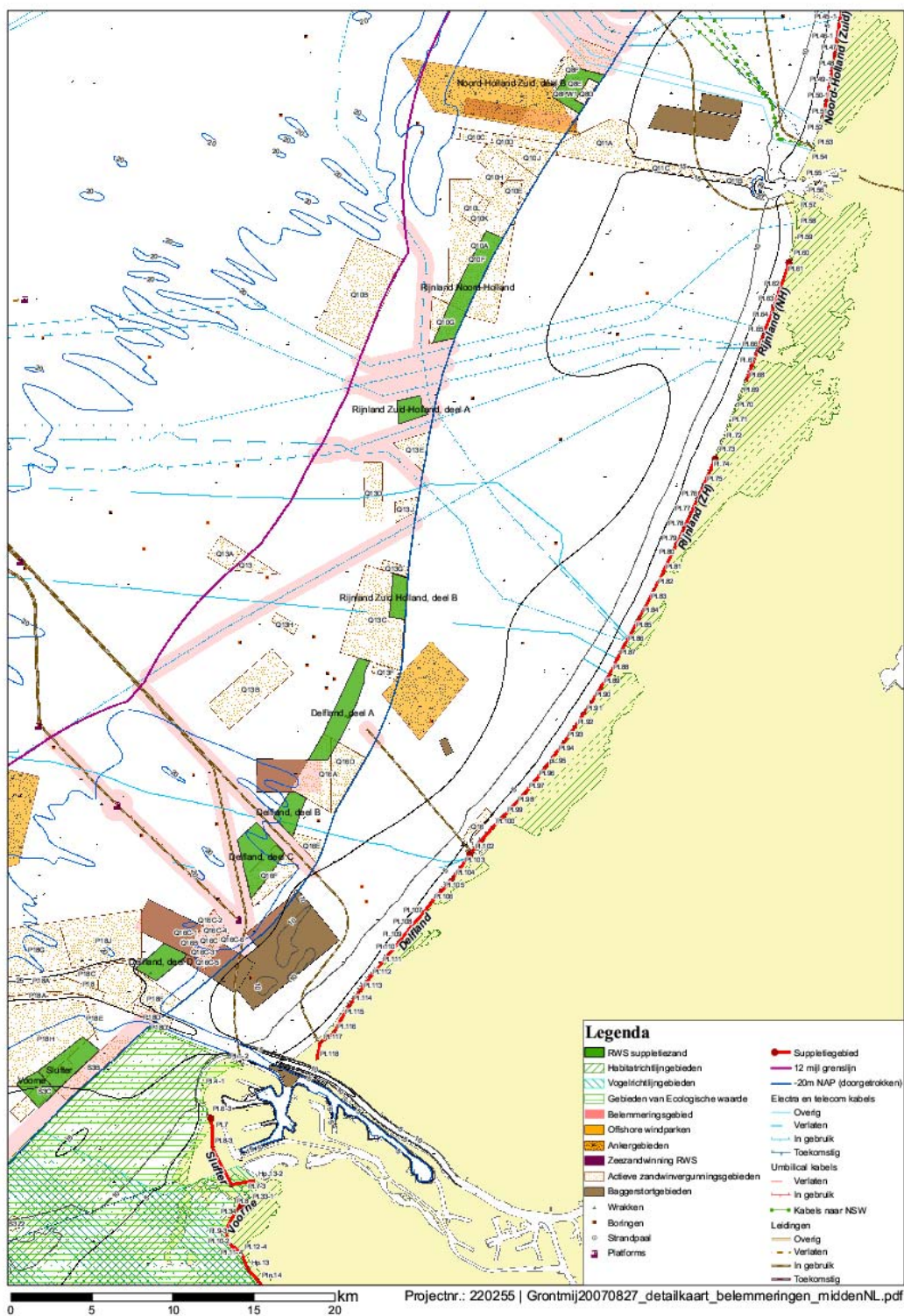


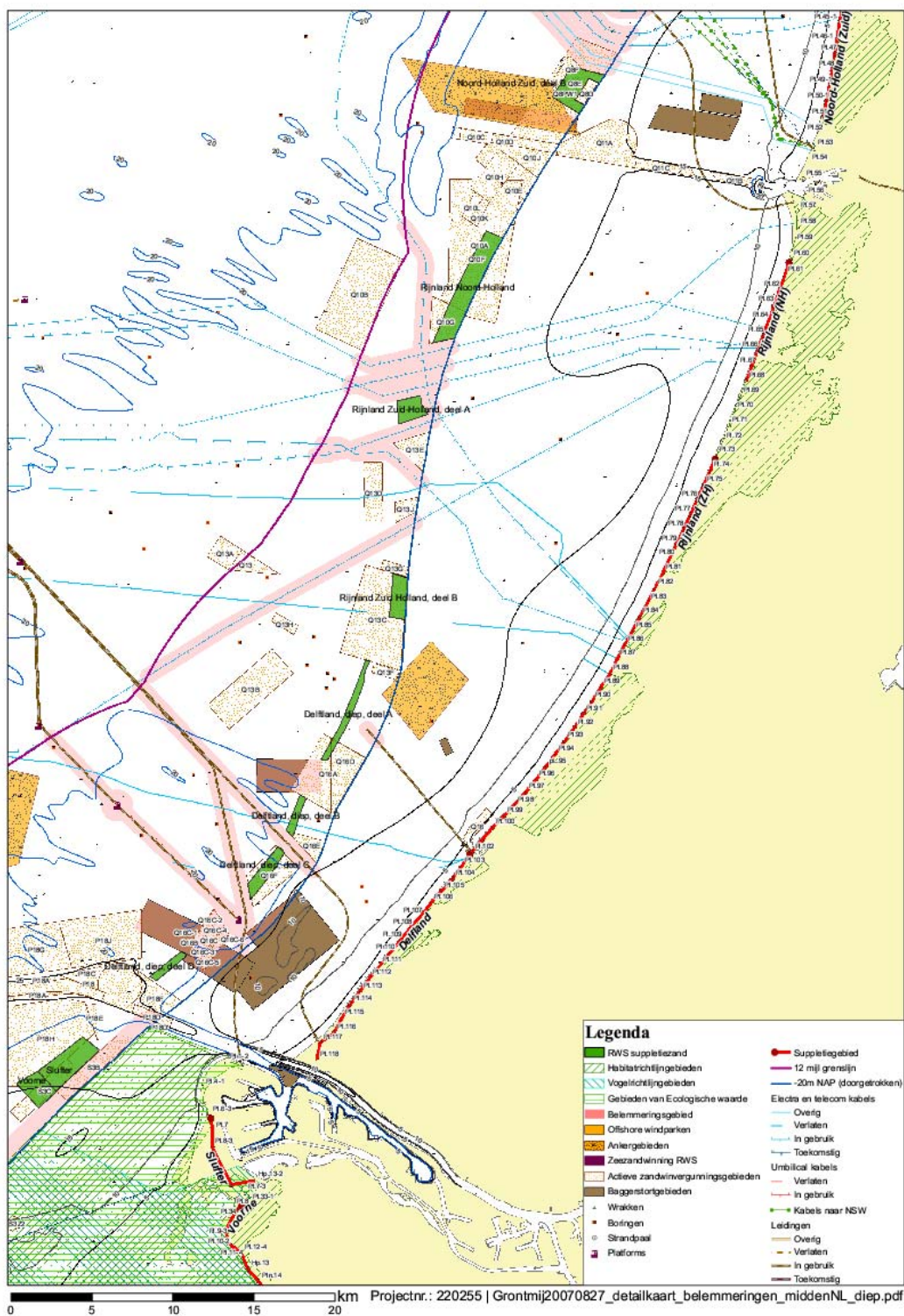
D. LIGGING VAN DE WINGEBIEDEN

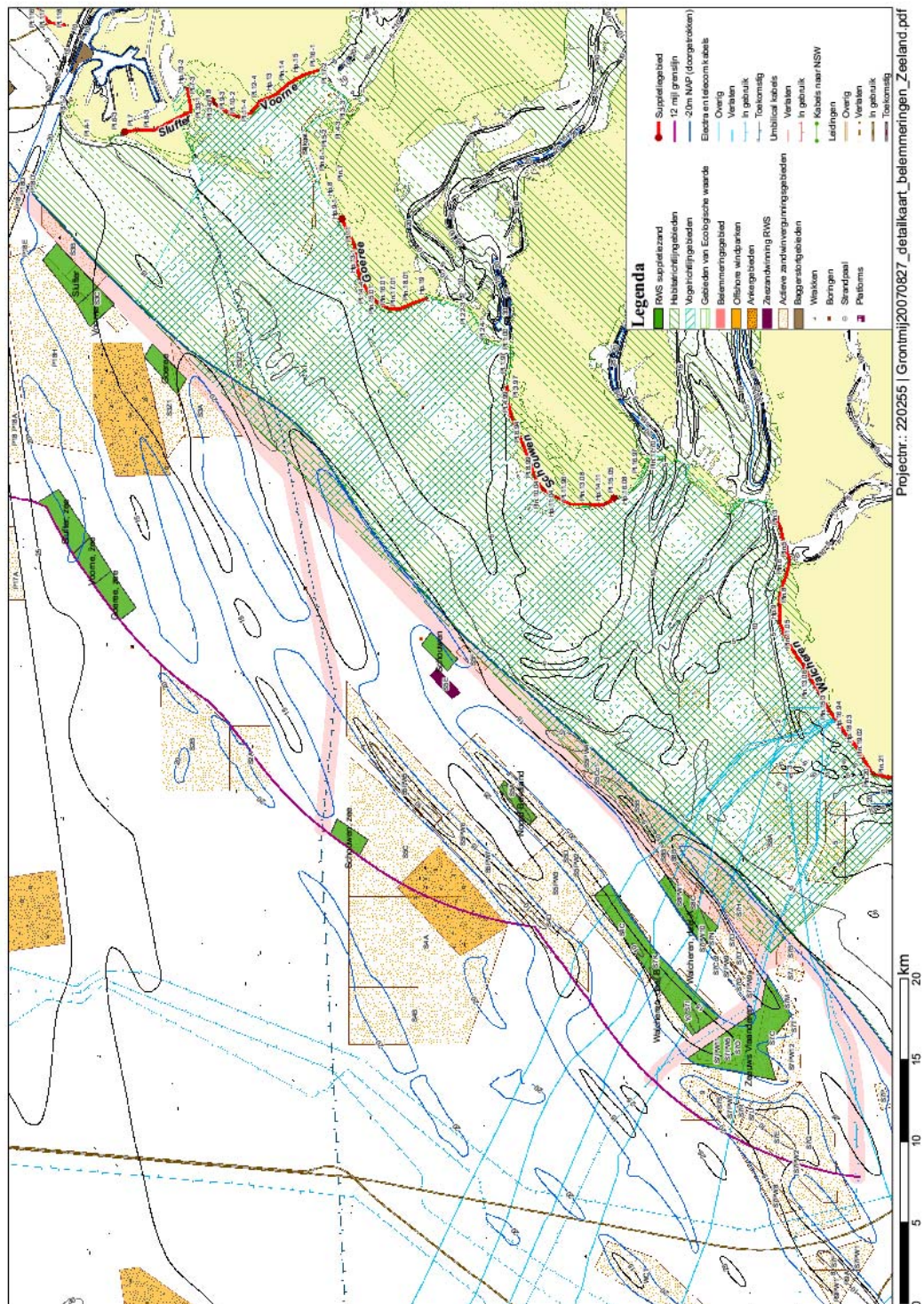


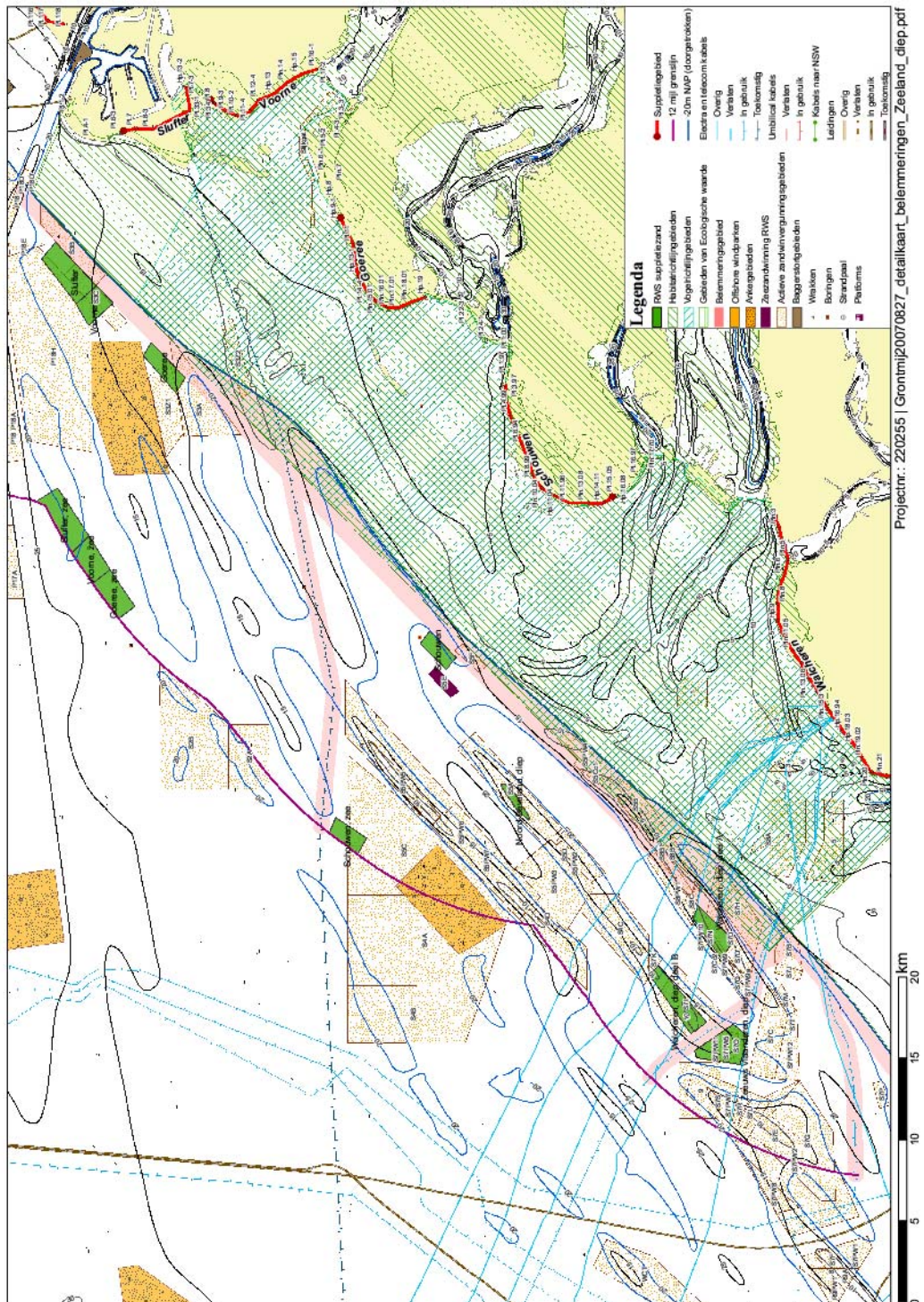














E. BIJLAGE WINTABELLEN

In onderstaande tabel is de winhoeveelheid per deelgebied gegeven. Per wingebied zijn de reguliere winningen gegeven en de zwakke schakels.

MER winning suppletiezand 2008-2012

versie 28 juni 07

Netto zandhoeveelheden > te winnen hoeveelheden; corr factor: **1.15** i.v.m. overflowverliezen

Gebied	Beginraai Km	Eindraai km	waarschijnlijk suppletiejaar						sub- tot.	KLZ-suppleties		Zwakke Schakels		totalen (afger.)	
			2008	2009	2010	2011	2012?			netto	te winnen	netto	te winnen	netto	te winnen
Ameland	48	4			2			2						0	0
	7	20		2.5		2.5		5		7	8.1			7	8
Terschelling	5	10		1				1		1	1.2			1	1
Vlieland	43	45.5				1.9		1.9						0	0
Vlieland	46	50.5	1.8	1.6			1.2	1	5.6	7.5	8.6			8	9
Texel	9	12			0.4	1.3		1.7						0	0
	12	17				0.7		2.7						0	0
	17	24			1.5			2						0	0
	25	31		2.5			1	3.5		9.9	11.4			10	11
Noord-Holland	1	7			1.4			1.4						0	0
	9	14					0.6	0.6						0	0
	14	18		1				1						0	0
	18	21						0.5	0.5	3.5	4.0	10	11.5	14	16
Zeewering	21	25	9			3	3	15	15	17.3				15	17
Noord-Holland zuid	25	30		2				0.4	2.4					0	0
	30	36					1.9	1.9						0	0
	36	40				2.1		2.1						0	0
	46	51			0.5			0.5	6.9	7.9				7	8
Rijnland NH	60	68	1		2		1	4	4	4.6				4	5
Rijnland ZH	73	80						0						0	0
	80	84						0.8	0.8					0	0
	87	90						0.6	0.6					0	0
	91	97						0						0	0
	97	102						1	1	2.4	2.8			2	3
Delfland	102	107						0						0	0
	107	113			1			1						0	0
	116	118	0.2	0.2	0.2	0.2		0.8	1.8	2.1		18	20.7	20	23
Slufter	6	11						3	3					0	0
			2					2	5	5.8				5	6
Voorne	8	16				0.7		0.7	0.7	0.8		2.4	2.8	3	4
Goeree	9	13			1			1						0	0
	13	19			1.2			1.2	2.2	2.5				2	3
Schouwen	1	7				0.4		0.4						0	0
	10	15				1		1	1.4	1.6				1	2
Noord Beveland	1	4	0.5				0.5	1	1	1.2				1	1
Walcheren	4	11					0.5	0.5						0	0
	12	18		1			1	2						0	0
	18	27.5				1.3		1.3						0	0
	27.5	35	1.7		2.7	2		6.4	10.2	11.7		8.2	9.4	18	21
Zws Vlaanderen	0	6		0.4				0.4						0	0
	7	9		0.3				0.3						0	0
	10	14		0.5				0.5	1.2	1.4		13.8	15.9	15	17
			15	14	15.2	13.3	13.4	9.8	80.7	80.7	92.8	52.4	60.3	133	153

Deze tabel is gebaseerd op de eerdere meer gedetailleerde tabel
 Onderscheid tussen onderwater en strand suppleties, geplande suppleties
 en PM posten is niet meer gemaakt, maar nog wel relevant.



In onderstaande tabellen zijn de geplande zandwinhoeveelheden voor Scenario kustwaarts gegeven. In de simulaties zijn een aantal wingebieden geclusterd. Per cluster is het slibpercentage in de bodem gedefinieerd op basis van Van Heteren et al. (2006). De percentages zijn naar boven afgerond op een half procent.

De gegeven winhoeveelheden zijn in de simulaties nog met 15% verhoogd ter verdiscontering van de overvloeiverliezen. Voor de reguliere winningen zijn voor sommige locaties extra hoeveelheden opgegeven die nog niet gefaseerd zijn. Deze hoeveelheden zijn verdeeld over de jaren waarin voor dat specifieke wingebied gewonnen zal worden.

Suppletiezandwinning	pslib [%]	Winhoeveelheid Mm ³				
		2008	2009	2010	2011	2012
Ameland deel A + B	3		2.5	2		2.5
Vlieland alternatief A	3	2	3		2.1	1.4
Terschelling alternatief A						
Texel alternatief A, deel A + B	3		3.3	2.6	2.7	1.4
Noord-Holland Noord alternatief A	2.5	2.5	3.7	4.1	2.5	0.7
Zeewering alternatief A	2.5	9			3	3
Noord-Holland Zuid alternatief A, deel A+B	2.5		2.1	0.6	2.2	2
Rijnland Noord-Holland	2.5	1.5	0.5	2.5	0.4	1.5
Rijnland Zuid-Holland deel A+B						
Delfland alternatief A, A t/m D	3	9	9.2	1.2	0.2	0.2
Slufter + Voorne, alternatief A	3	1.2	6.2		0.7	
Goeree + Schouwen, alternatief A	3			2.2	1.4	
Noord Beveland, Walcheren	3	11.6	12.1	6.6	2	2
Zeeuws Vlaanderen alternatief A						

Autonome zandwinning	pslib [%]	Winhoeveelheid Mm ³				
		2008	2009	2010	2011	2012
Harlingen alt A deel A	3	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Harlingen alt A deel B						
Den Helder alt A	2.5	2	2	2	2	2
IJmuiden deel A	2.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
IJmuiden deel B	2.5	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
IJmuiden deel C	2.5	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Rotterdam alternatief A, deel A	3	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7
Rotterdam alternatief A, deel B	3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
Ameland + Rottermeroog	3	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Zeeland alt A deel A, B, C	3	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
maasvlakte 2	2.5	150	150			
WCT	3		10	10		



F. VERGELIJKING MET MAASVLAKTE 2

F.1 Inleiding

Voor de simulatie van het effect van de zandwinning wordt gebruik gemaakt van het modelpakket FINEL. In de MER Maasvlakte 2 (MER MV2) is voor de bepaling van de uiteindelijke effecten van de zandwinning gebruik gemaakt van het modelpakket DELFT3D. Volgens de MER MV2 dienen deze resultaten als een bovengrens beschouwd te worden.

In deze bijlage wordt een vergelijking gemaakt tussen de verschillende modelinstrumentaria op basis van de Maasvlakte 2 winning. Allereerst wordt het maximum effect vergeleken. Ten tweede wordt ingegaan op het tijdsverloop.

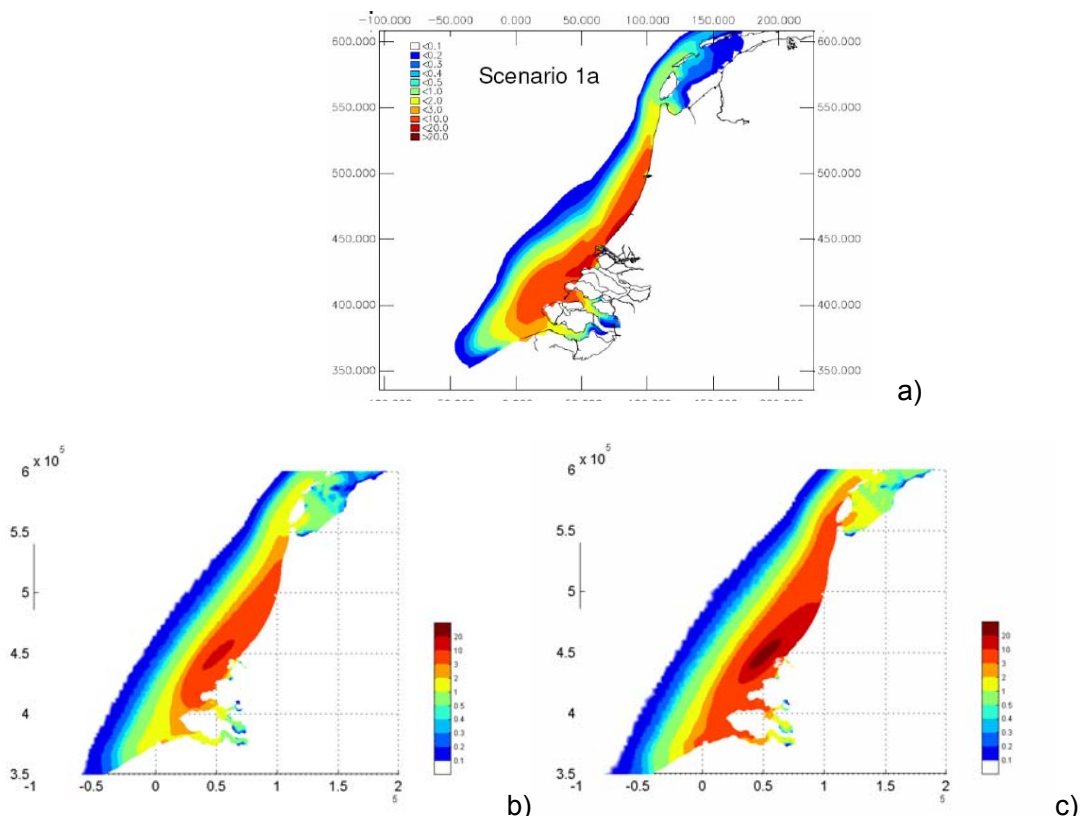
F.2 Vergelijking maximum effect

Om een vergelijking te maken tussen het instrumentarium zoals gebruikt in de MER MV2 en de voorliggende MER is een simulatie uitgevoerd voor de winning voor Maasvlakte 2. De omstandigheden en parameterinstellingen zijn voor zover bekend gelijk genomen aan de omstandigheden zoals gebruikt in de MER MV2. Er wordt over 2 jaar 300 Mm³ zand gewonnen.

In Figuur 1 is de jaargemiddelde slibconcentratie in het water gegeven voor het jaar dat de maximale effecten optreden. De eerste contourplot is gebaseerd op de Delft3D-resultaten en is overgenomen uit de MER MV2 (bijlage Natuur, Figuur 6.2, p159). De twee overige figuren zijn gebaseerd op de resultaten van de FINEL-simulaties. De linker figuur geeft de concentraties zonder onzekerheidsfactor (het directe resultaat van FINEL) en de rechter figuur geeft de concentraties vermenigvuldigd met de onzekerheidsfactor 2.2. Deze laatste figuur is in de voorliggende MER als bovengrens gedefinieerd.

Hoewel er verschillen zijn tussen de verschillende simulaties is het patroon vergelijkbaar. Het gebied strekt zich ruwweg uit van Zeebrugge tot aan de Waddeneilanden. De FINEL-resultaten reiken iets noordelijker. De pluim uit Delft3D is wat meer zuidwaarts gericht, waardoor de concentraties in Voordelta hoger zijn dan in de FINEL-resultaten zonder onzekerheidsfactor.

De FINEL-resultaten met onzekerheidsfactor 2.2 (de gebruikte bovengrensbepaling) geven overal een hogere waarde dan de Delft3D-resultaten. De gebruikte bovengrensbepaling is daarmee conservatiever dan in de MER MV2.



Figuur 1: Jaargemiddelde slibconcentraties in het jaar dat de maximale effecten optreden als gevolg van de winning voor Maasvlakte 2. a) concentraties op basis van Delft3D (uit MER MV2, bijlage Natuur, Figuur 6.2, p159). b) concentraties op basis van FINEL. c) concentraties op basis van FINEL vermenigvuldigd met de onzekerheidsfactor 2.2.

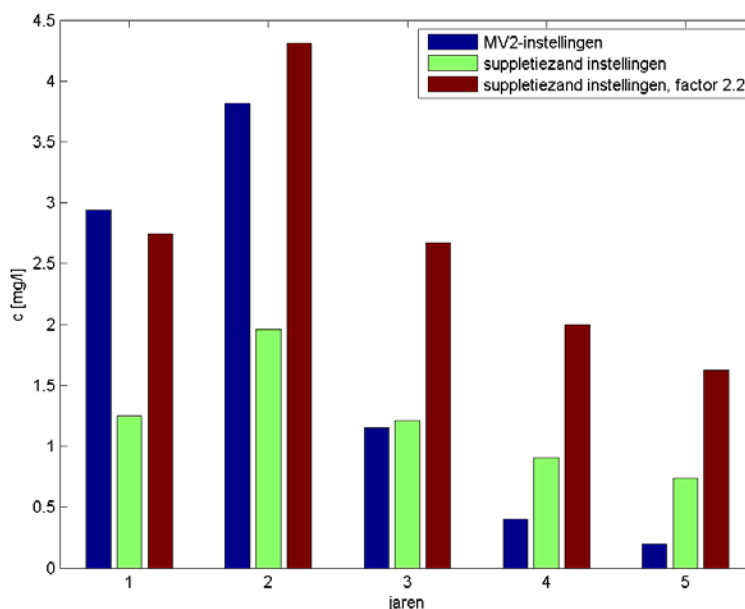
F.3 Vergelijking tijdsverloop

Zoals aangegeven in Hoofdstuk 3: calibratie slibtransport, is in de MER MV2 uitgegaan van een laag slibpercentage in de bodem (ca 0.5%) en daarmee van een lage buffercapaciteit. In Hoofdstuk 3 is gebruik gemaakt van een hoger slibpercentage (ca 2%), gebaseerd op Van Heteren et al (2006). Dit geeft dat de tijdschaal waarover de effecten van de winning nog merkbaar zijn groter wordt.

Om een vergelijking te maken in het verschil in tijdschalen wordt het tijdsverloop van de jaargemiddelde concentraties voor de Voordelta vergeleken. Een dergelijk tijdsverloop is niet opgenomen in de MER MV2. Om toch een vergelijking mogelijk te maken is een simulatie met FINEL uitgevoerd met de instelling van de MER MV2.

De resultaten zijn gegeven in Figuur 2. Hieruit blijkt dat de piek voor de MV2-instelling vergelijkbaar is met de piek voor de bovengrensbepijning in de huidige MER. De tijdschaal waarover de concentratie afvalt nadat de zandwinning is gestopt is voor de MV2-instellingen duidelijk korter. Na jaar 3 geven de FINEL-resultaten zonder de onzekerheidsfactor hogere waarden dan de waarden volgens de MV2-instellingen.

Helaas zijn er te weinig metingen en is er te weinig kennis beschikbaar om te beoordelen hoe het slib zich gedraagt op de lange termijn. De enige indicatie volgt uit Laane et al. (1999), waarin een tijdschaal van ca 2 jaar wordt gevonden. Dit zou betekenen dat de MV2-instellingen een te korte tijdschaal geven en de nieuwe instellingen een te lange. De huidige instellingen zouden daarmee een overschatting van het lange-termijn effect geven.



Figuur 2: Jaargemiddelde concentraties voor de Voordelta op basis van de MV2-instellingen en op basis van de instellingen uit Hoofdstuk 3 voor de winning ten behoeve van Maasvlakte 2 (300Mm^3 gedurende jaar 1-2).

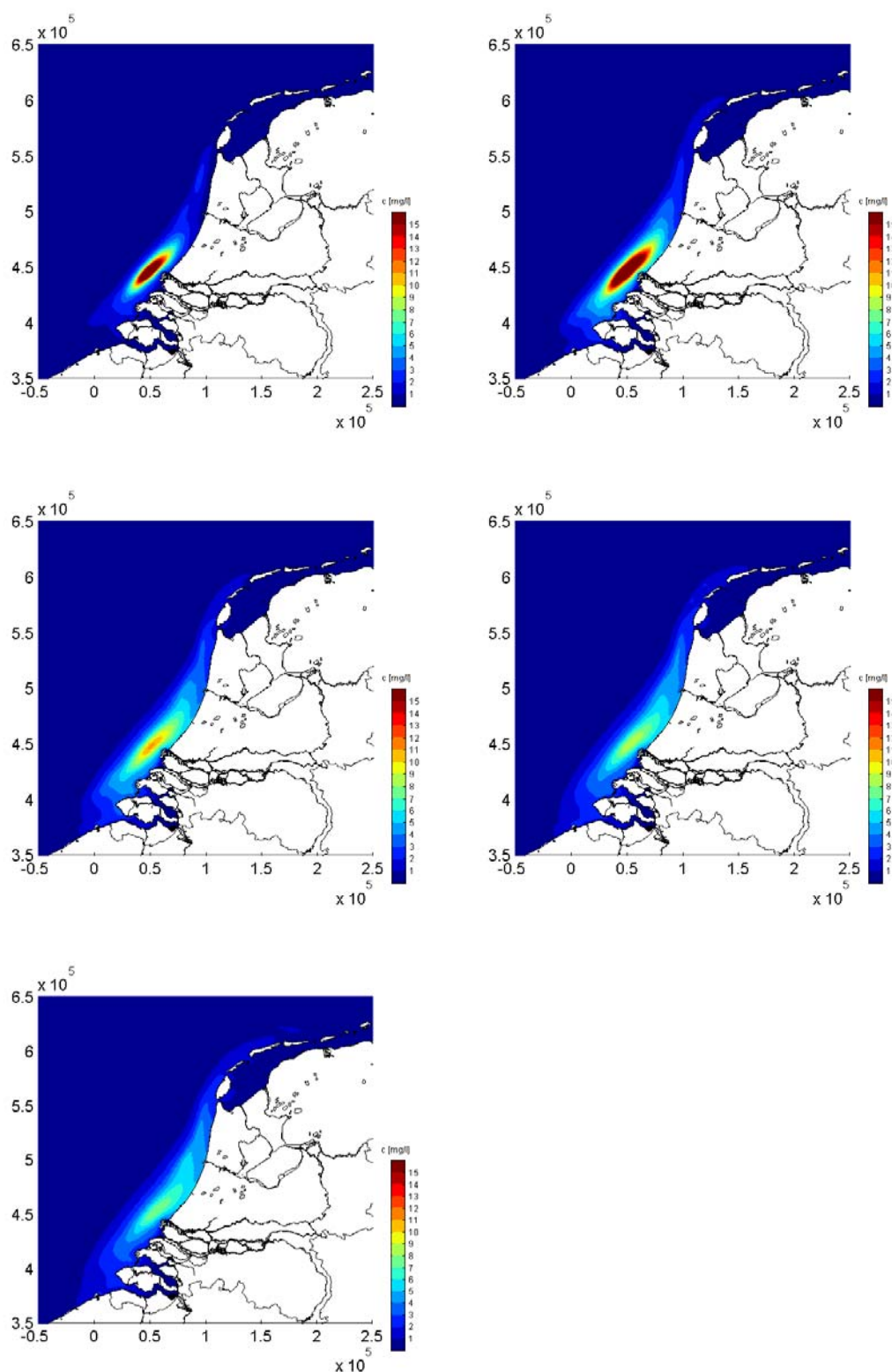
F.4 Conclusies

Een beknopte vergelijking is gemaakt tussen het modelinstrumentarium uit de MER MV2 en de voorliggende MER, uitgaande van een winning ten behoeve van Maasvlakte 2:

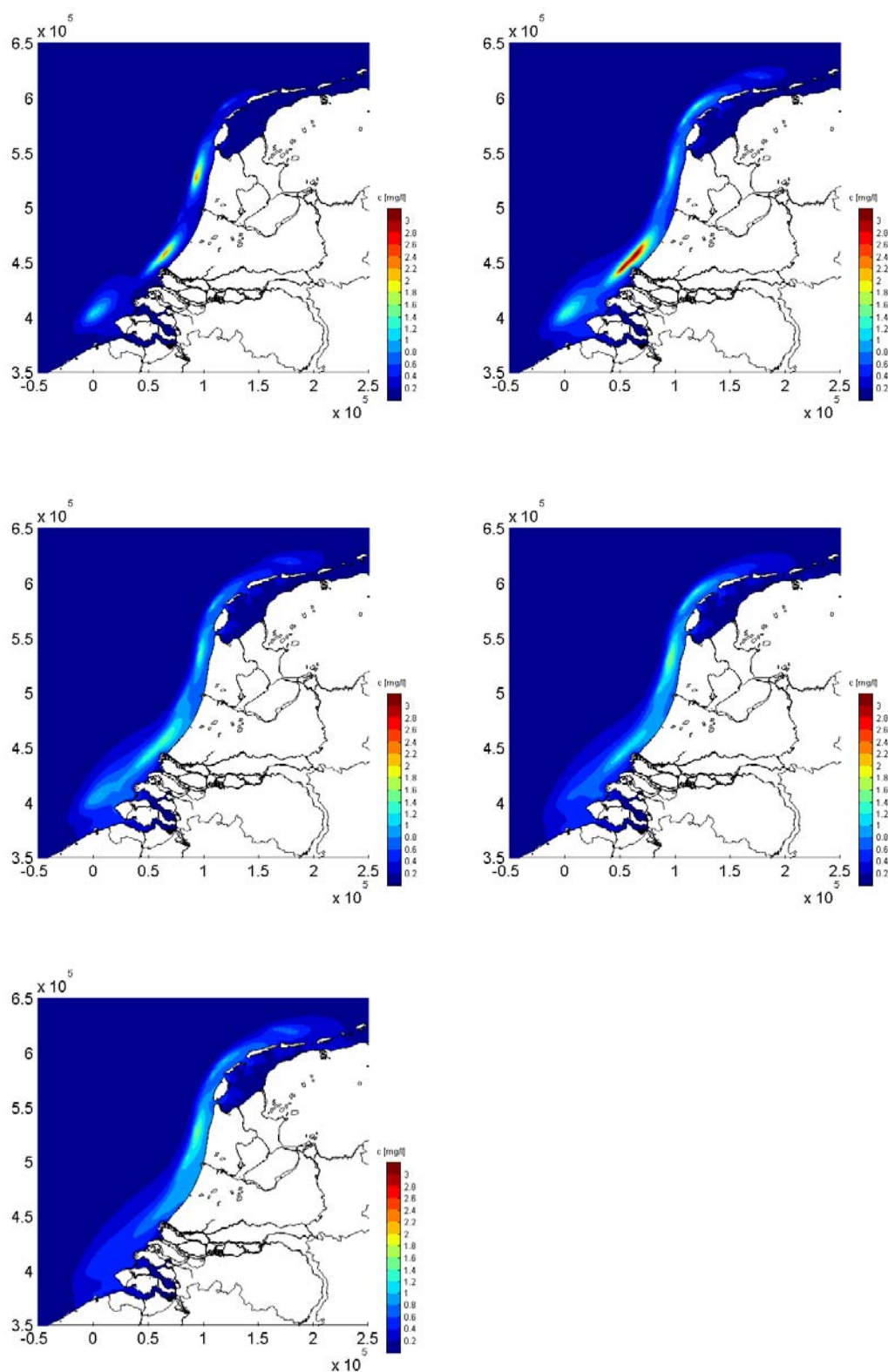
1. Voor het maximum effect zijn de beide bovengrensbepalingen vergelijkbaar. De parameterset zoals gebruikt in Hoofdstuk 3 geeft een enigszins hogere concentratie dan de parameterset uit MER MV2.
2. Door de lage bufferwerking in het modelinstrumentarium voor MER MV2 is het berekende effect van de winning sneller uitgewerkt dan bij toepassing van de parameters zoals gegeven in Hoofdstuk 3. Ten opzichte van de MER MV2 geeft de in deze rapportage toegepaste methode een langere tijdschaal, waarover de effecten van zandwinning merkbaar zijn.



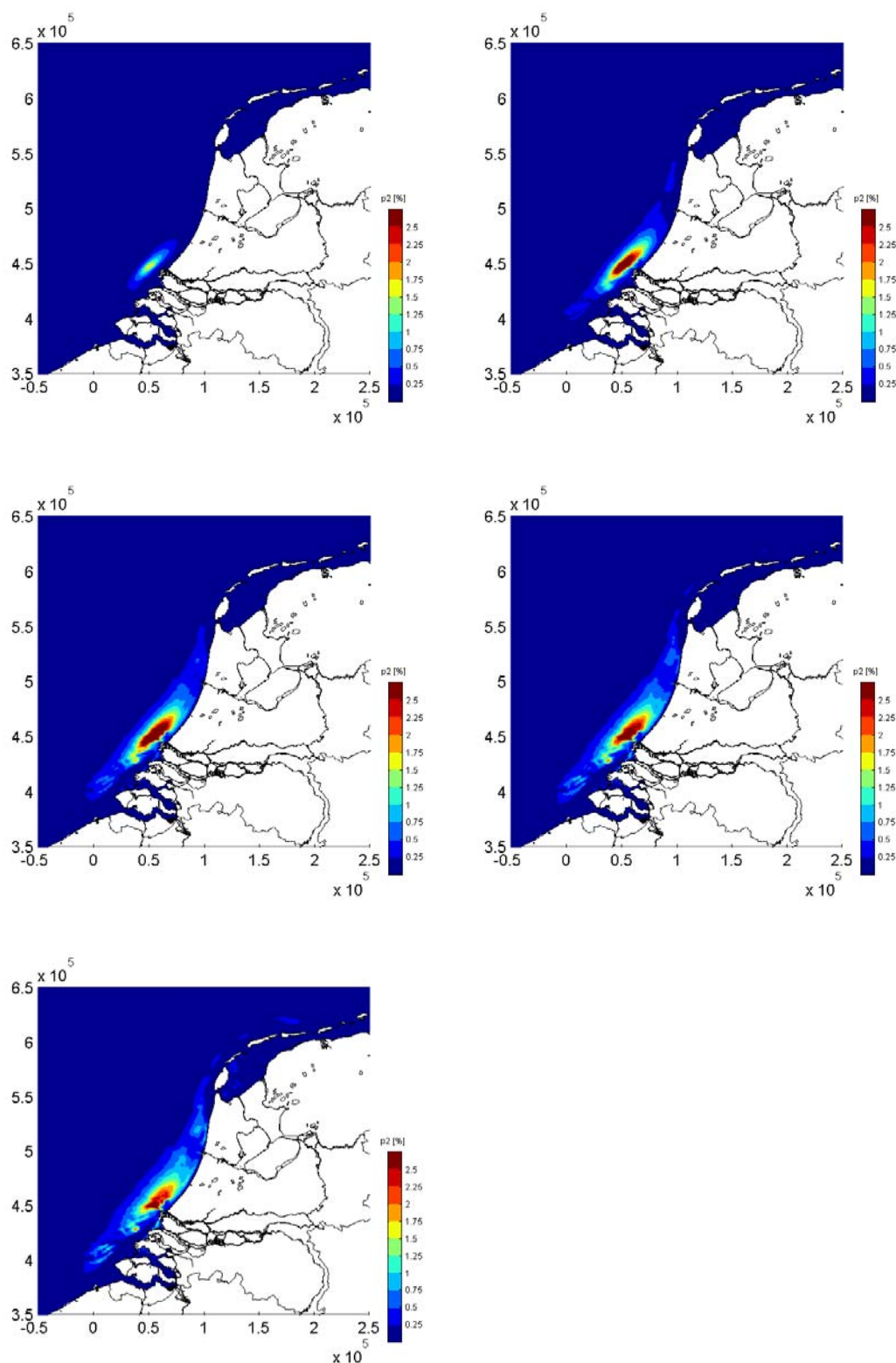
G. RESULTATEN SCENARIO'S: SLIB



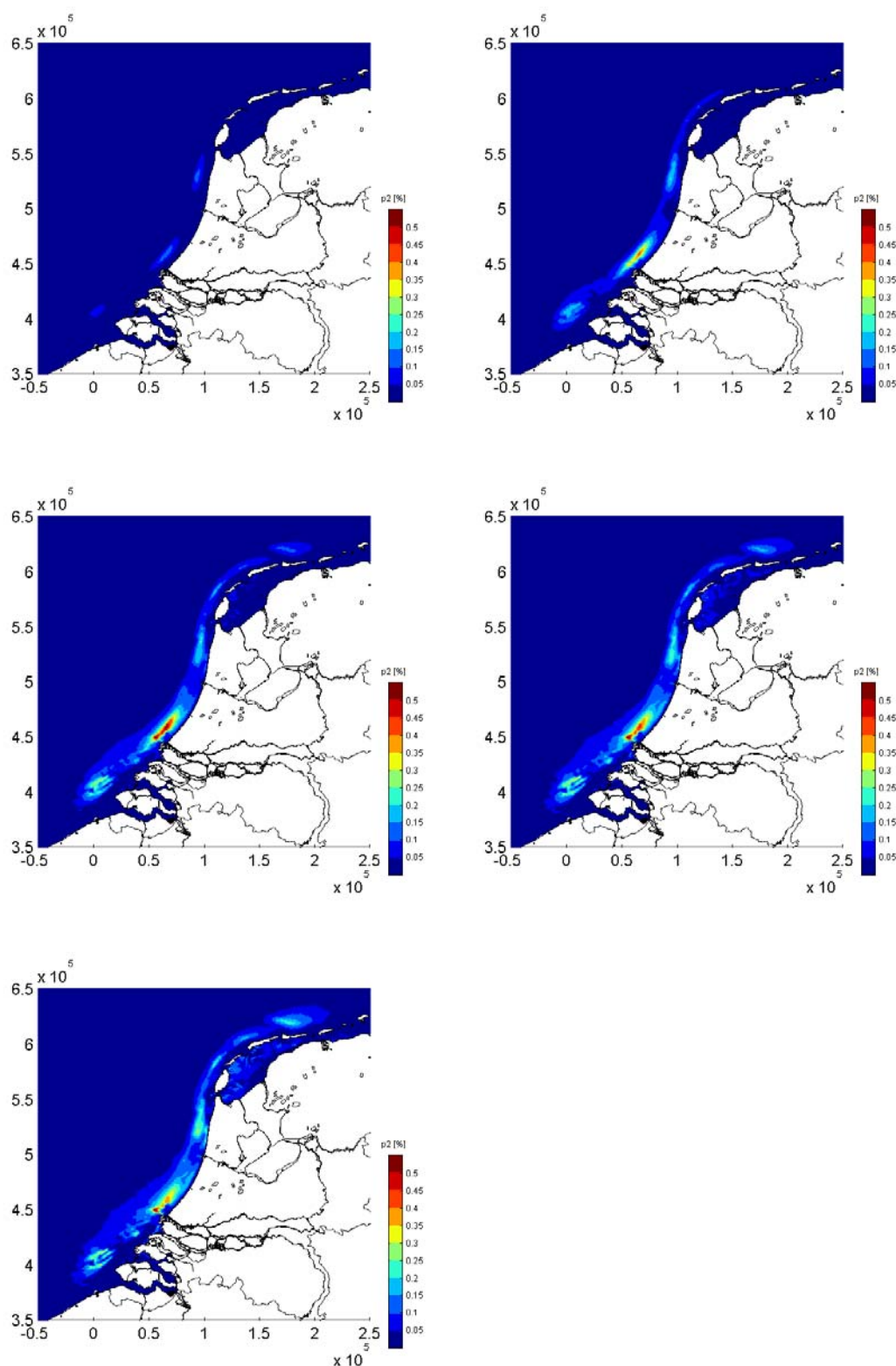
Figuur G.1: slibconcentratie (c [mg/l]) als gevolg van de winning suppletiezand (Scenario kustwaarts) en als gevolg van de autonome winning voor jaar 2008-2012.



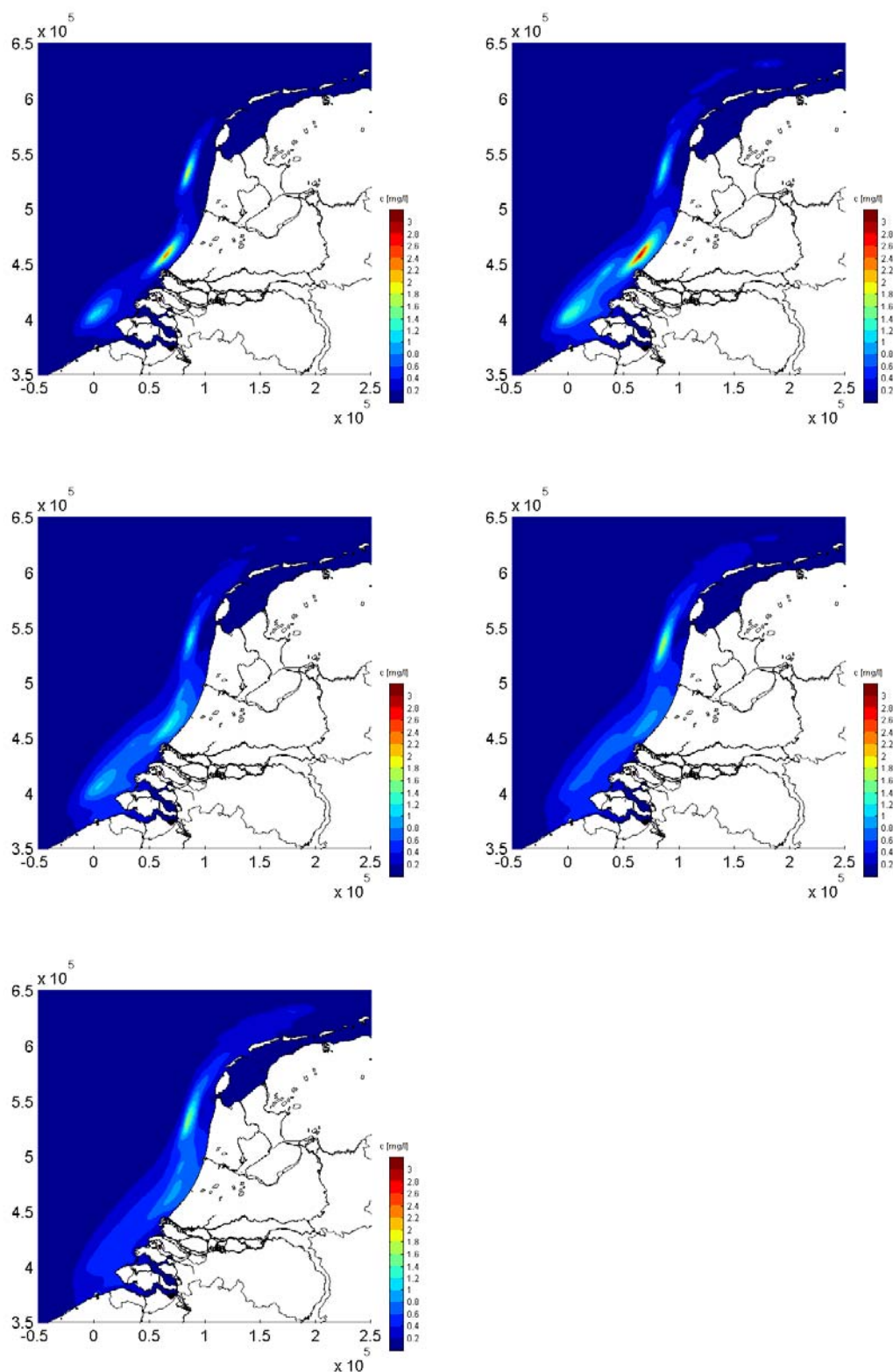
Figuur G.2: slibconcentratie (c [mg/l]) als gevolg van de winning suppletie-zand (Scenario kustwaarts) voor jaar 2008-2012. Let op de schaal is een factor 5 verkleind tov Figuur G.1.



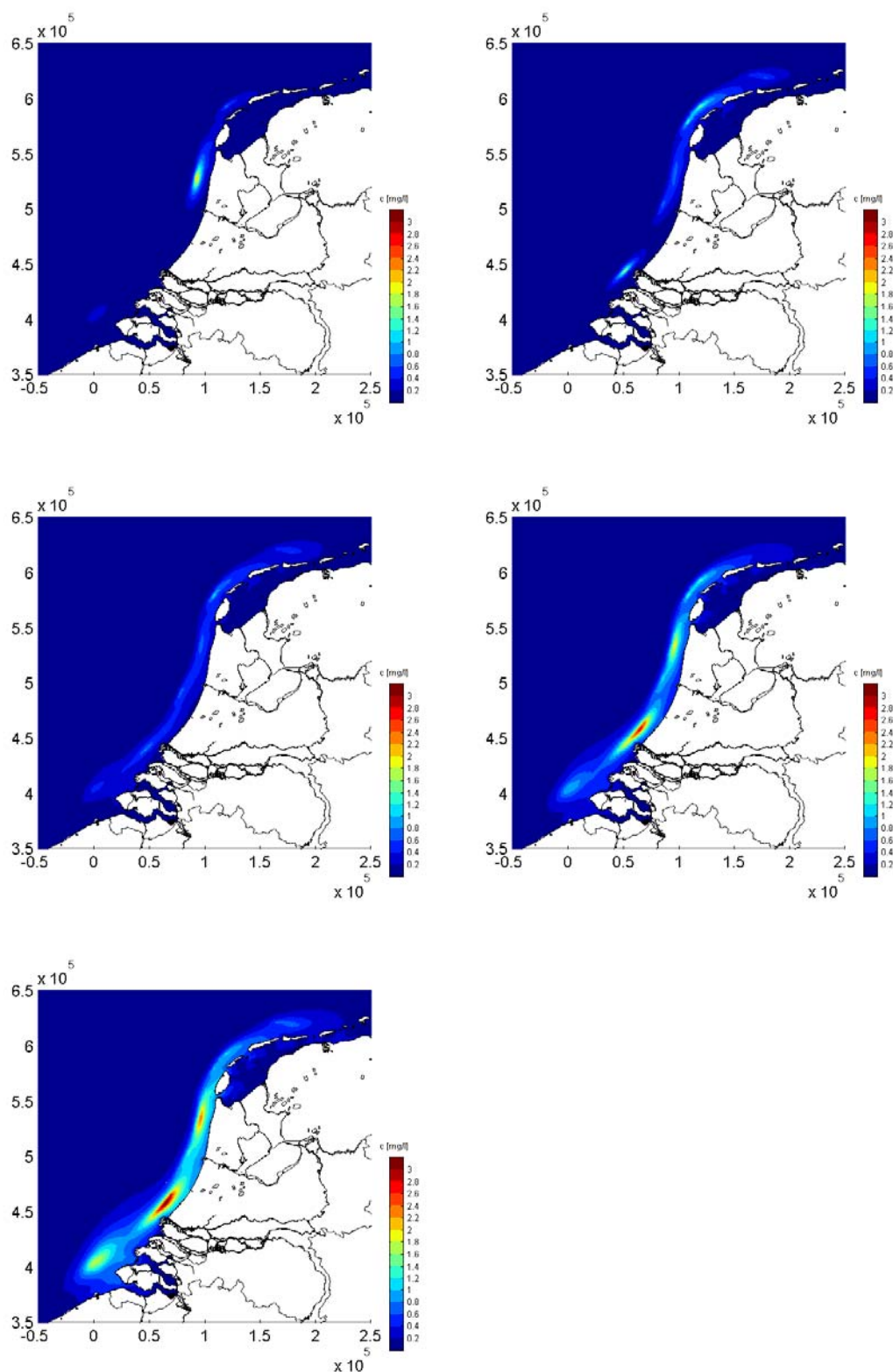
Figuur G.3: slibpercentage in de bodem (p [massa %]) als gevolg van de winning suppletiezand (Scenario kustwaarts) en als gevolg van de autonome winning voor jaar 2008-2012.



Figuur G.4: slibpercentage in de bodem (p [massa %]) als gevolg van de winning suppletiezand (Scenario kustwaarts) voor jaar 2008-2012. Let op de schaal is een factor 5 verkleind tov Figuur G.3.



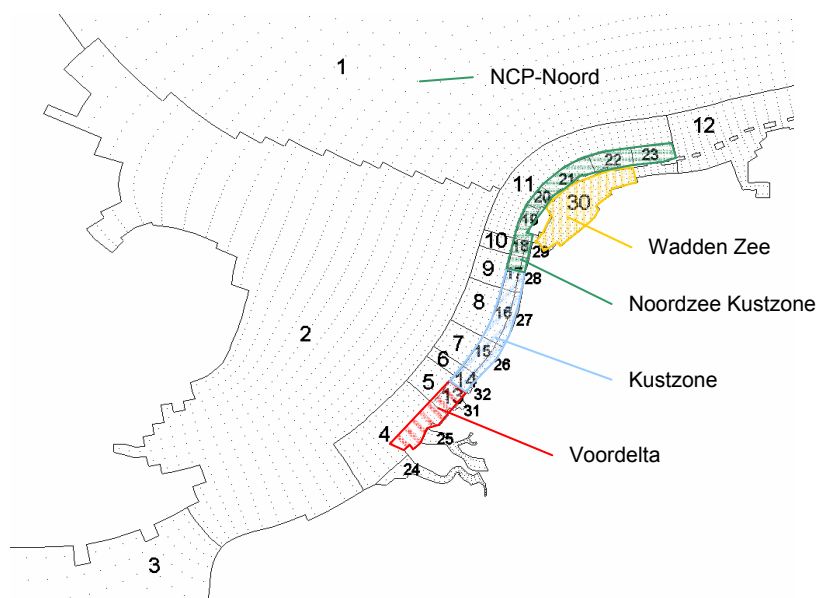
Figuur G.5: slibconcentratie (c [mg/l]) als gevolg van de winning suppletiezand (Scenario zeewaarts) voor jaar 2008-2012.



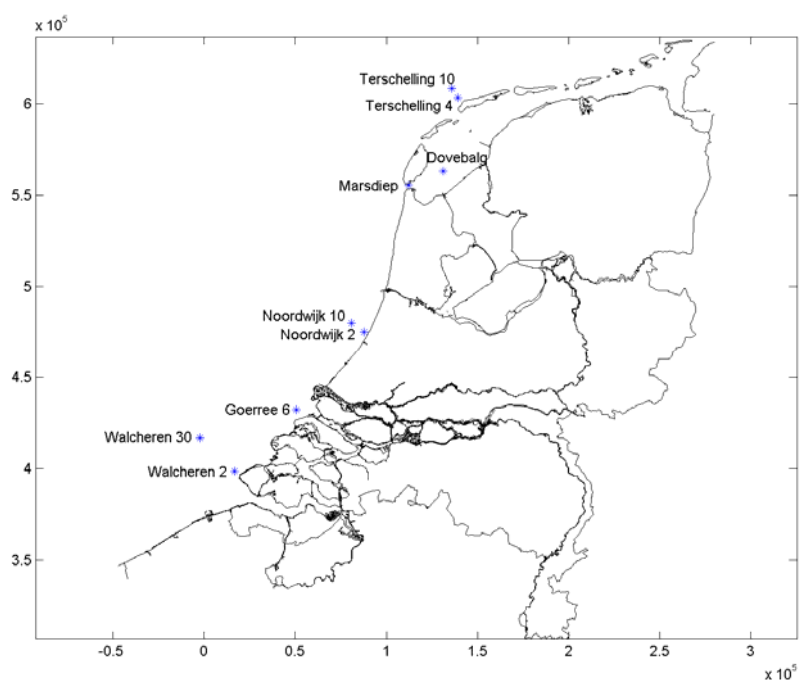
Figuur G.6: slibconcentratie (c [mg/l]) als gevolg van de winning suppletiezand (Scenario fasering zs) voor jaar 2008-2012.



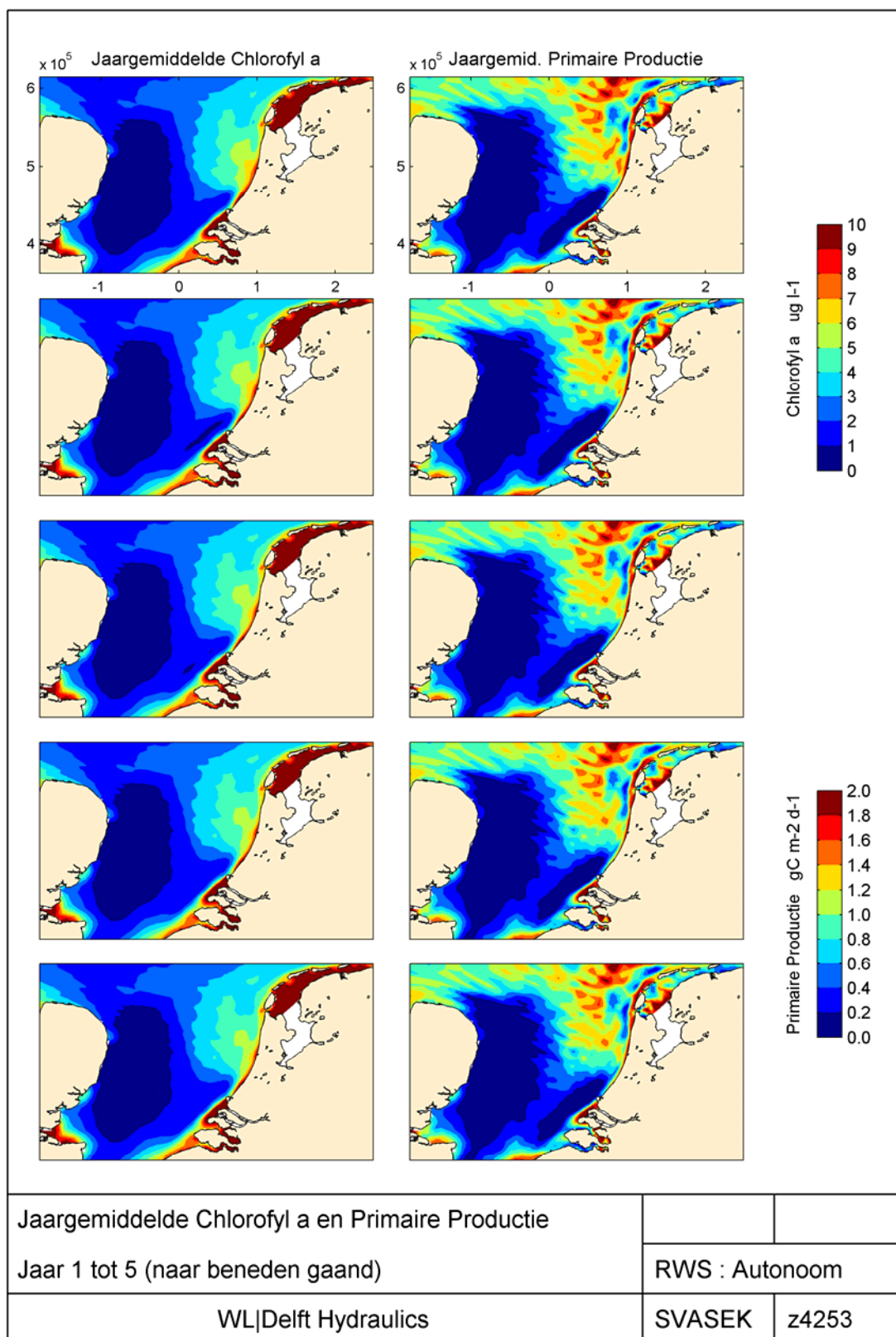
H. RESULTATEN SCENARIO'S: PRIMAIRE PRODUCTIE



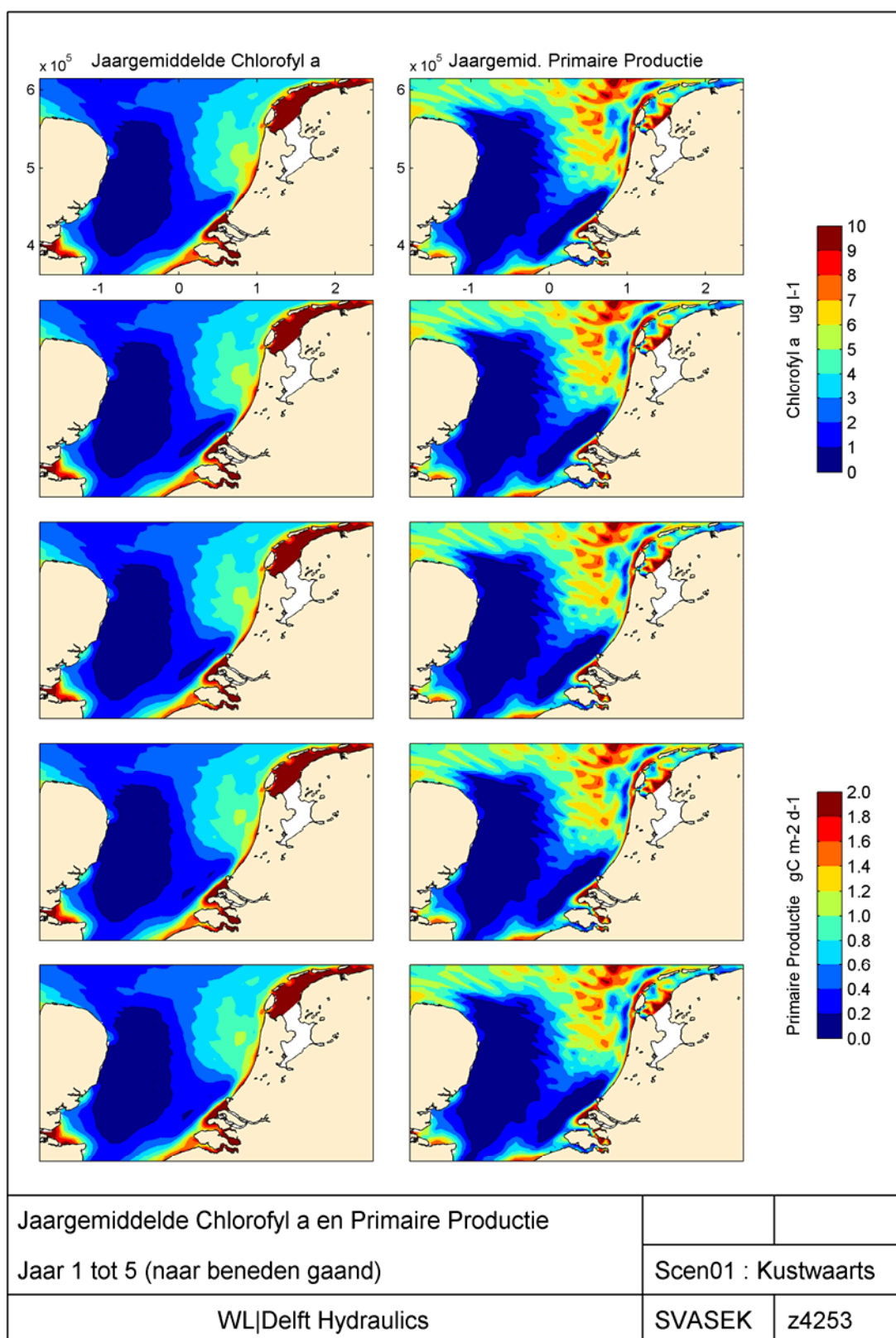
Figuur H.1: definitie van de vakken waarover gemiddeld wordt in Figuur H.5



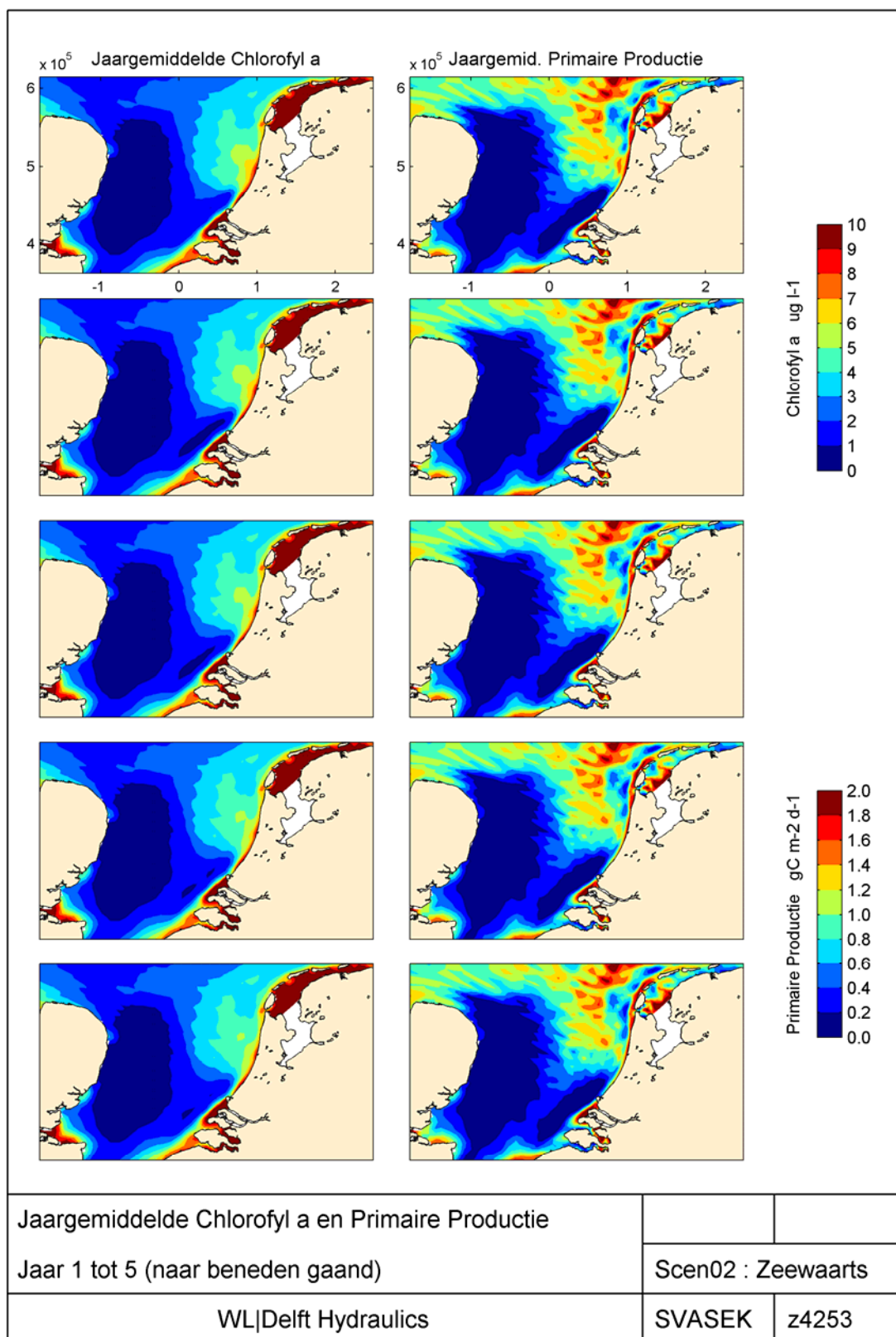
Figuur H.2: Ligging van de MWTL-locatis, waarvoor de tijdseries in Figuur H.6 zijn gegeven.



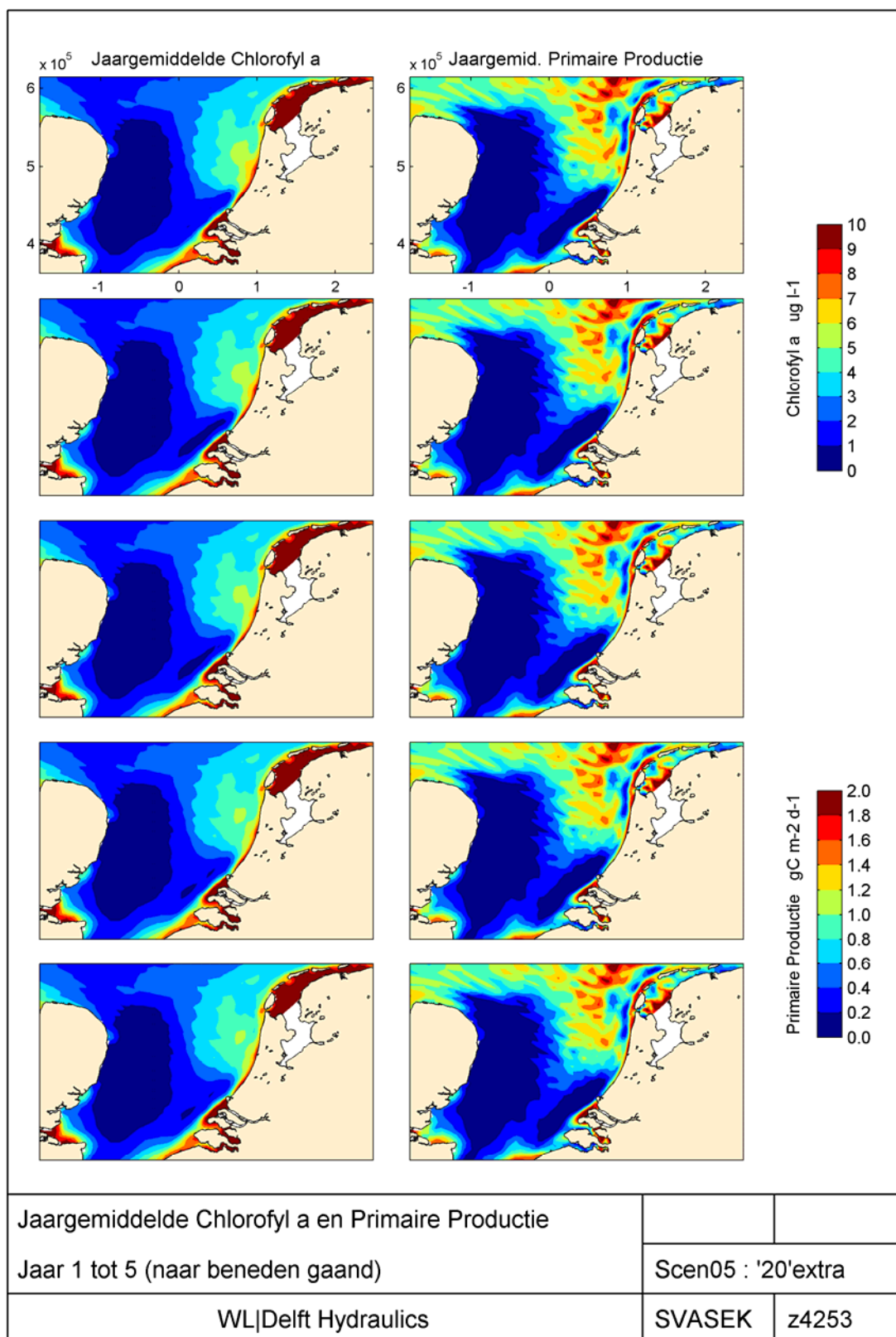
Figuur H.3a: Contourplots van het jaargemiddelde Chlorofyl a gehalte en primaire productie voor de autonome situatie.



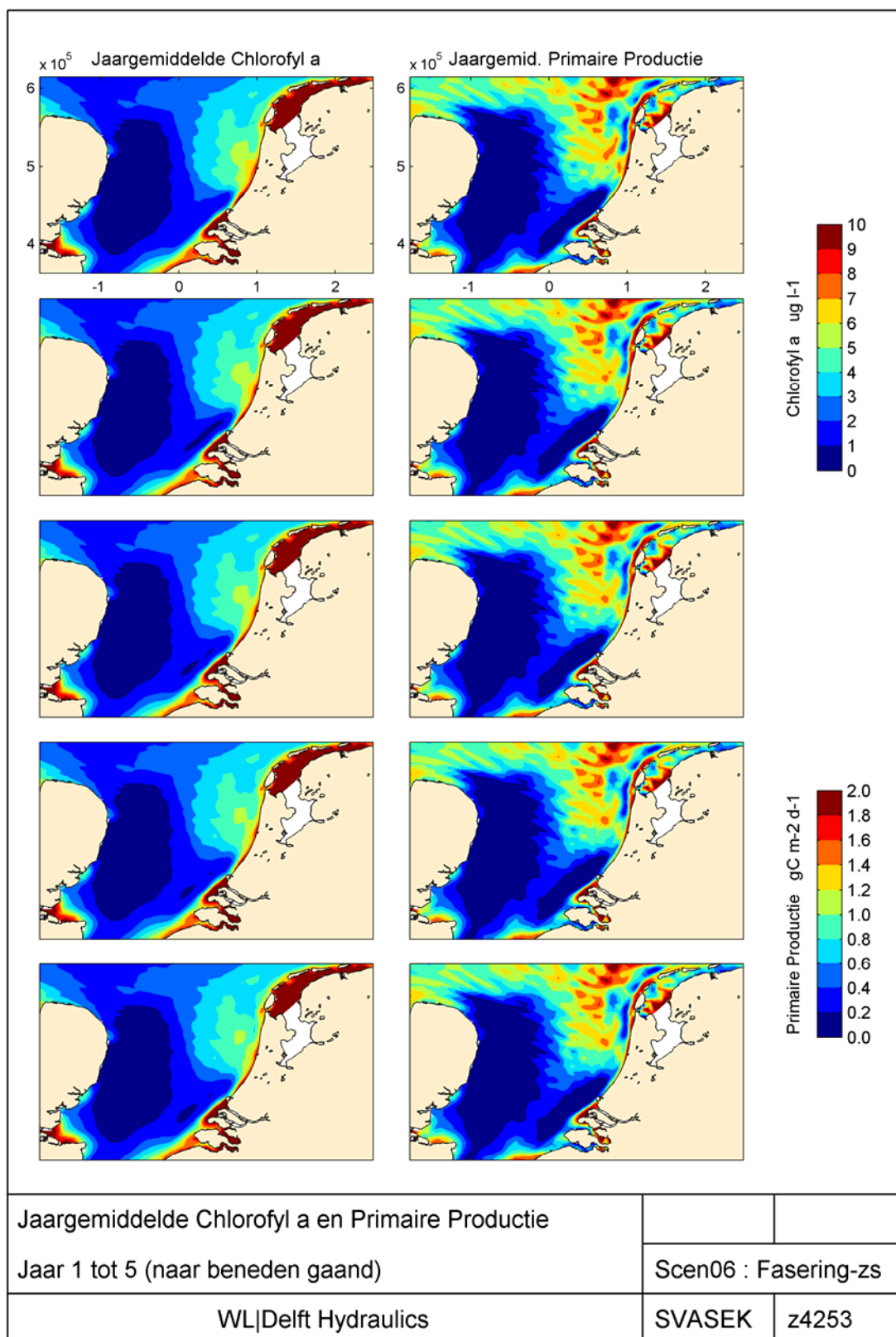
Figuur H.3b: Contourplots van het totale jaargemiddelde Chlorofyl a gehalte en primaire productie voor Scenario Kustwaarts.



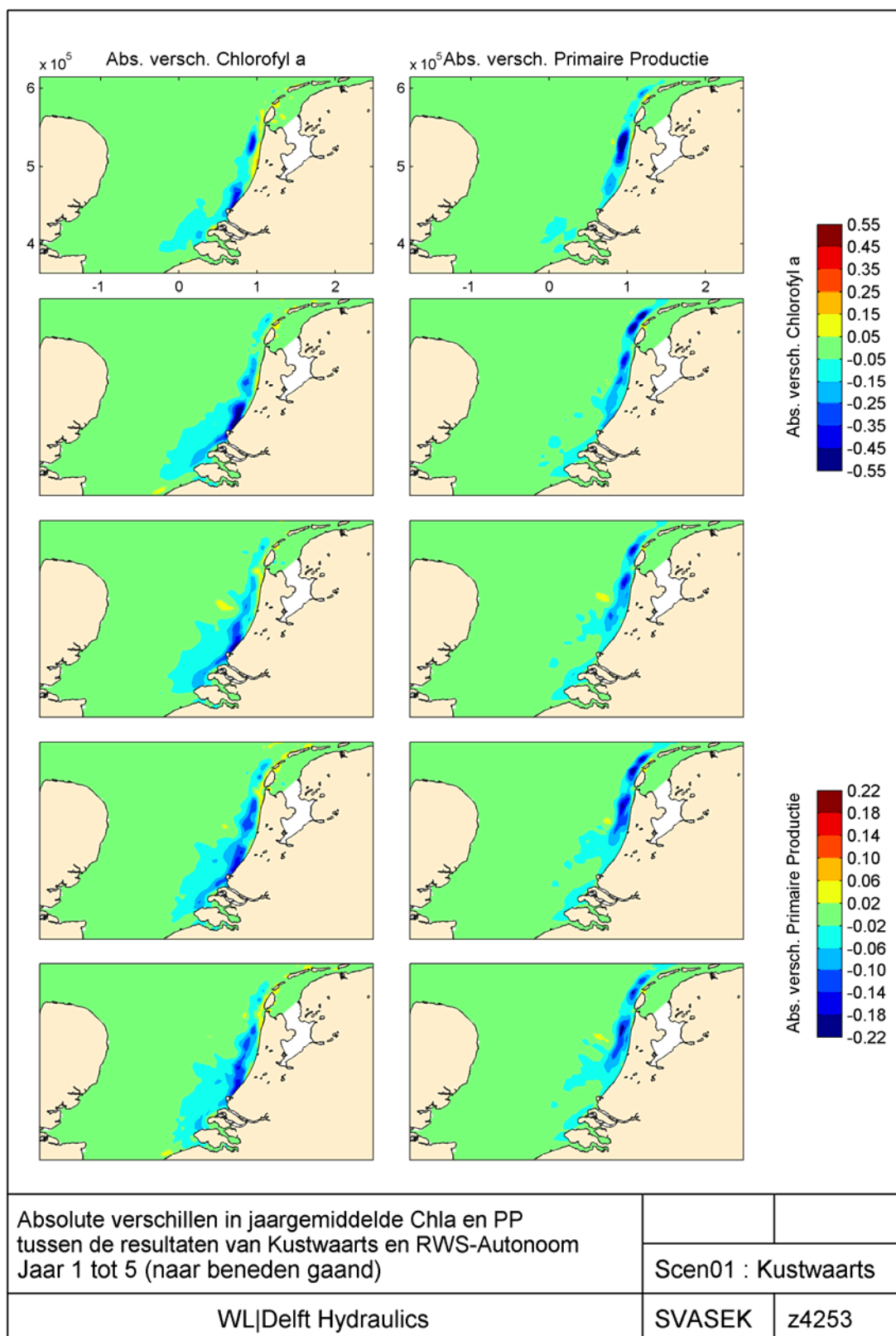
Figuur H.3c: Contourplots van het totale jaargemiddelde Chlorofyl a gehalte en primaire productie voor Scenario Zeewaarts.



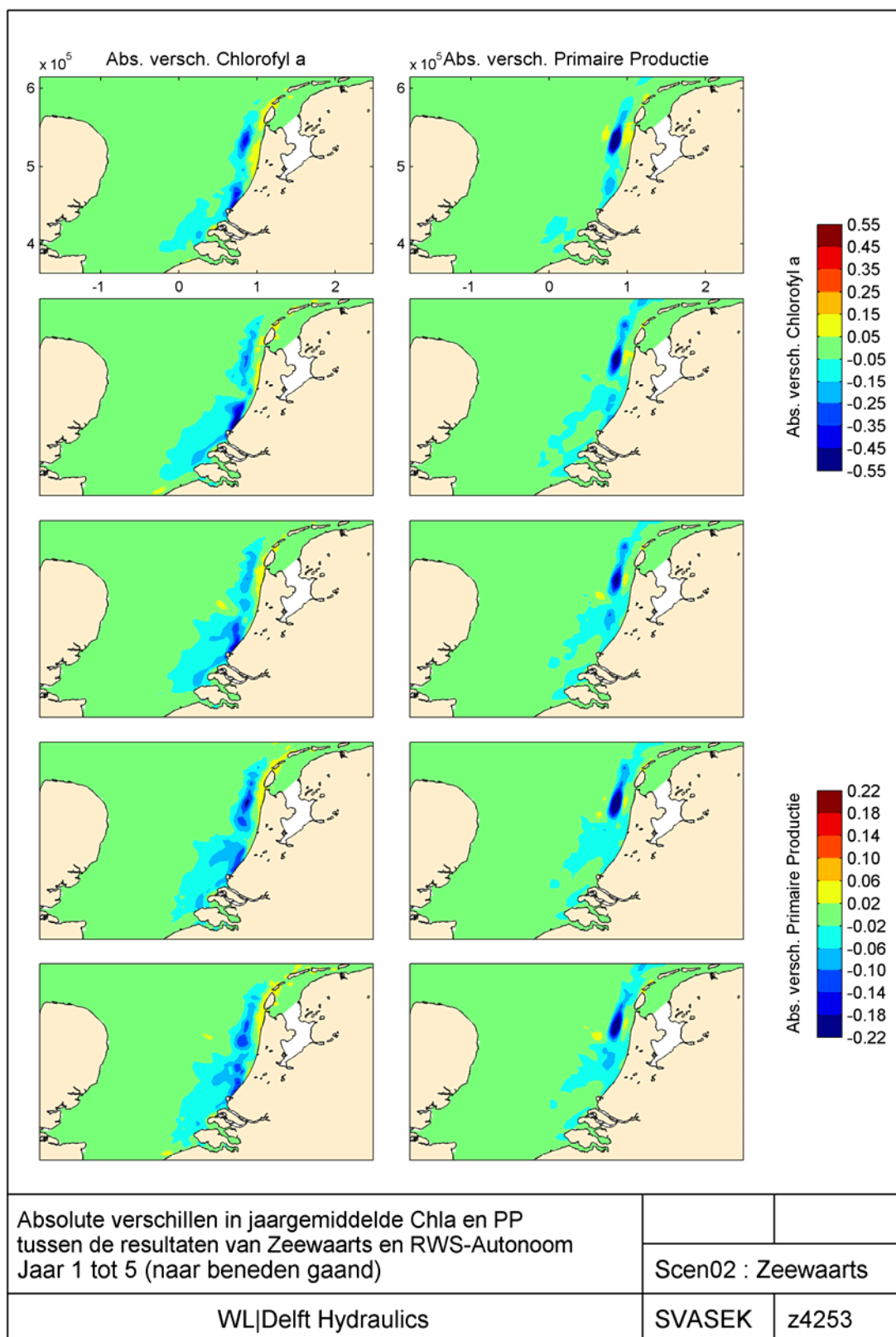
Figuur H.3d: Contourplots van het totale jaargemiddelde Chlorofyl a gehalte en primaire productie voor Scenario 20%extra.



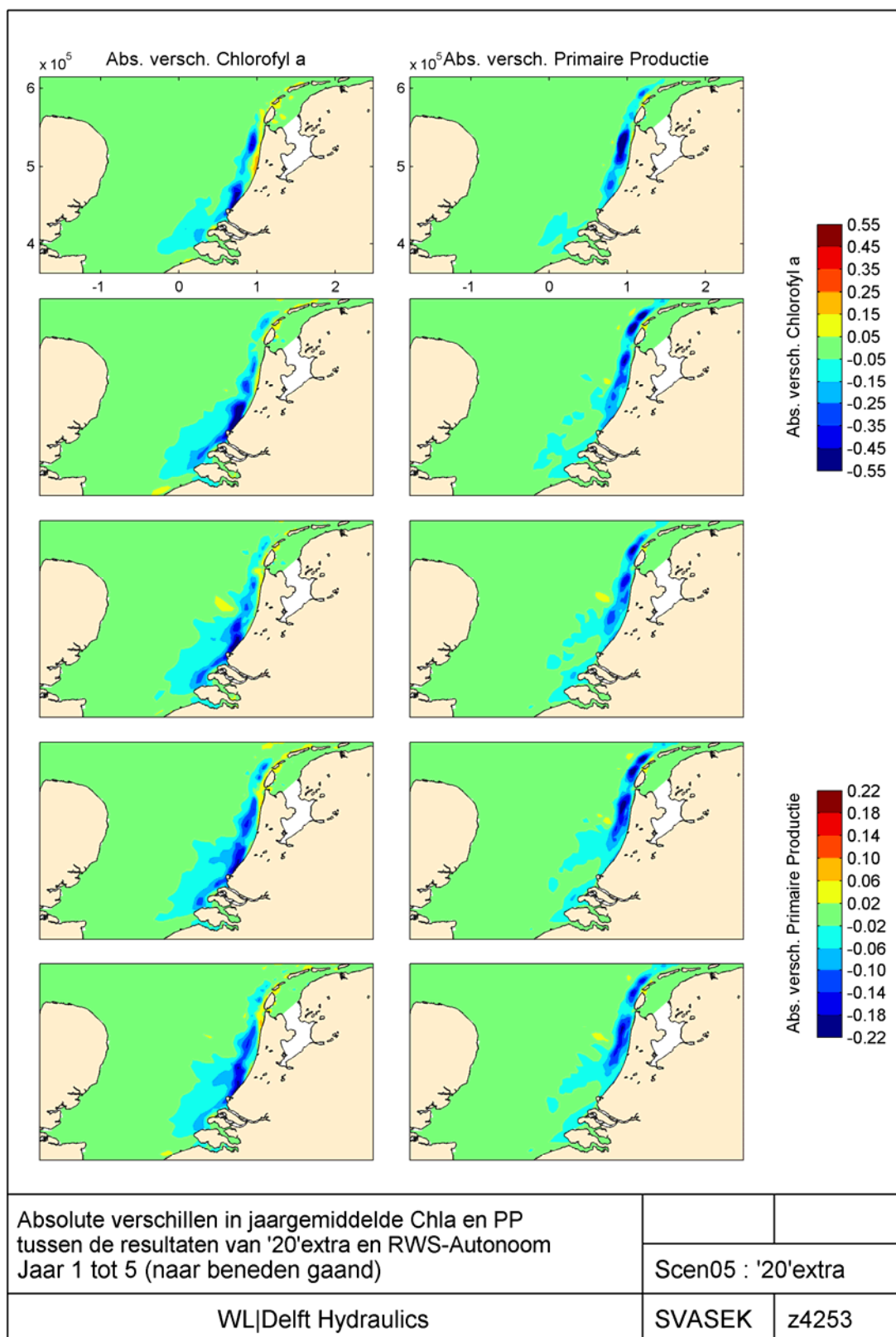
Figuur H.3e: Contourplots van het totale jaargemiddelde Chlorofyl a gehalte en primaire productie voor Scenario Fasering zs.



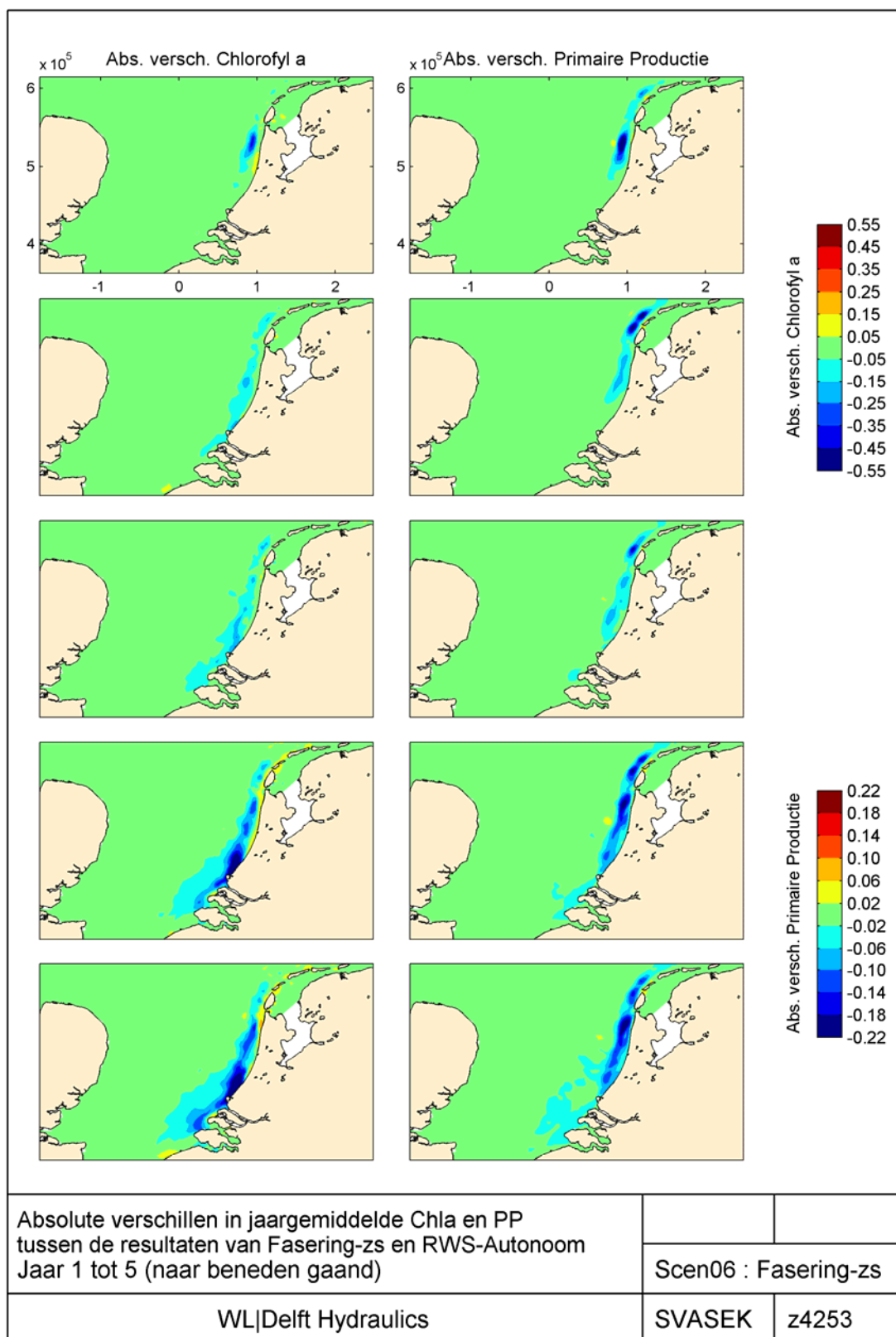
Figuur H.4a: Contourplots van het absolute verschil in jaargemiddelde Chlorofyl a gehalte (primaire productie) tussen Scenario Kustwaarts en de autonome situatie.



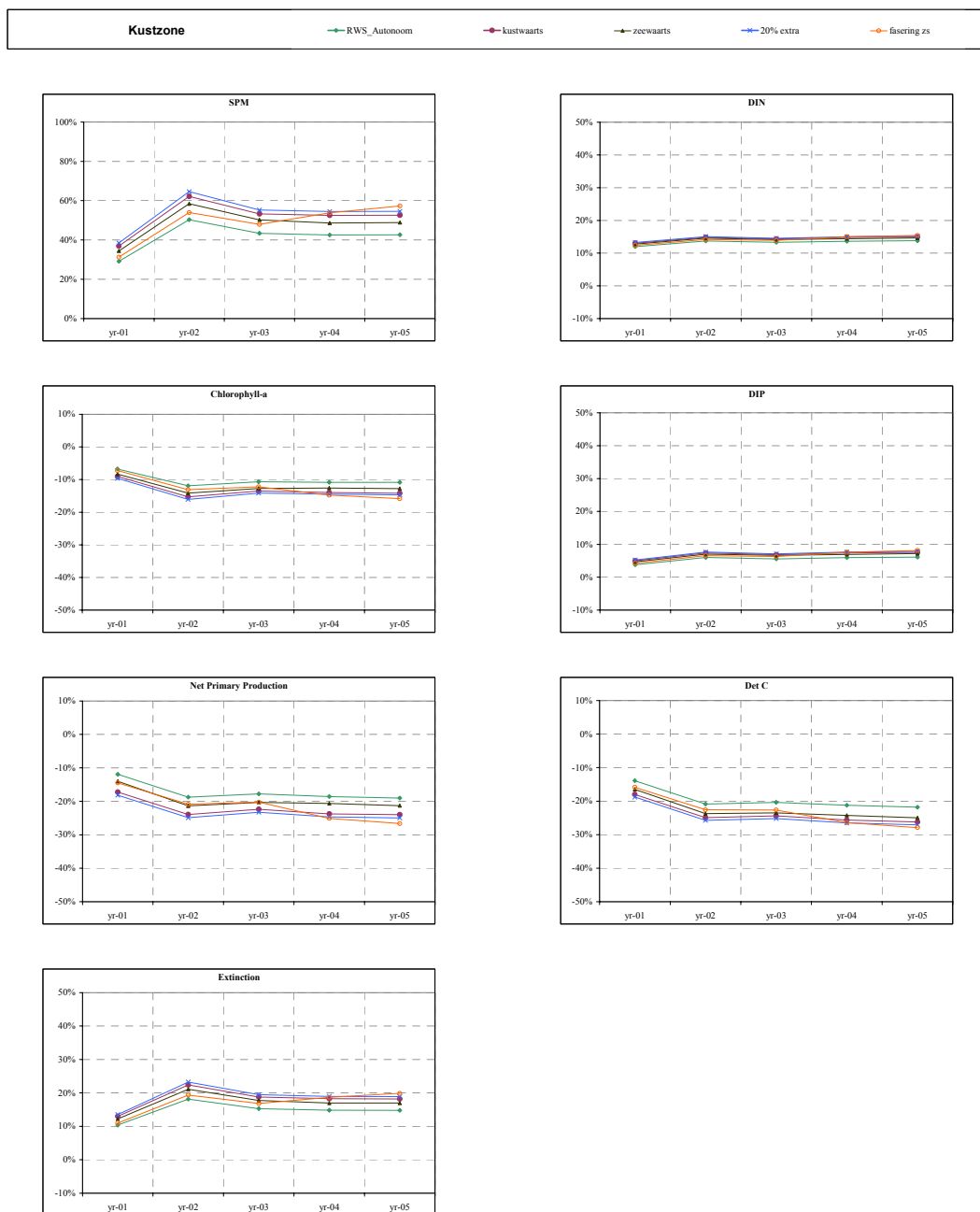
Figuur H.4b: Contourplots van het absolute verschil in jaargemiddelde Chlorofyl a gehalte (primaire productie) tussen Scenario Zeewaarts en de autonome situatie.



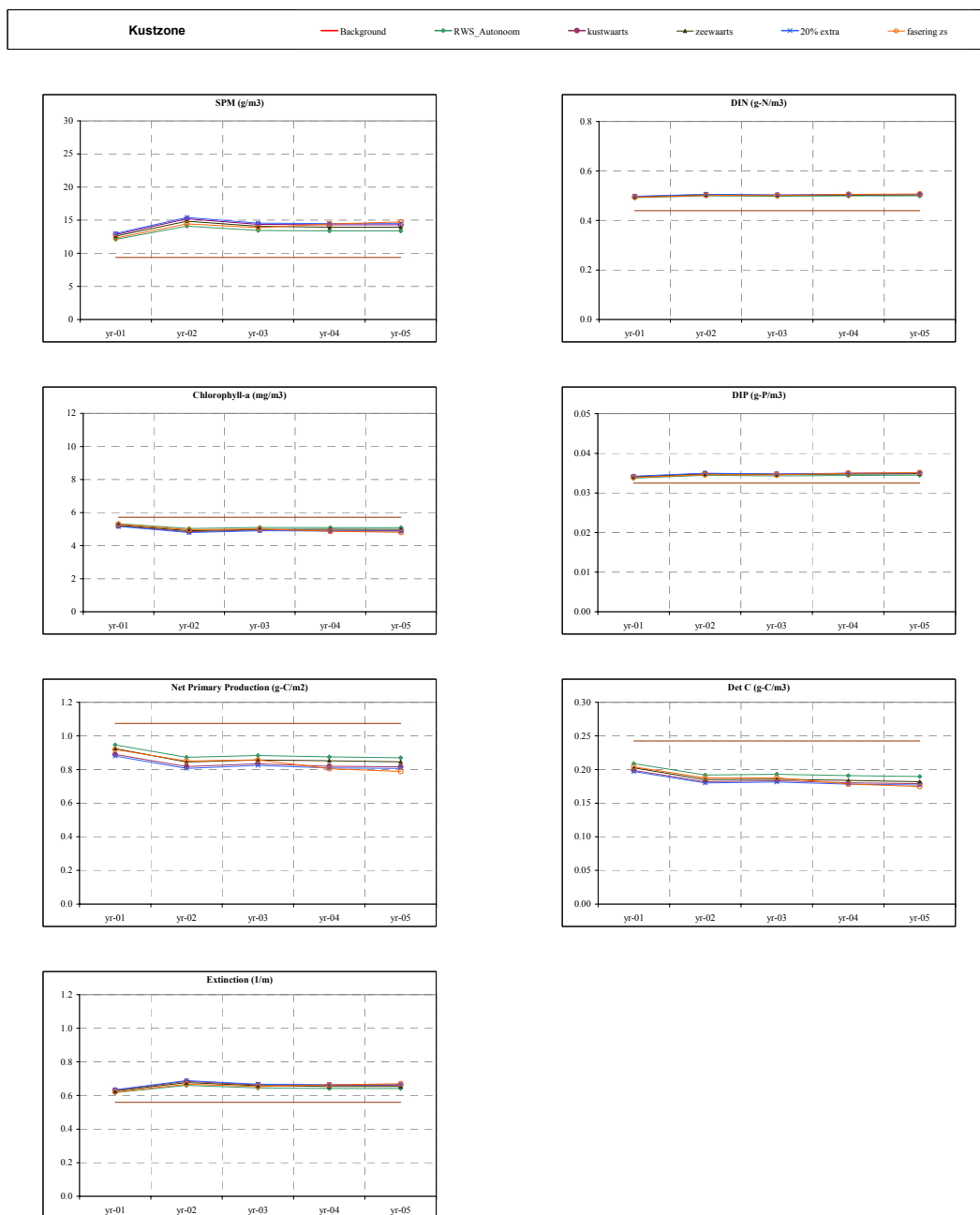
Figuur H.4c: Contourplots van het absolute verschil in jaargemiddelde Chlorofyl a gehalte (primaire productie) tussen Scenario 20% extra en de autonome situatie.



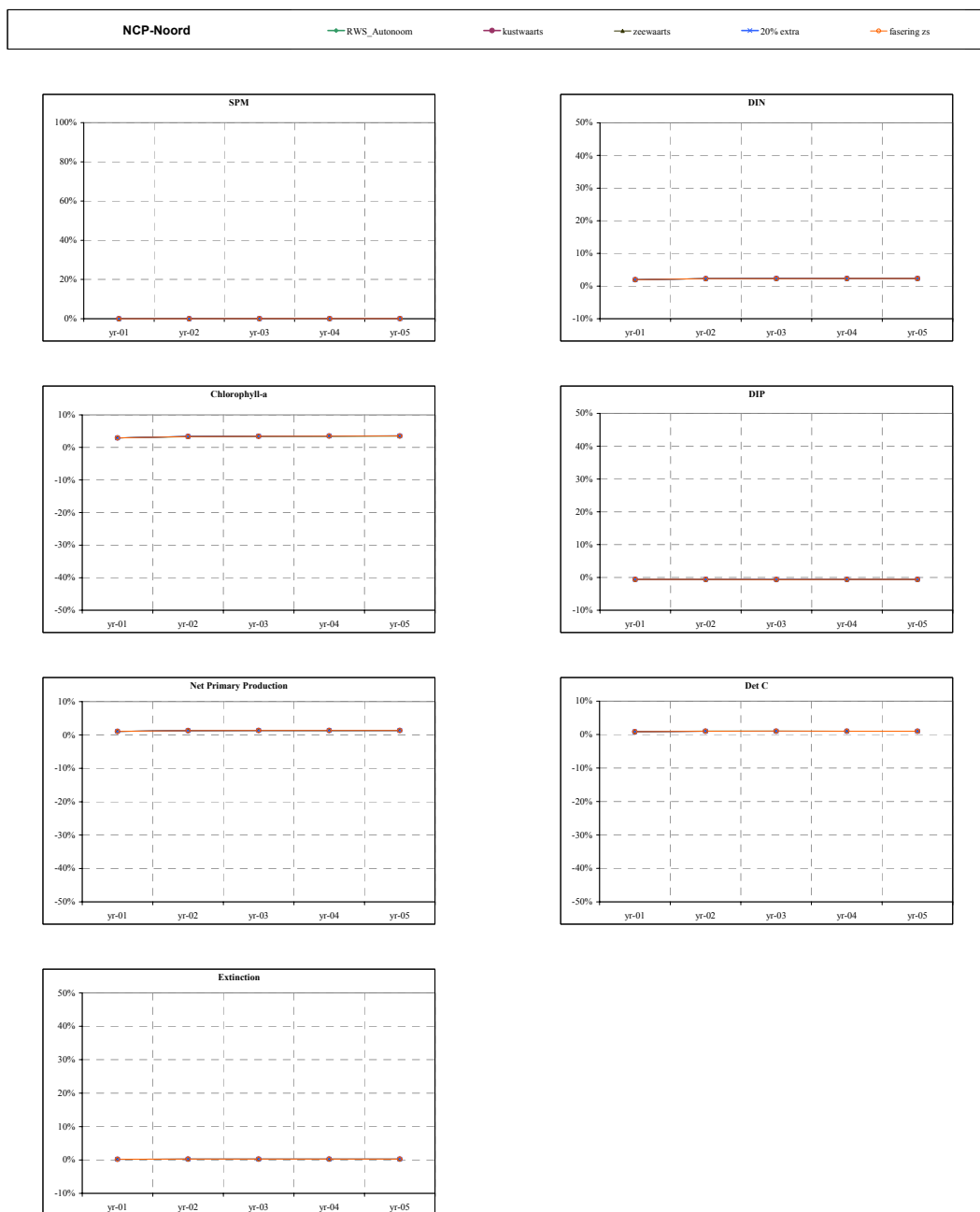
Figuur H.4d: Contourplots van het absolute verschil in jaargemiddelde Chlorofyl a gehalte (primaire productie) tussen Scenario fasering zs en de autonome situatie.



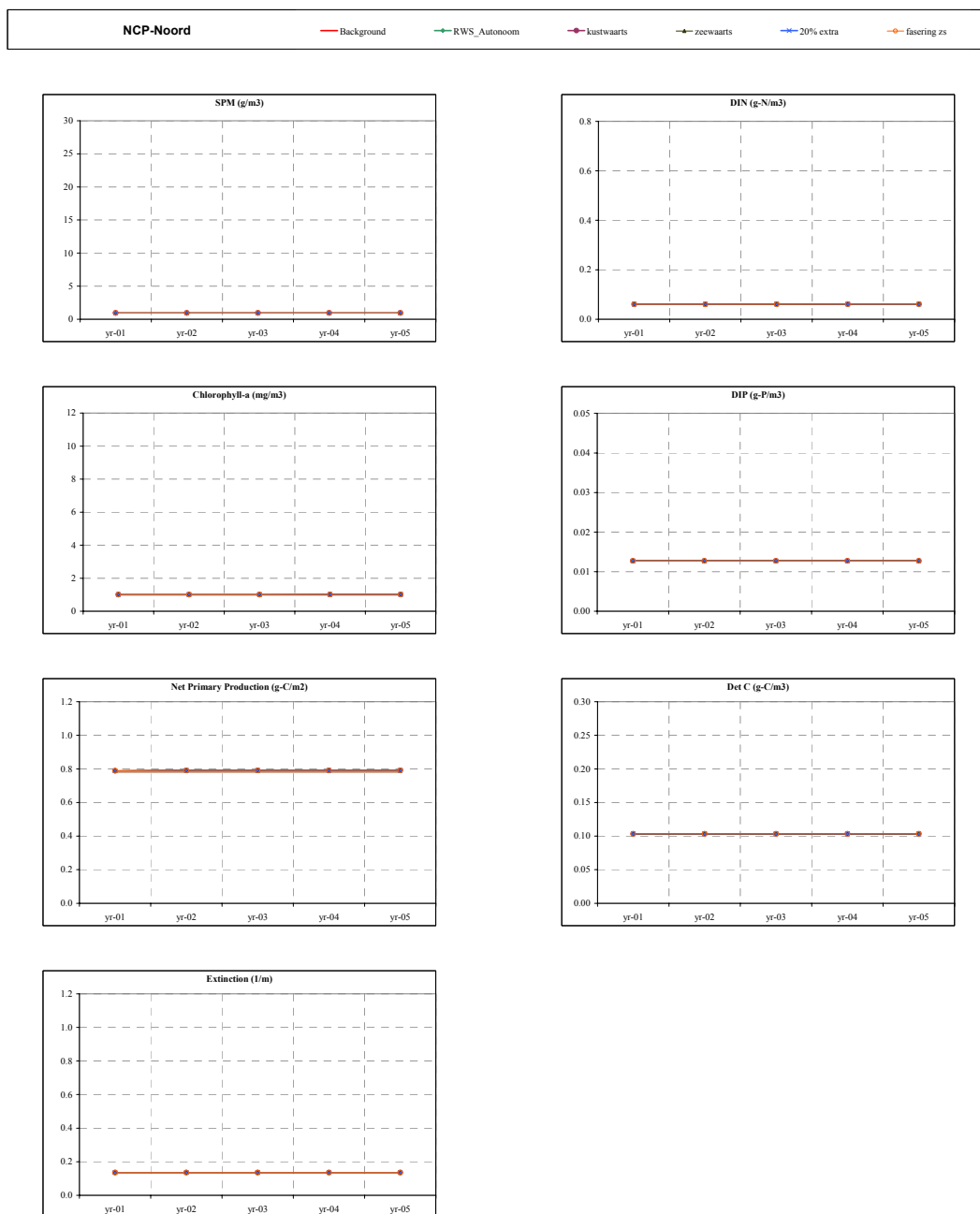
Figuur H.5a: Jaargemiddelde relatieve (tov achtergrond) waarden voor verschillende variabelen gemiddeld over deelgebied Kustzone.



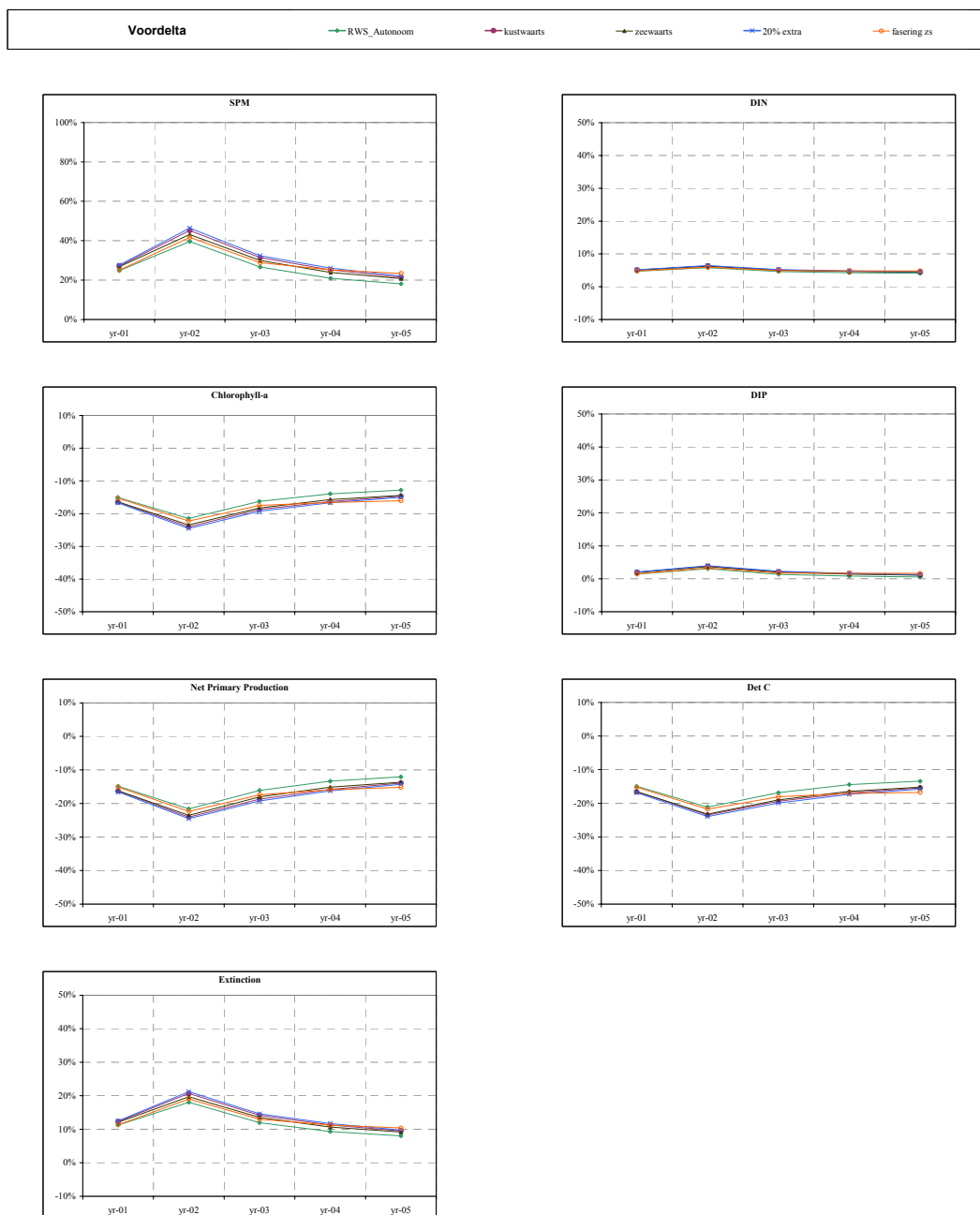
Figuur H.5b: Jaargemiddelde absolute waarden voor verschillende variabelen gemiddeld over deelgebied Kustzone.



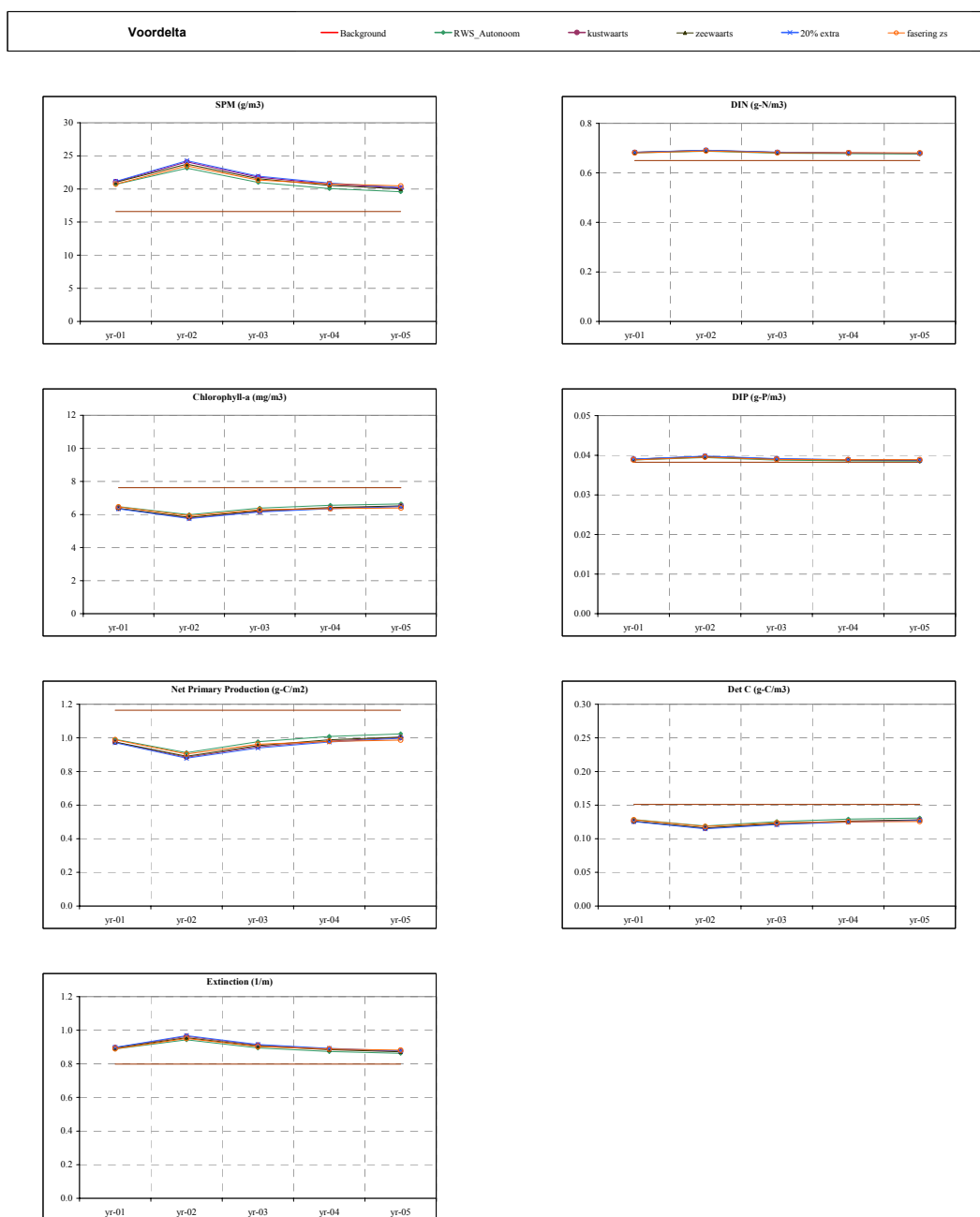
Figuur H.5c: Jaargemiddelde relatieve (tov achtergrond) waarden voor verschillende variabelen gemiddeld over deelgebied NCP-Noord.



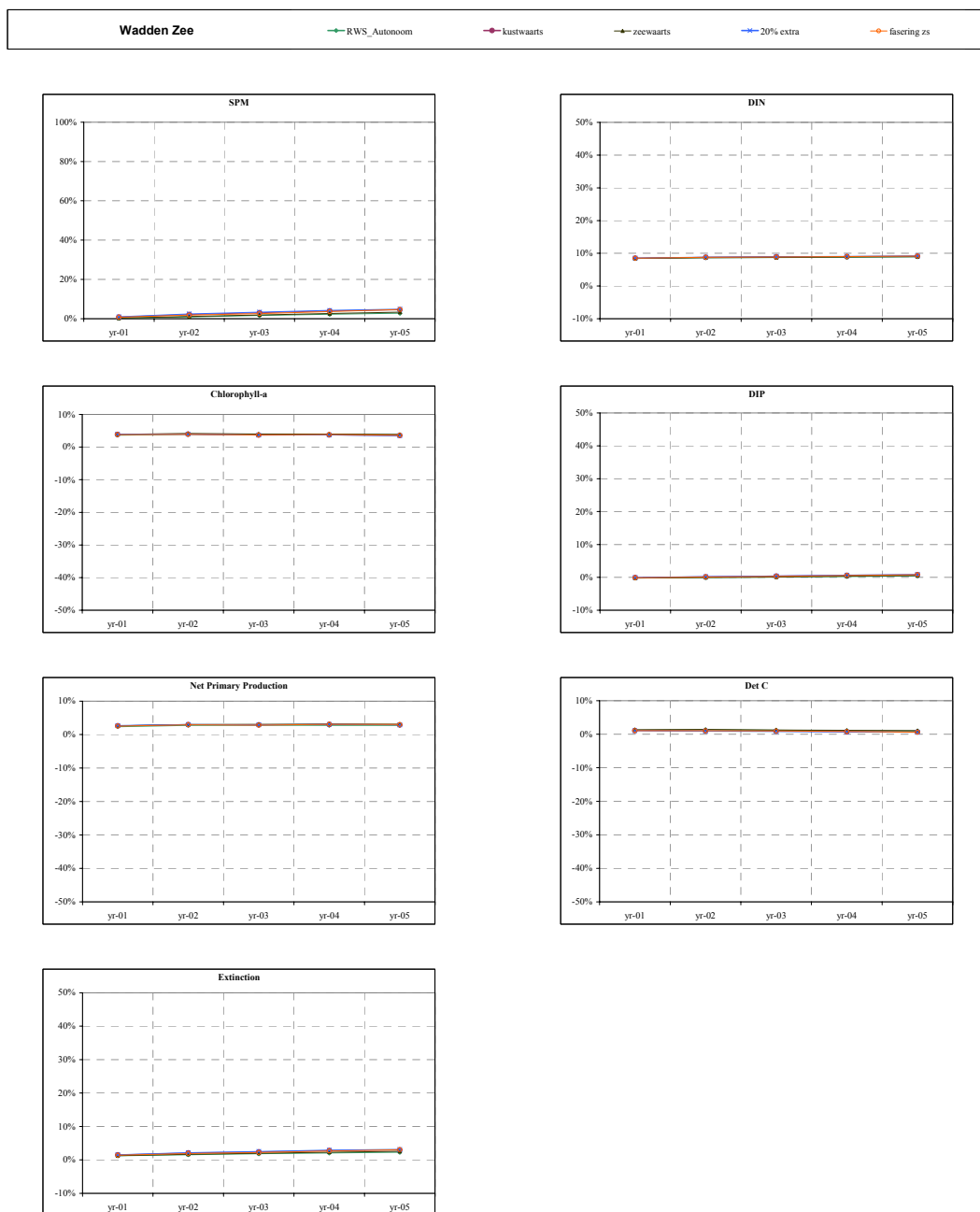
Figuur H.5d: Jaargemiddelde absolute waarden voor verschillende variabelen gemiddeld over deelgebied NCP-Noord.



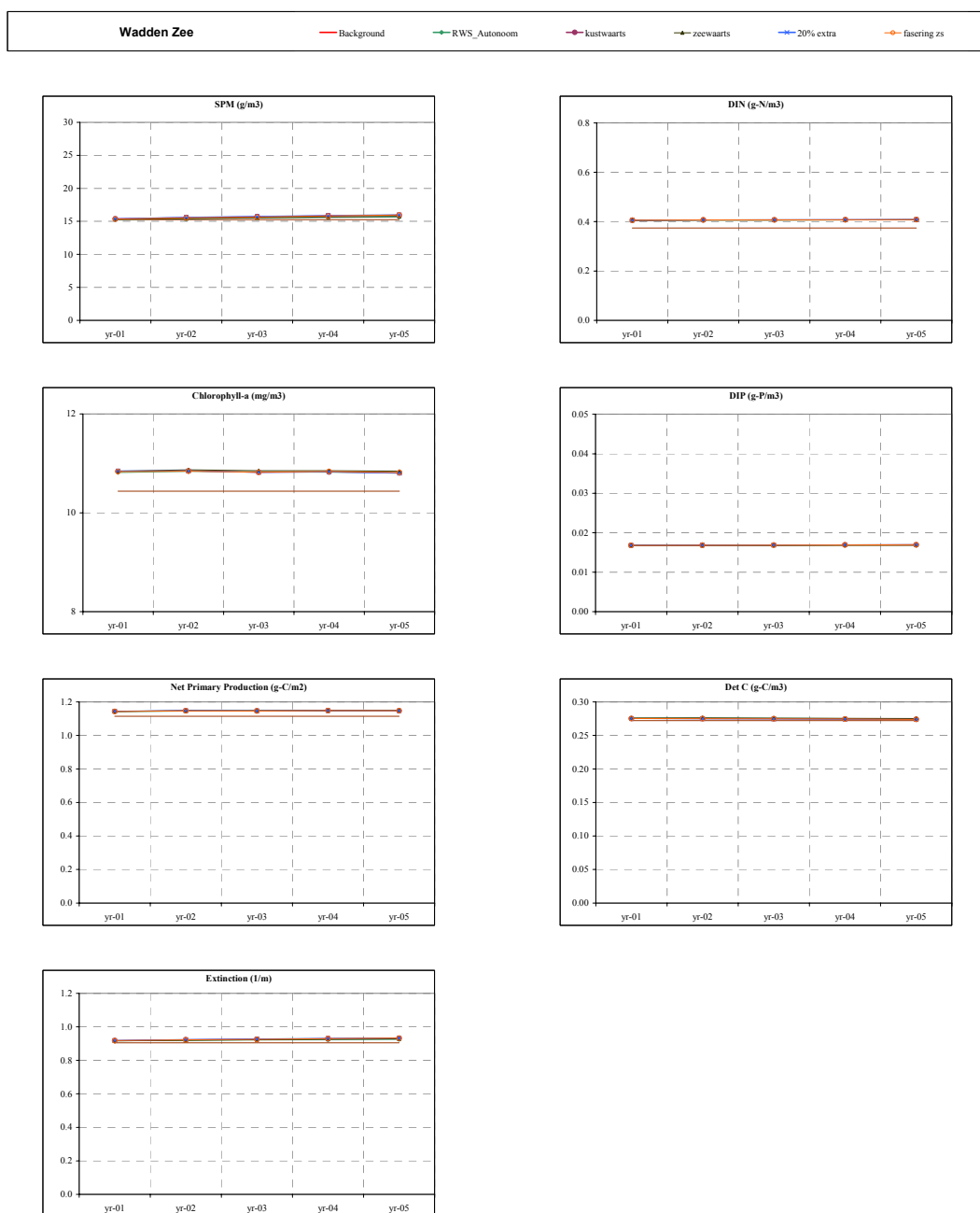
Figuur H.5e: Jaargemiddelde relatieve (tov achtergrond) waarden voor verschillende variabelen gemiddeld over deelgebied Voordelta.



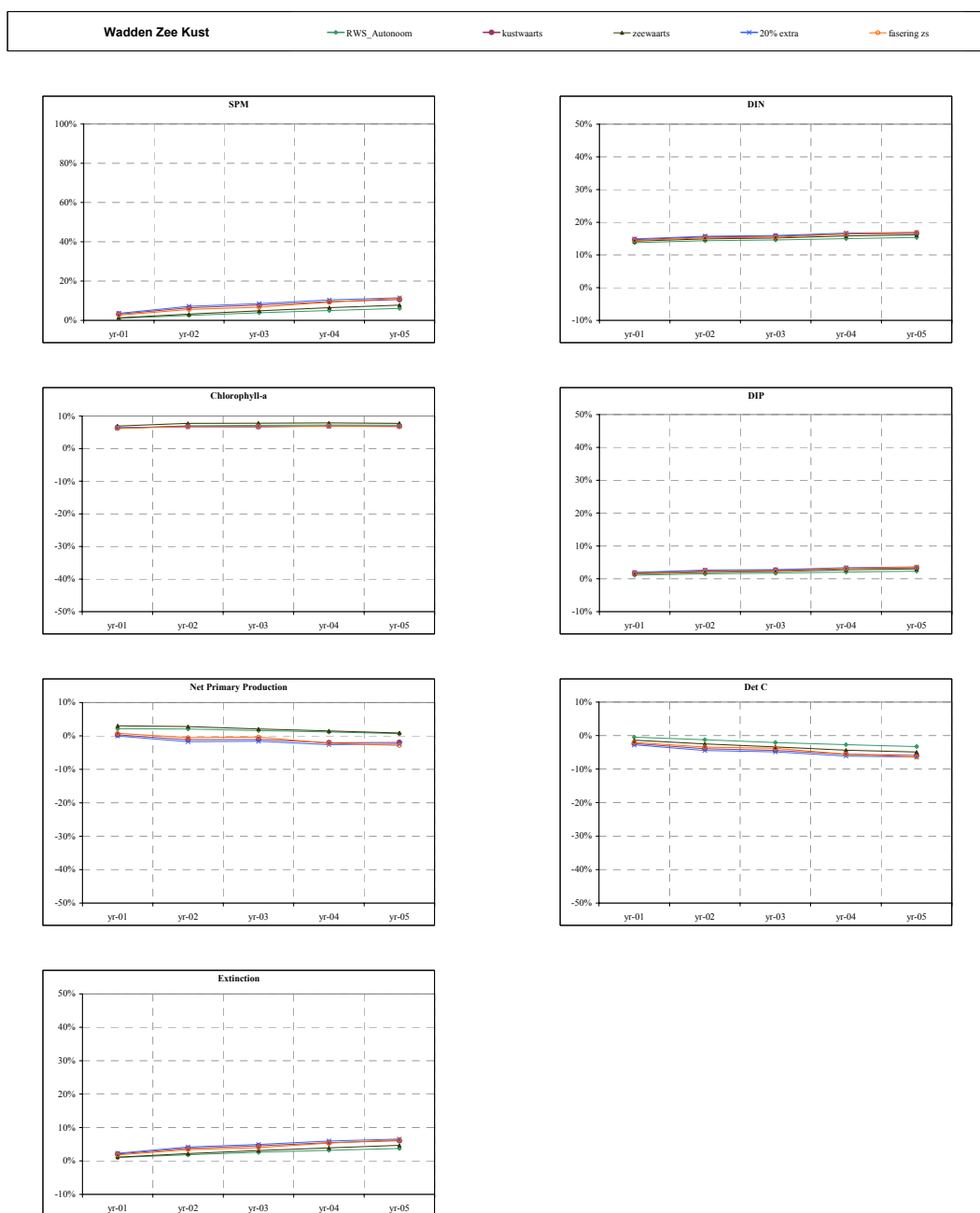
Figuur H.5f: Jaargemiddelde absolute waarden voor verschillende variabelen gemiddeld over deelgebied Voordelta.



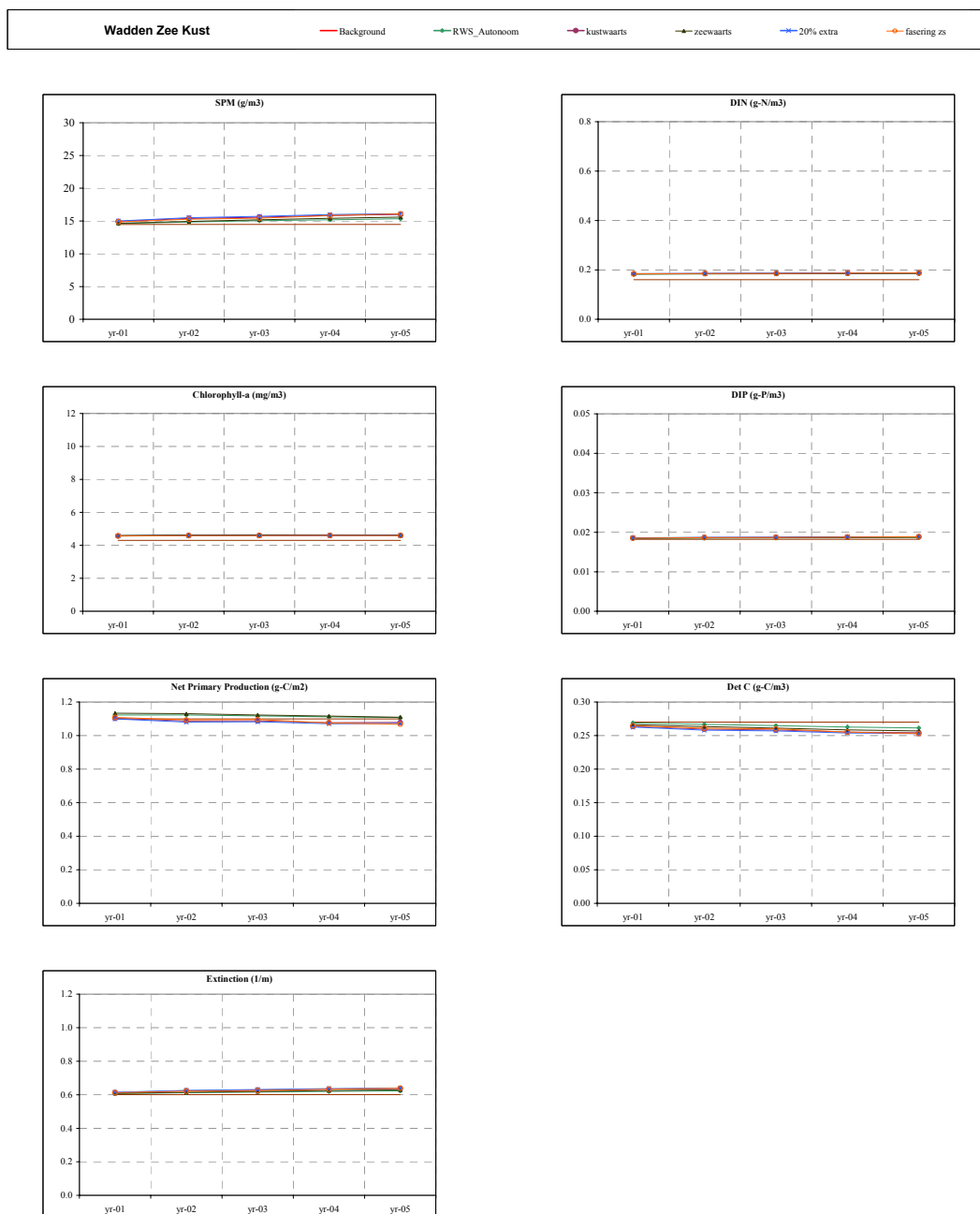
Figuur H.5g: Jaargemiddelde relatieve (tov achtergrond) waarden voor verschillende variabelen gemiddeld over deelgebied Waddenzee.



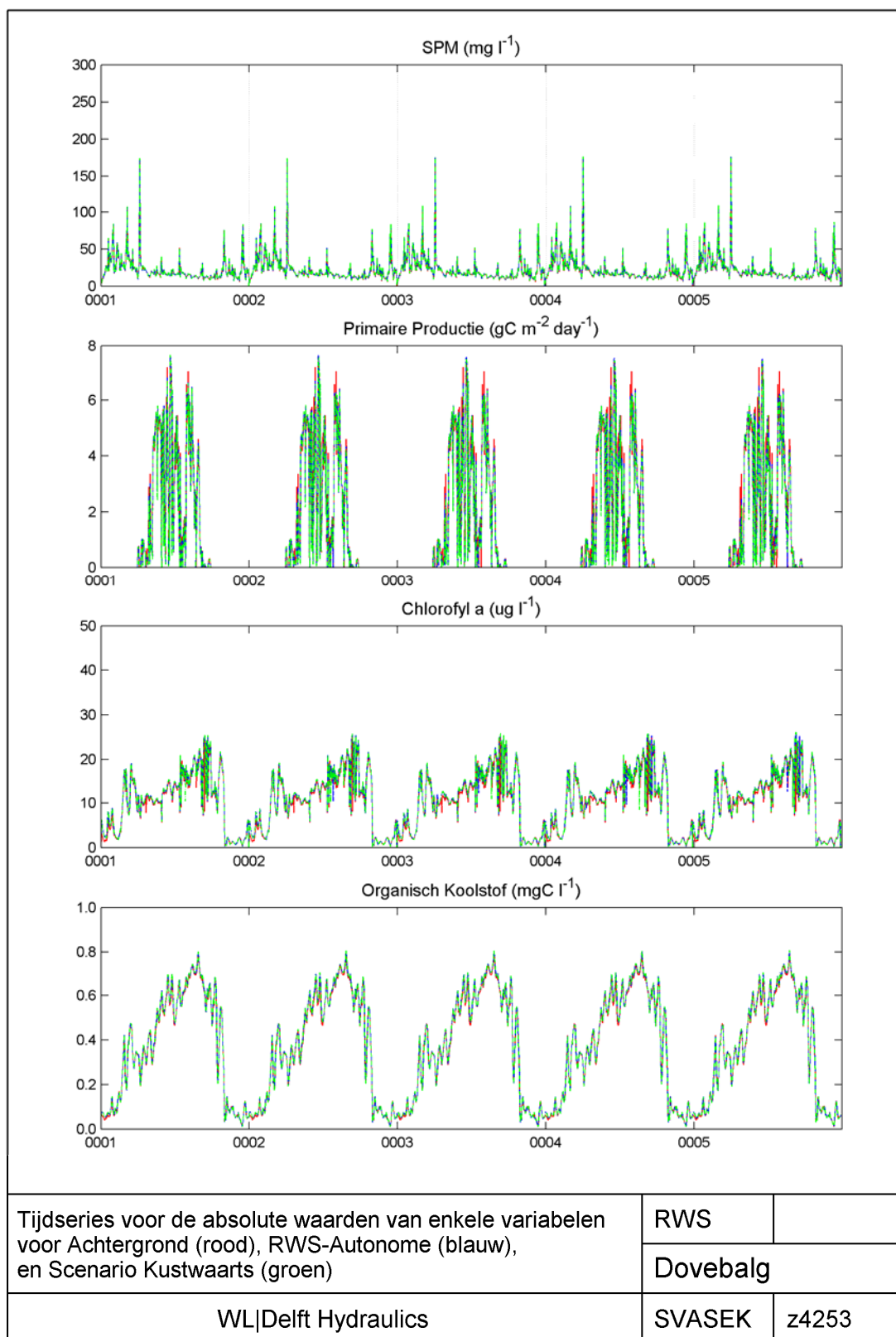
Figuur H.5h: Jaargemiddelde absolute waarden voor verschillende variabelen gemiddeld over deelgebied Waddenzee.



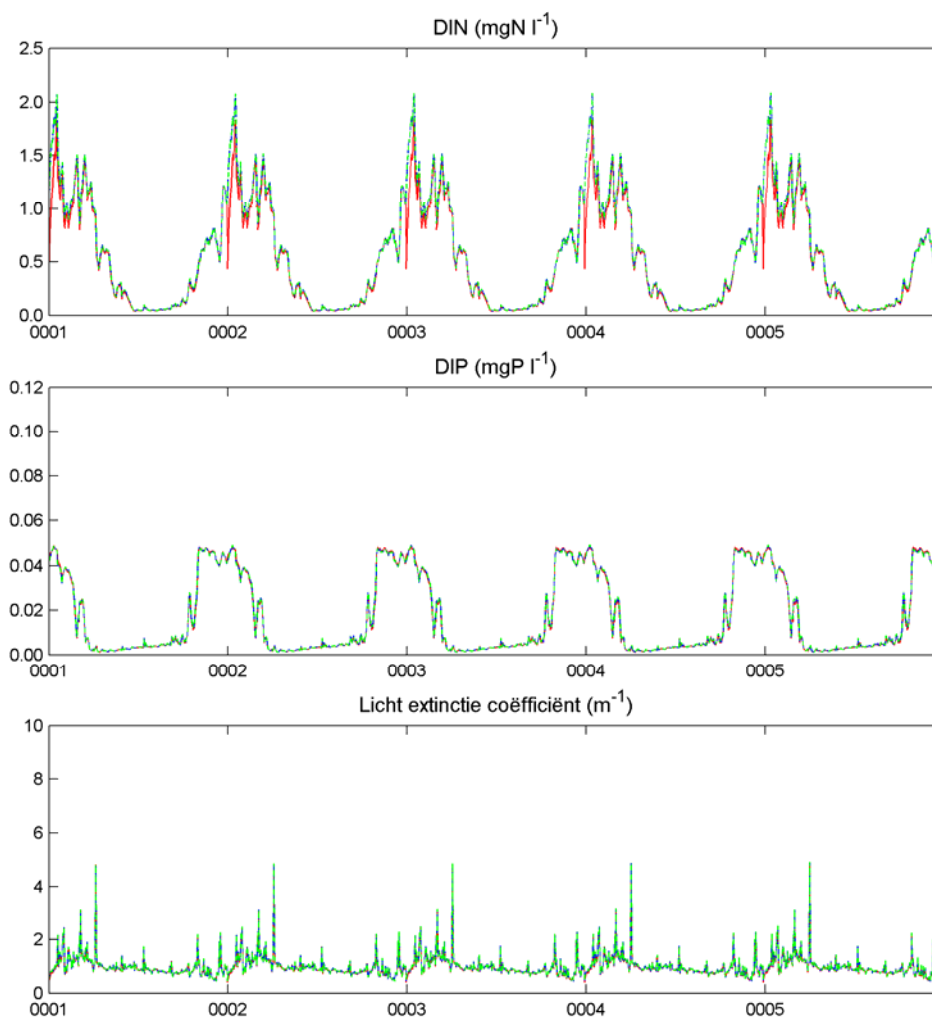
Figuur H.5i: Jaargemiddelde relatieve (tov achtergrond) waarden voor verschillende variabelen gemiddeld over deelgebied Noordzee kustzone.



Figuur H.5j: Jaargemiddelde absolute waarden voor verschillende variabelen gemiddeld over deelgebied Noordzee kustzone.



Figuur H.6a: Tijdseries voor verschillende variabelen op verschillende MWTL-locaties.



Tijdseries voor de absolute waarden van enkele variabelen
voor Achtergrond (rood), RWS-Autonomie (blauw),
en Scenario Kustwaarts (groen)

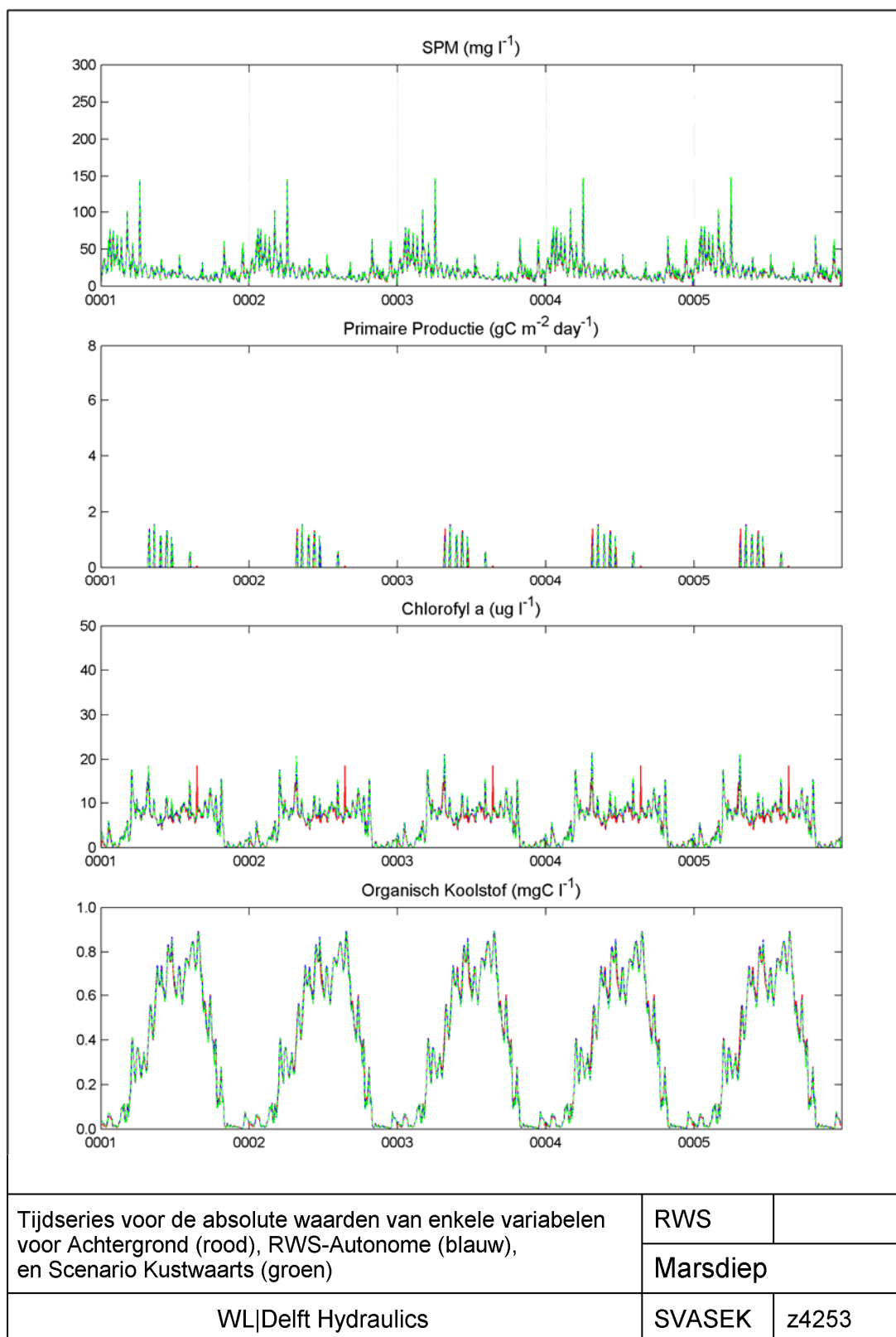
RWS

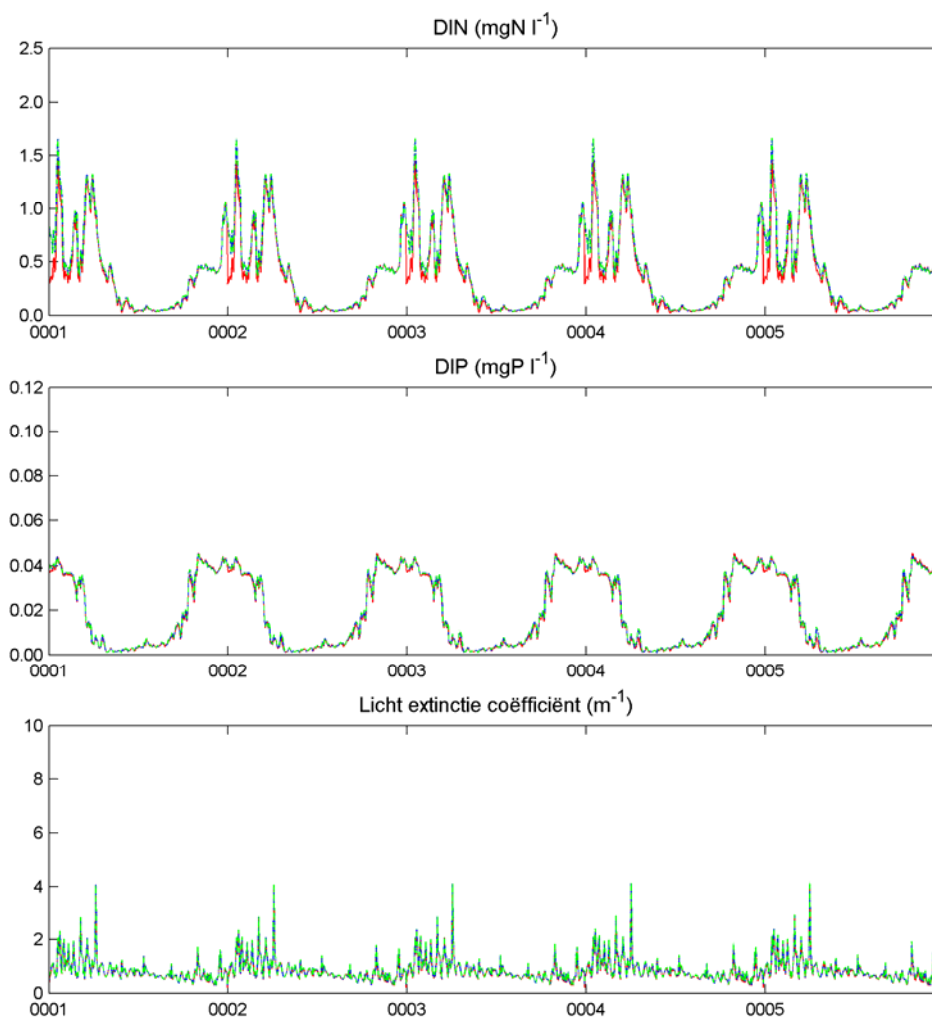
Dovebalg

WL|Delft Hydraulics

SVASEK

z4253





Tijdseries voor de absolute waarden van enkele variabelen
voor Achtergrond (rood), RWS-Autonome (blauw),
en Scenario Kustwaarts (groen)

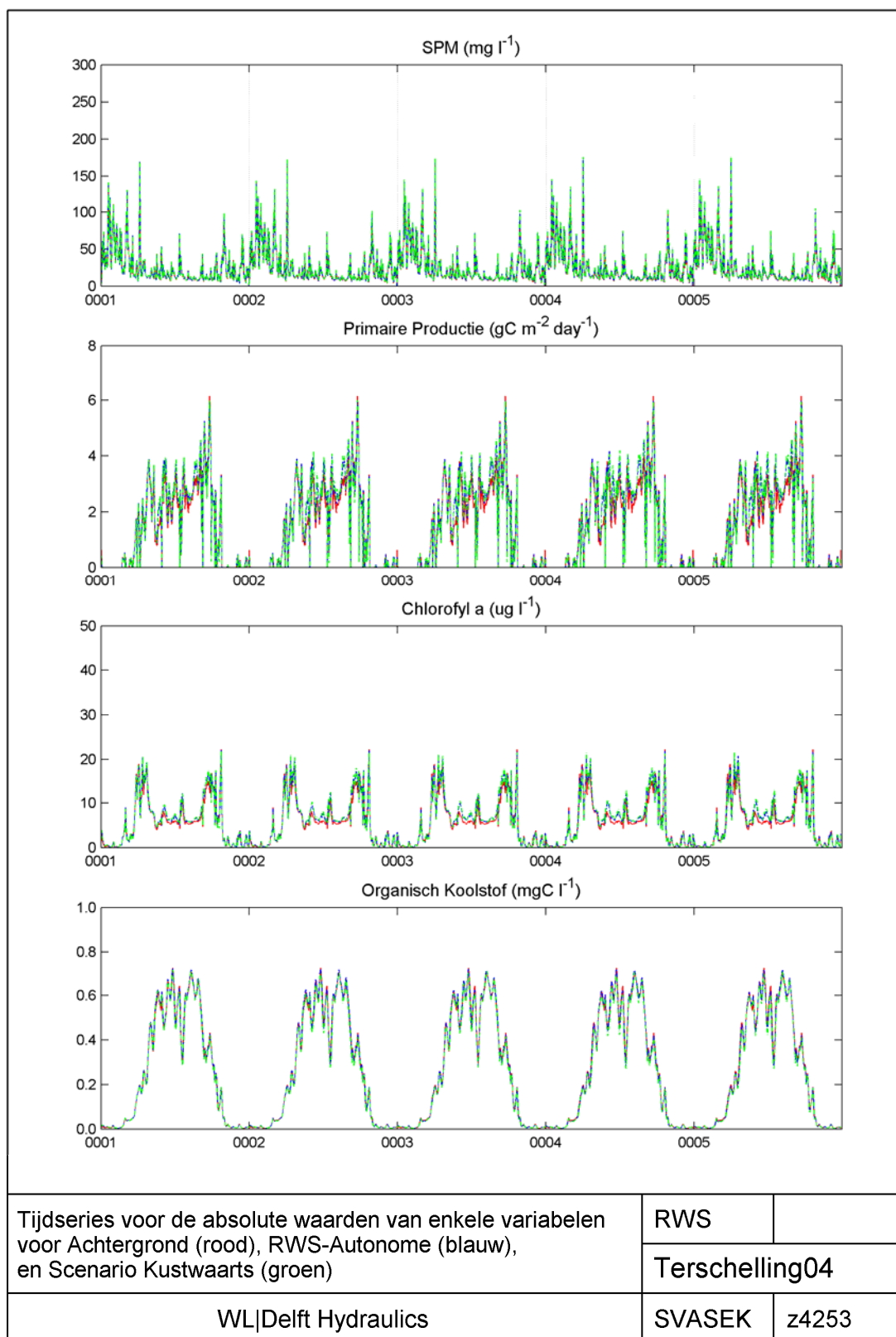
RWS

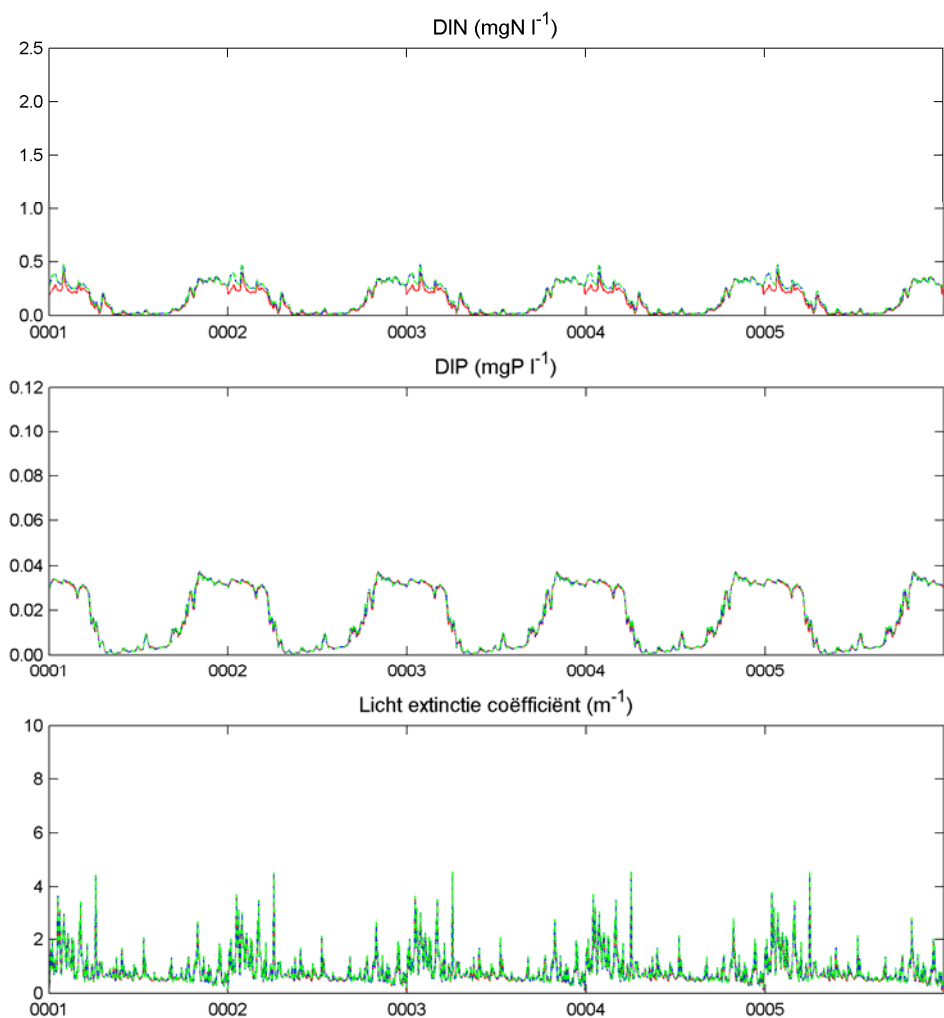
Marsdiep

WL|Delft Hydraulics

SVASEK

z4253





Tijdseries voor de absolute waarden van enkele variabelen
voor Achtergrond (rood), RWS-Autonome (blauw),
en Scenario Kustwaarts (groen)

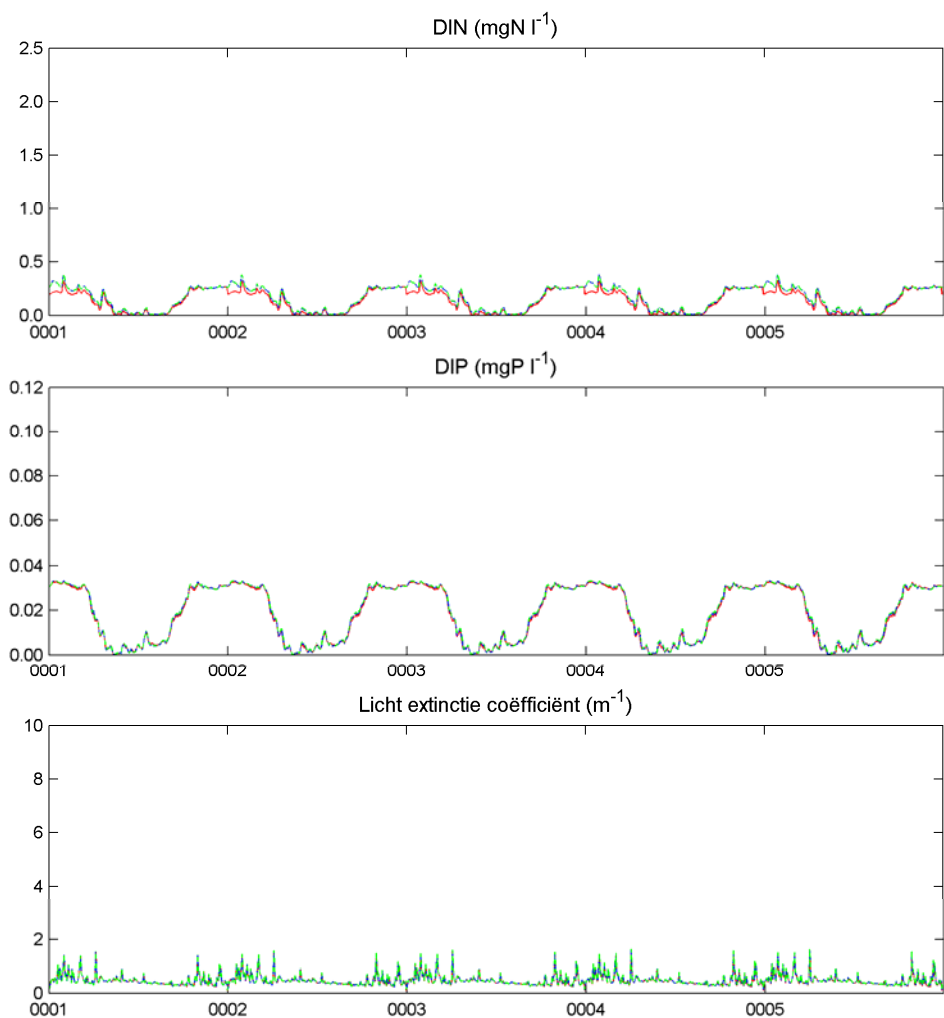
RWS

Terschelling04

WL|Delft Hydraulics

SVASEK

z4253



Tijdseries voor de absolute waarden van enkele variabelen
voor Achtergrond (rood), RWS-Autonome (blauw),
en Scenario Kustwaarts (groen)

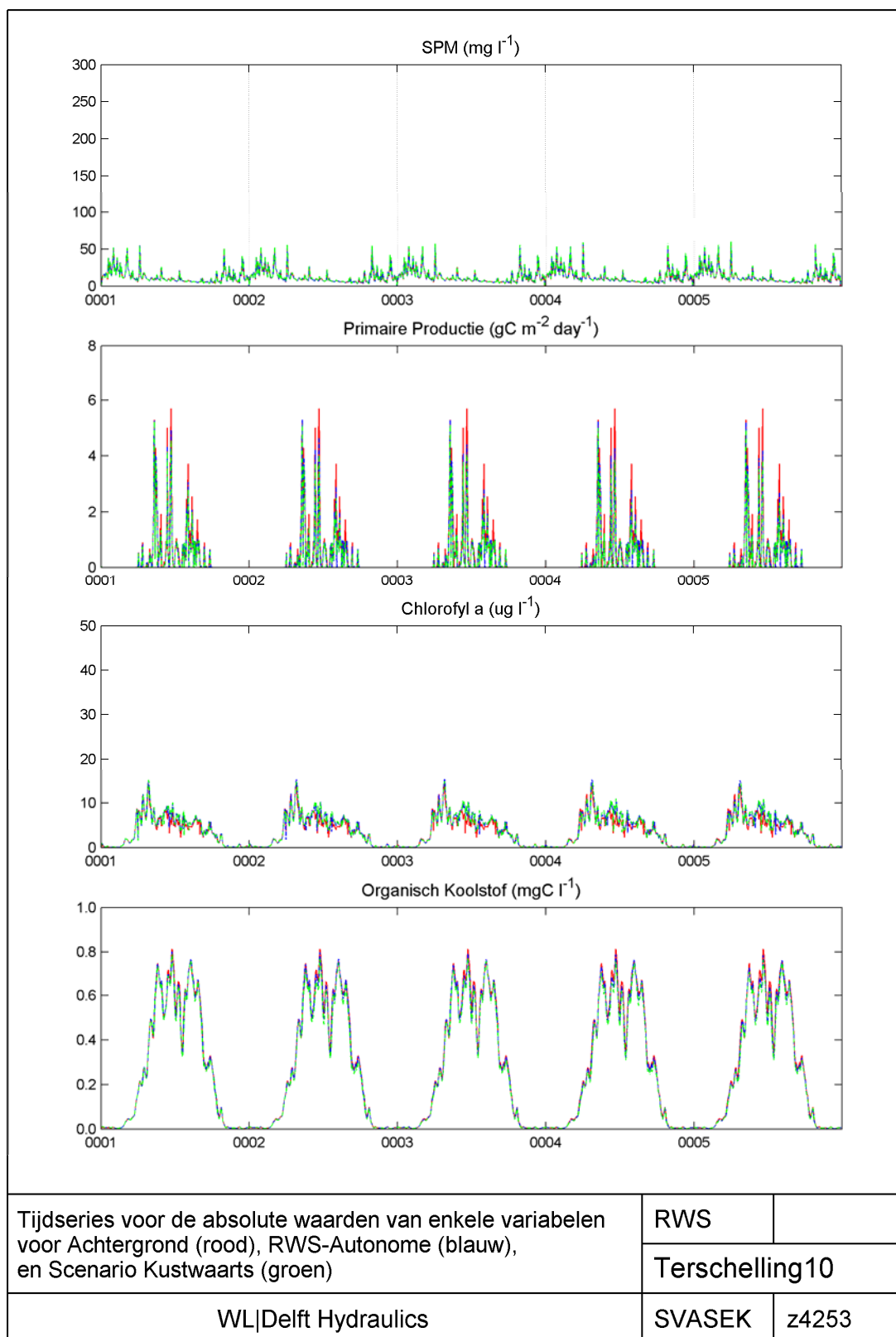
RWS

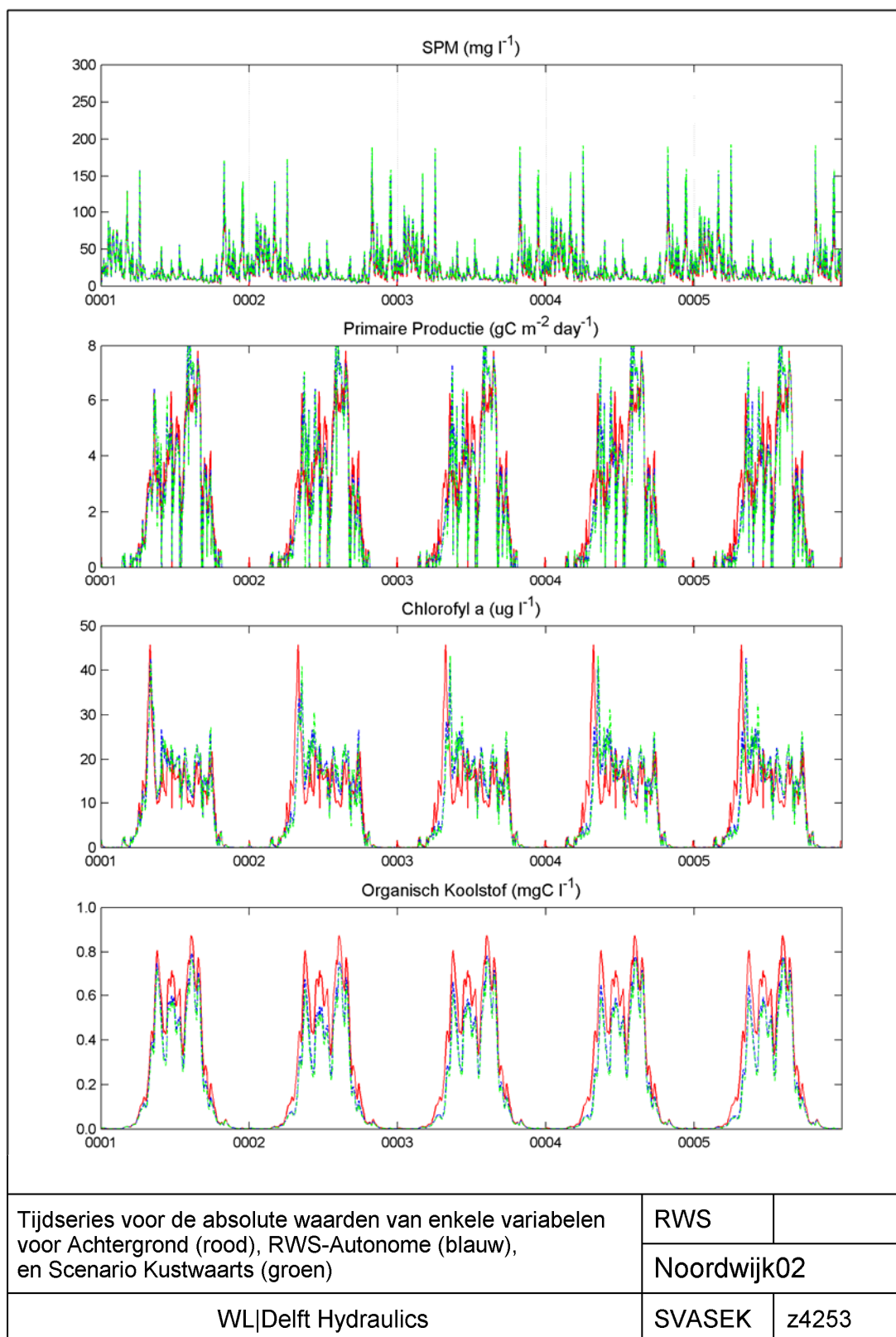
Terschelling10

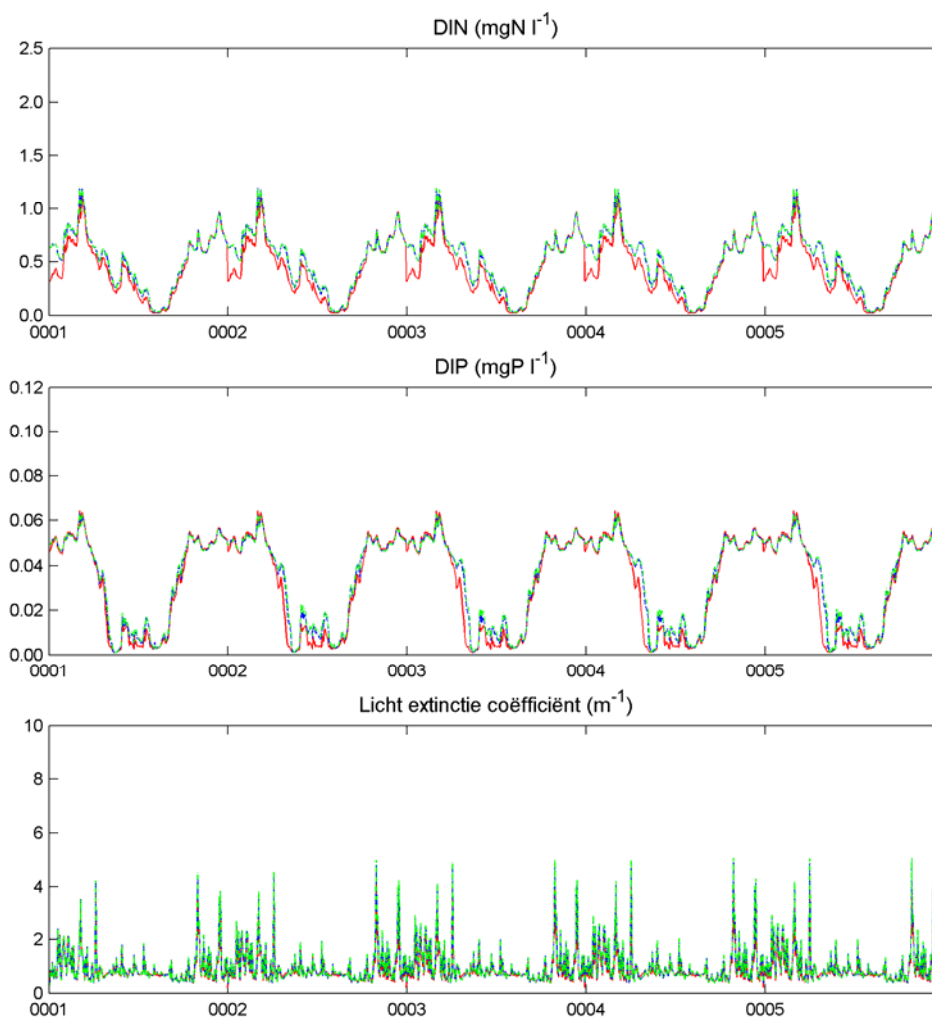
WL|Delft Hydraulics

SVASEK

z4253







Tijdseries voor de absolute waarden van enkele variabelen
voor Achtergrond (rood), RWS-Autonome (blauw),
en Scenario Kustwaarts (groen)

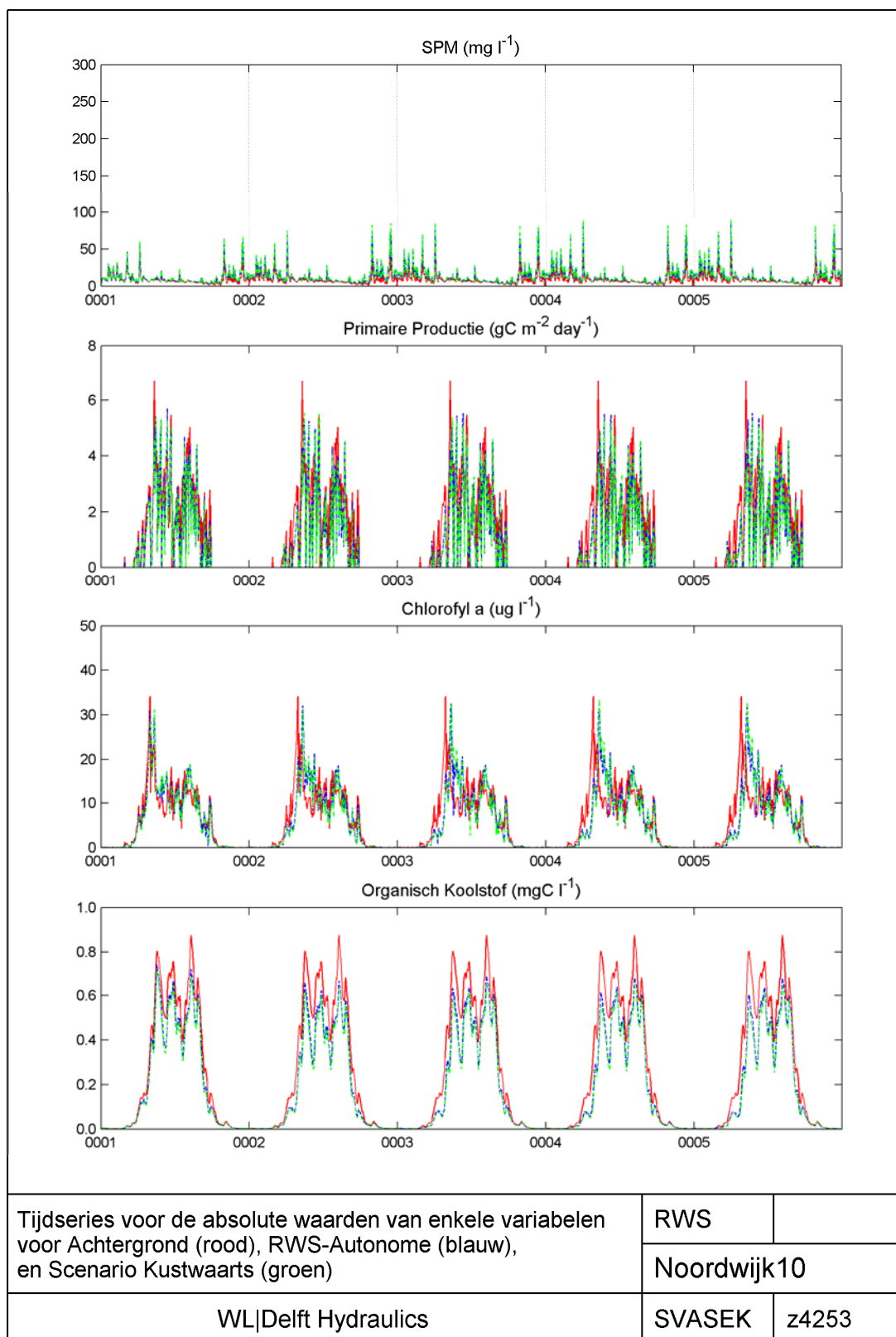
RWS

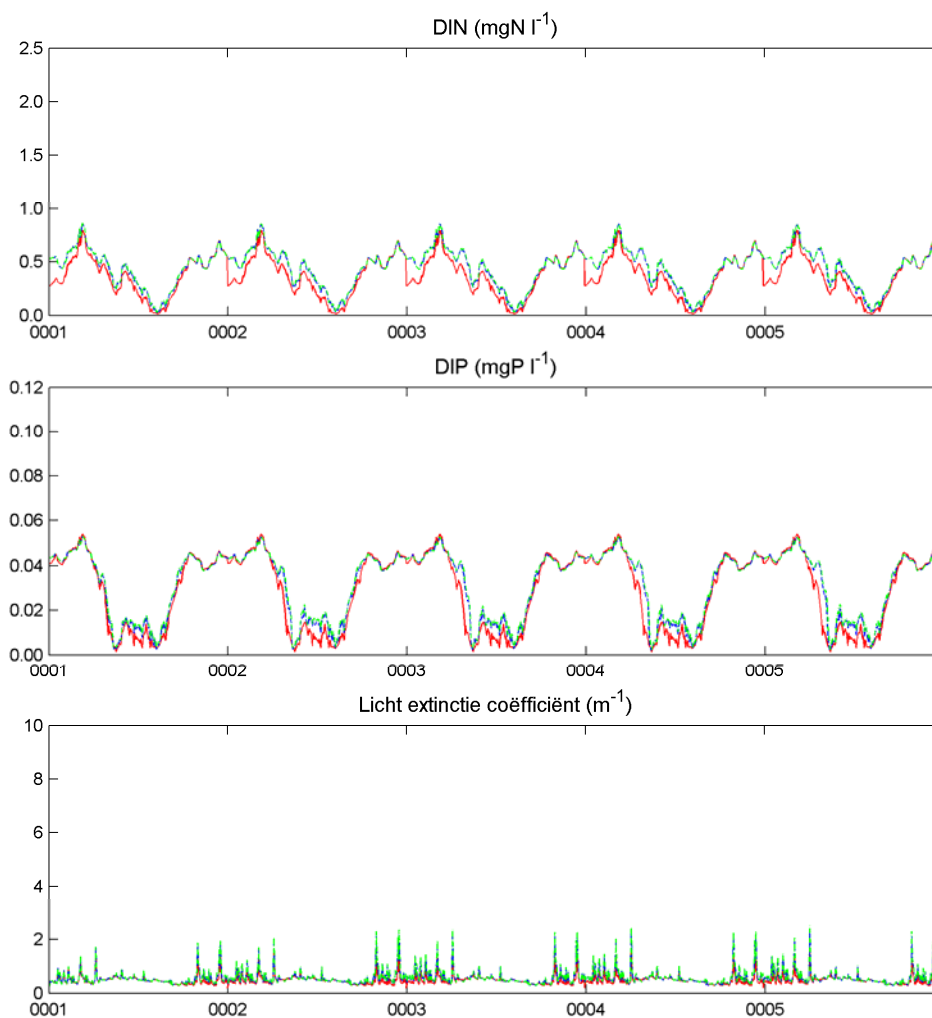
Noordwijk02

WL|Delft Hydraulics

SVASEK

z4253





Tijdseries voor de absolute waarden van enkele variabelen
voor Achtergrond (rood), RWS-Autonome (blauw),
en Scenario Kustwaarts (groen)

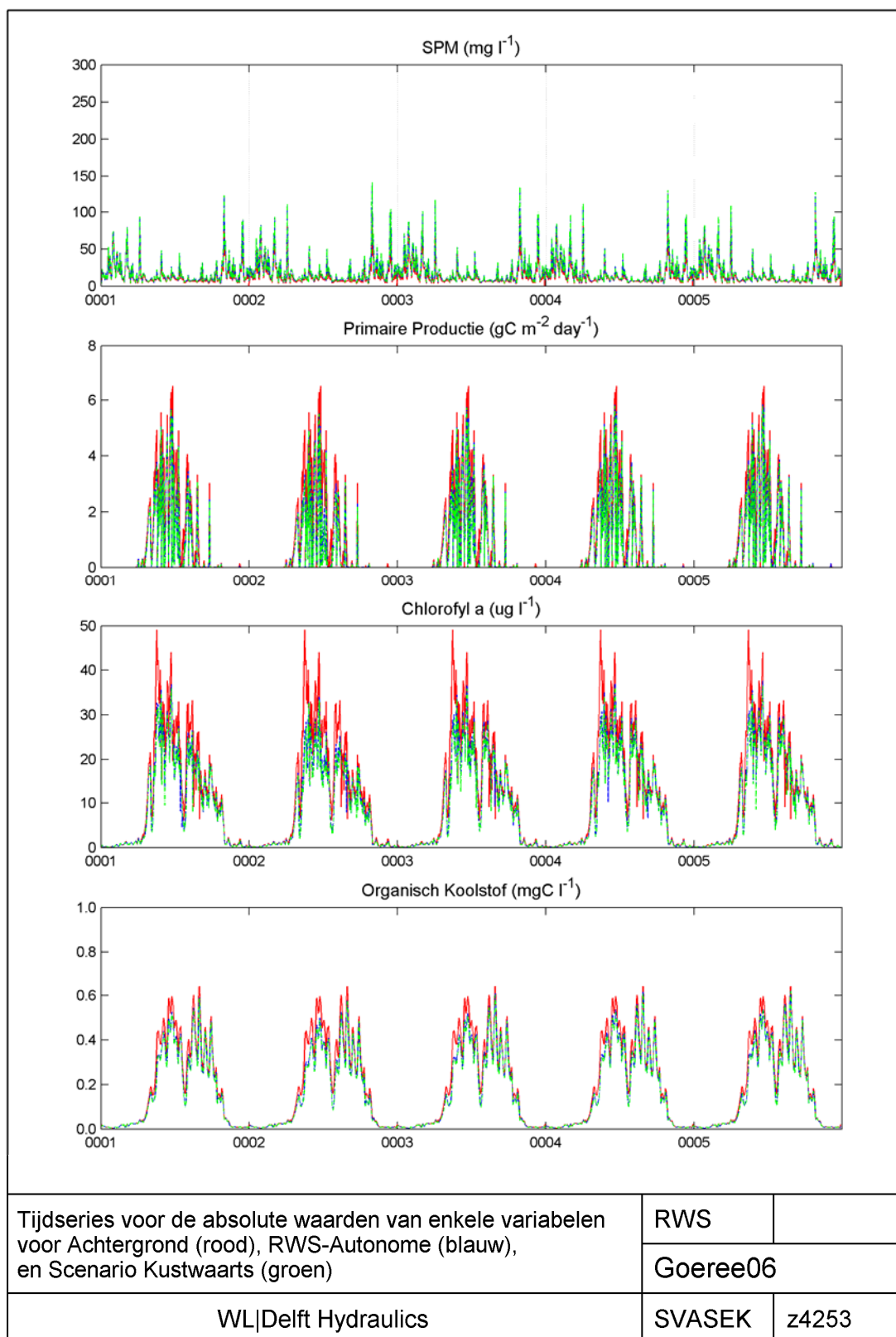
RWS

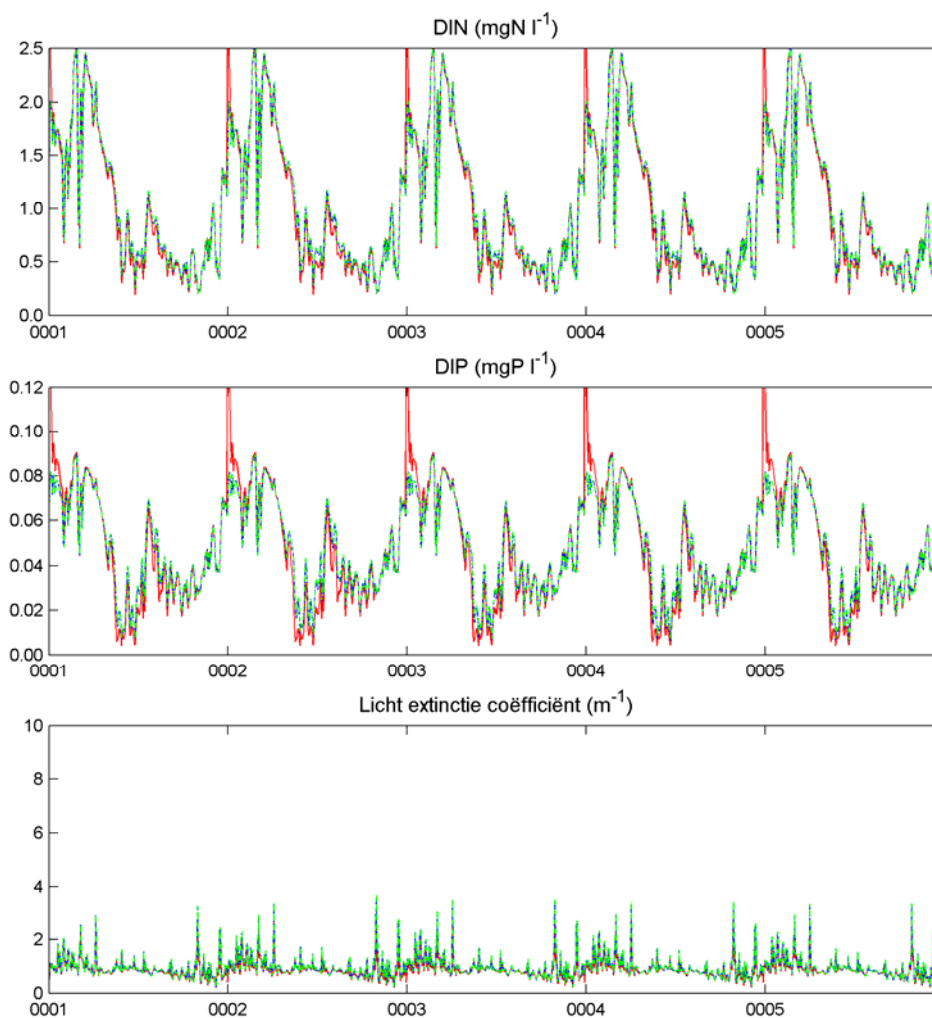
Noordwijk10

WL|Delft Hydraulics

SVASEK

z4253





Tijdseries voor de absolute waarden van enkele variabelen
voor Achtergrond (rood), RWS-Autonome (blauw),
en Scenario Kustwaarts (groen)

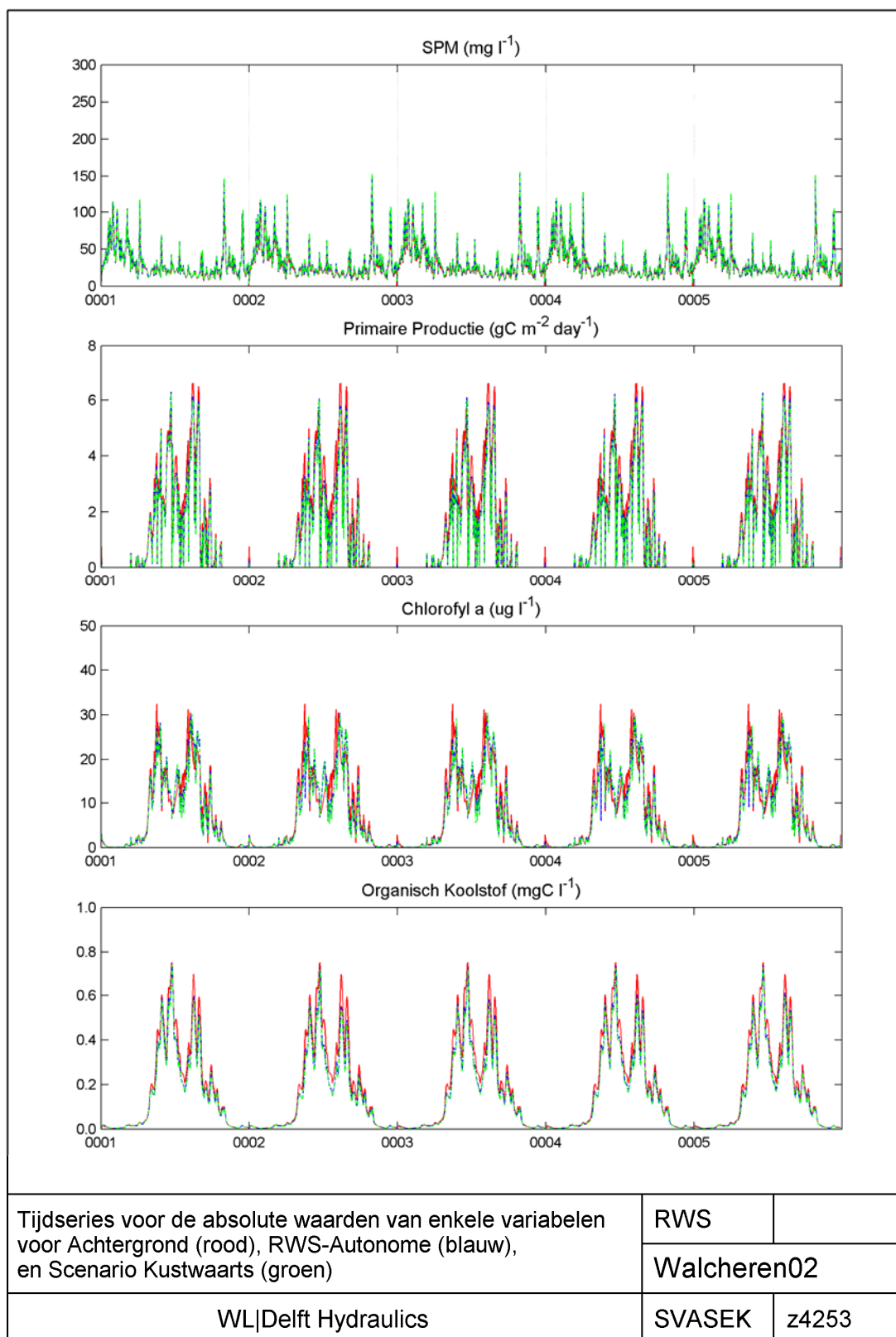
RWS

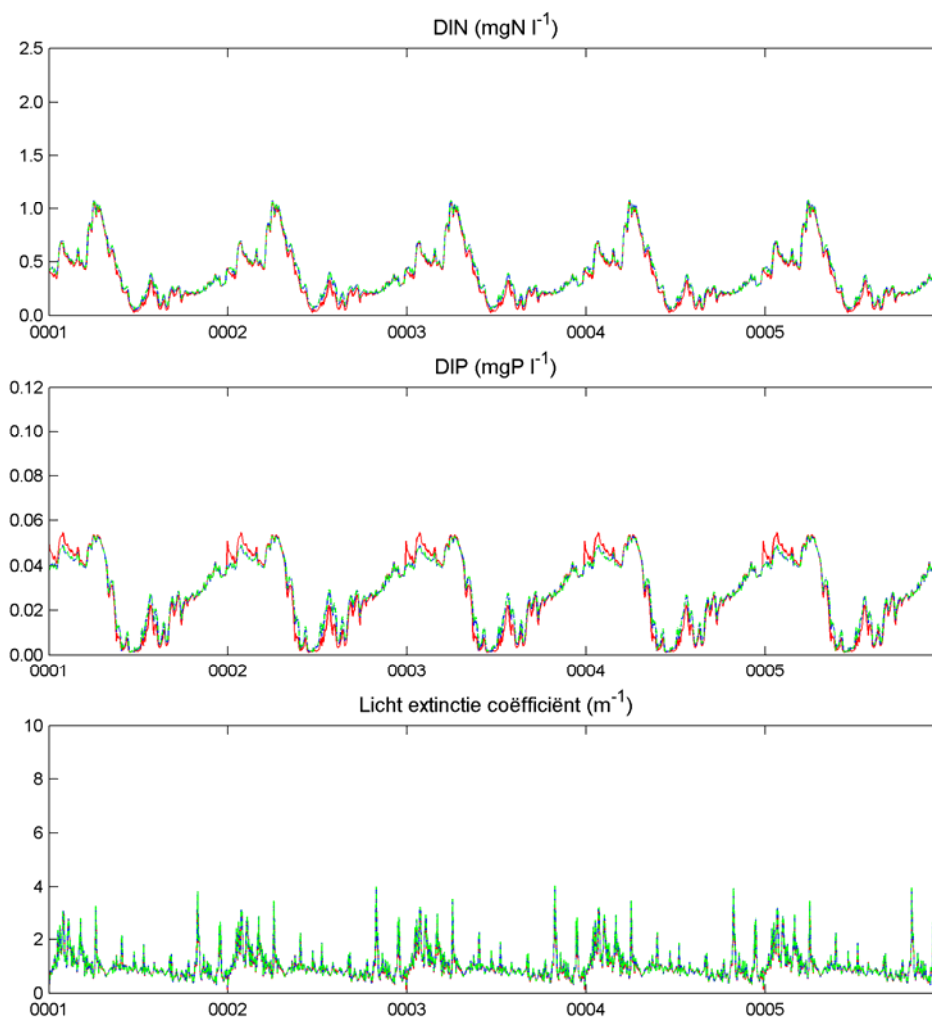
Goeree06

WL|Delft Hydraulics

SVASEK

z4253





Tijdseries voor de absolute waarden van enkele variabelen
voor Achtergrond (rood), RWS-Autonome (blauw),
en Scenario Kustwaarts (groen)

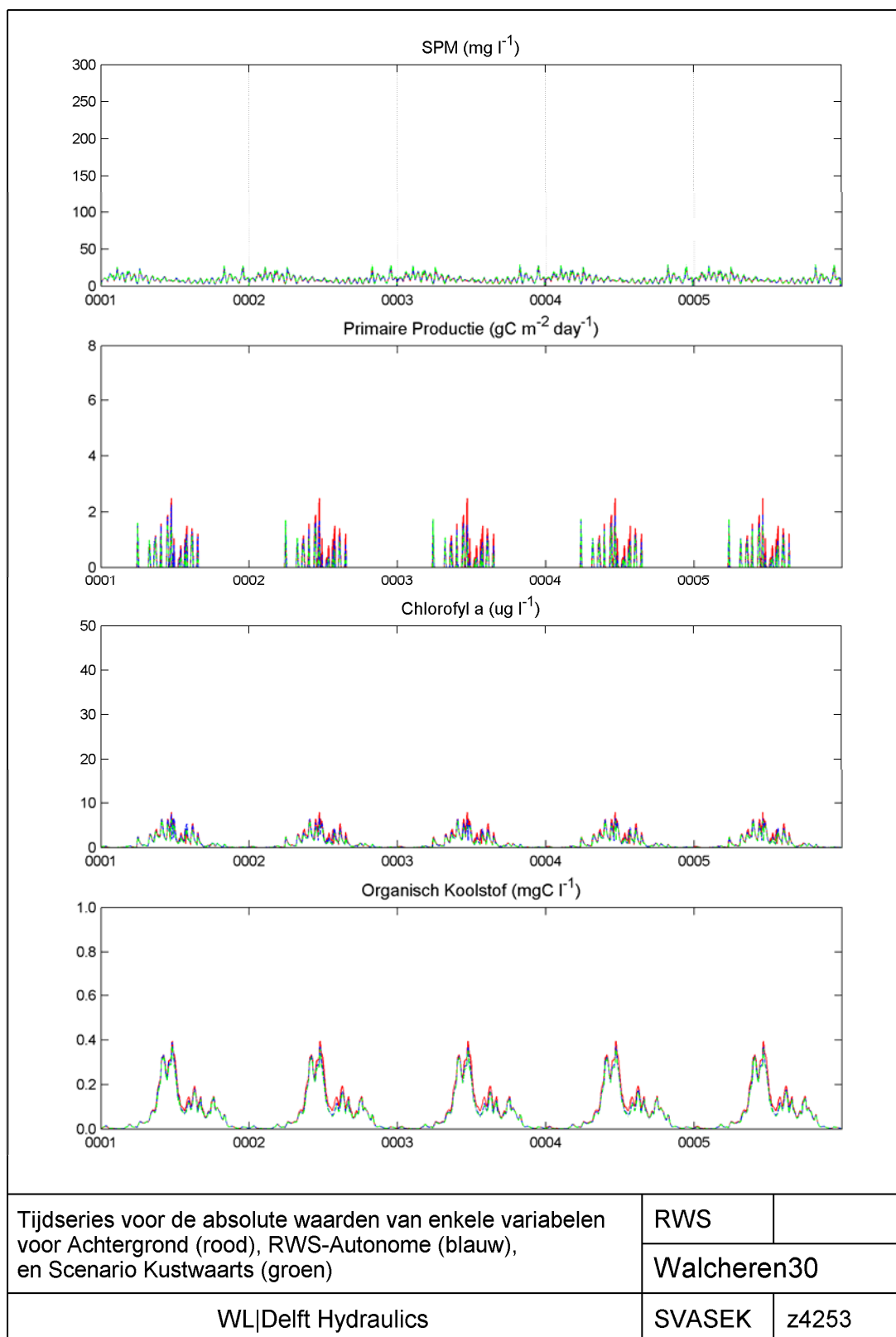
RWS

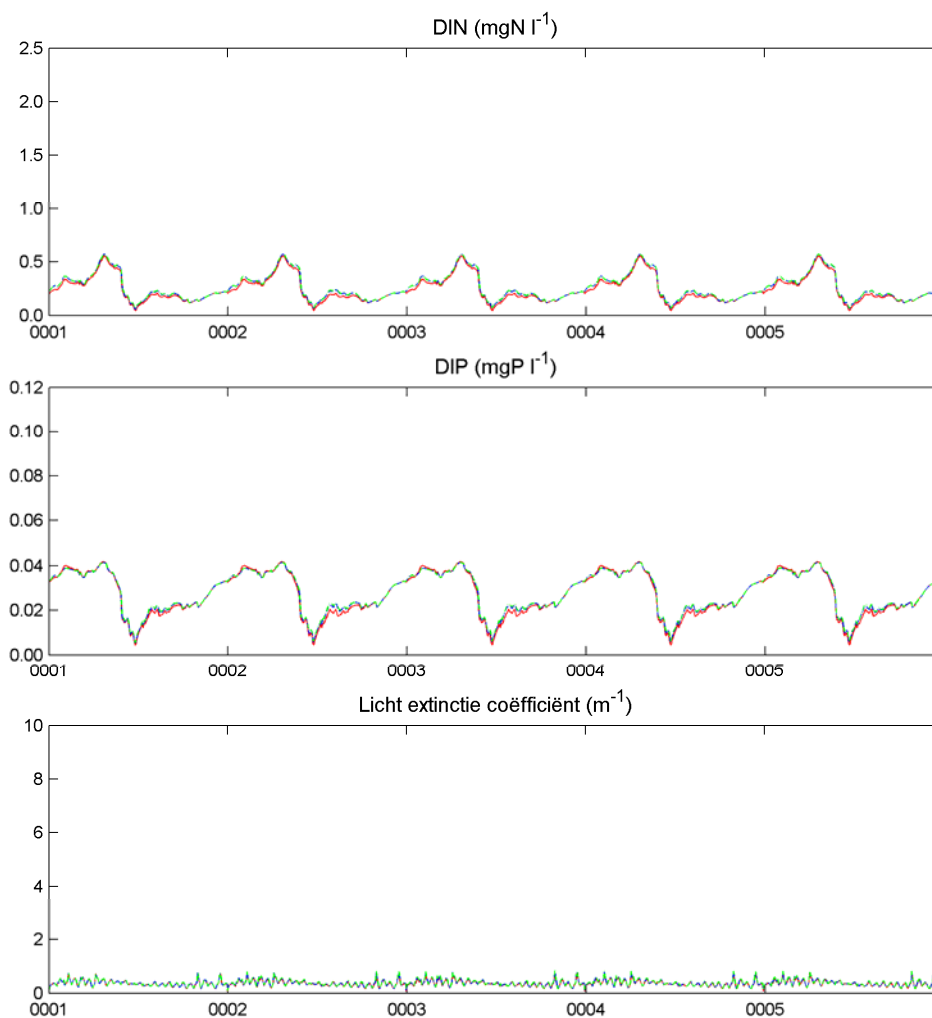
Walcheren02

WL|Delft Hydraulics

SVASEK

z4253





Tijdseries voor de absolute waarden van enkele variabelen
voor Achtergrond (rood), RWS-Autonome (blauw),
en Scenario Kustwaarts (groen)

RWS

Walcheren30

WL|Delft Hydraulics

SVASEK

z4253