



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Modelberekeningen slib en primaire productie

Achtergrondrapport MER winning suppletiezand Noordzee 2013 t/m 2017

Water. Wegen. Werken. Rijkswaterstaat.



Winning suppletiezand Noordzee

**Scenariostudies m.b.t. slibtransport, nutriënttransport en
primaire productie voor de periode 2013-2017**

Valesca Harezlak
Arnold van Rooijen
Yann Friocourt
Thijs van Kessel
Hans Los

1204963-000

Titel

Winning suppletiezand Noordzee

Opdrachtgever

RWS Noordzee

Project

1204963-000

Kenmerk

1204963-000-ZKS-0040

Pagina's

128

Trefwoorden

zandwinning, milieueffect rapportage, zuidelijke Noordzee, slib, primaire productie, modelstudie, kustsuppletie, Waddenzee

Samenvatting

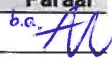
In dit rapport is het effect van zandwinning ten behoeve van reguliere kustsuppletie op slibconcentraties, doorzicht, nutriënttransport en primaire productie berekend middels numerieke modellen. In het rapport zijn met name de effecten in de Natura 2000-gebieden uitgebreid belicht.

De modelresultaten laten zien een duidelijk effect van de zandwinactiviteiten wat betreft slibconcentraties. In vergelijking met de autonome situatie (bestaande uit de natuurlijke achtergrondconcentraties, de reeds gegunde zandwinningen en de voorkeursvariant van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier) leveren de zandwinscenario's over het algemeen een effect op van maximaal 1 à 8% toename in jaargemiddelde slibconcentraties in de Noordzee en Waddenzee.

In vrijwel alle vakken wordt een effect van zandwinning op primaire productie en chlorofylconcentraties gevonden. Die effecten uiteten zich overwegend in lagere jaargemiddelde chlorofylconcentraties dan in het autonome scenario, maar er zijn enkele uitzonderingen zoals de Voordelta 2Z. De maximale jaargemiddelde afname in chlorofylconcentraties bereikt maximaal -5,5% in het piekjaar voor één geografisch gebied (Vlakte van de Raan z), in het algemeen tussen 0 à -4%. Ten gevolge van de zandwinning is in een aantal vakgebieden de piek van de voorjaarsbloei lager, maar breder. Er is nauwelijks tot geen sprake van vertraging van de voorjaarsbloei als gevolg van zandwinning.

Referenties

Zaaknummer 31054726/Van den Broek

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
2.0	jul. 2012	Valesca Harezlak		Willem Stolte		Tom Schilperoort	 b.o.  Nolte
		Arnold van Rooijen					
		Yann Friocourt					
		Thijs van Kessel					
		Hans Los					

Status

definitief

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Modelleringsstrategie	2
1.1.1	Het waterbewegingsmodel	3
1.1.2	Het slibmodel	3
1.1.3	Het nutriënttransport en primaire productie model GEM	4
1.1.4	Het DEB-model voor de ontwikkeling van <i>Ensis</i>	4
1.1.5	Het EcoWasp-model van de Waddenzee	4
1.2	Leeswijzer	5
2	Scenariodefinitie	7
2.1	Inleiding	7
2.2	Natuurlijke achtergrond	7
2.3	Definitie van de autonome ontwikkelingen	7
2.3.1	Maasvlakte-2	8
2.3.2	Westerschelde Container Terminal	8
2.3.3	Zandwinning ten behoeve van ophoogzand	8
2.3.4	Versterking zwakke schakels Noord-Holland	8
2.3.5	Andere activiteiten	8
2.4	Zandwinscenario's huidige studie	9
2.4.1	Scenario kustwaarts ondiep (900m)	9
2.4.2	Scenario kustwaarts ondiep (100m)	9
2.4.3	Scenario zeewaarts ondiep	9
2.4.4	Scenario diep	9
2.4.5	Scenario kustwaarts ondiep (900m) 12 Mm ³	10
2.4.6	Scenario zeewaarts ondiep 12 Mm ³	10
3	Scenariostudies slibtransport	13
3.1	Inleiding	13
3.2	Aannamen	13
3.2.1	Hydrodynamische forcering	13
3.2.2	Verdeling over het jaar	13
3.2.3	Slibpercentage	13
3.2.4	Verdeling over de waterkolom	14
3.2.5	Verdeling slibfracties	14
3.2.6	Natuurlijke achtergrond en autonome ontwikkelingen	14
3.2.7	Lineaire schaling slibconcentraties	14
3.3	Resultaten	15
3.3.1	Algemene effecten behorende bij scenario SR1	16
3.3.2	Algemene effecten voor de overige zandwinscenario's	17
3.3.3	Effecten in de Natura 2000-gebieden	17
3.3.4	Effecten in de overige gebieden	18
3.4	Discussie	21
3.4.1	Ontwikkelingen ten opzichte van eerdere MER-studies	21
3.4.2	Effectvoorspelling in de Waddenzee	22
3.4.3	Toekomstig onderzoek	22
3.5	Samenvatting en conclusies	23

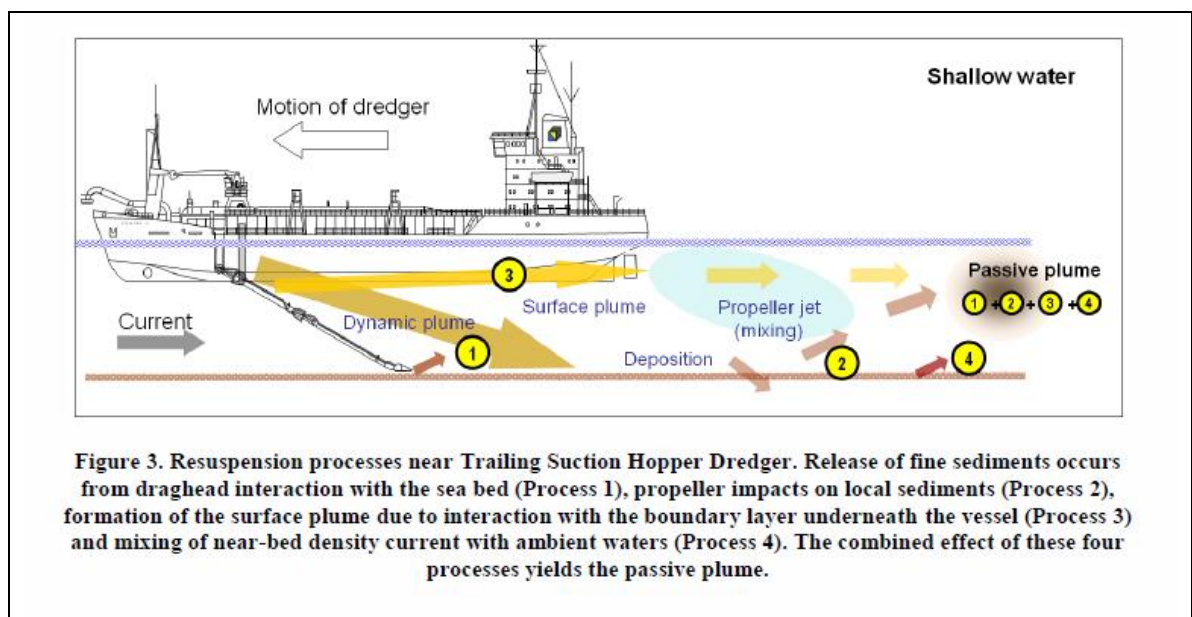
4	Scenario studies nutriënttransport en primaire productie	25
4.1	Inleiding	25
4.2	Concept van limiterende factoren	25
4.3	Aannames	28
4.4	Resultaten	33
4.4.1	Achtergrondsimulatie	33
4.4.2	Jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties autonoom scenario	34
4.4.3	Zandwinscenario's	36
4.4.4	Vakgebieden scenario's	43
4.4.5	Aanvullende scenario's	60
4.4.6	Samenvattende tabel en grafieken	60
4.5	Discussie	70
4.6	Samenvatting en conclusies	71
5	Discussie en conclusies	75
5.1	Inleiding	75
5.2	Algemene methodiek: een effectketen model	75
5.3	Koppeling van modules in keten	76
5.4	Beoordeling resultaten	78
5.5	Conclusies m.b.t. slib, doorzicht, en primaire productie	82
6	Referenties	85
 Bijlage(n)		
A	Definitie van de scenario's	A-1
B	Bijlage slibmodellering	B-1
B.1	Achtergrondconcentraties slib	B-1
B.2	Autonome situatie	B-2
B.3	Effecten zandwinscenario SR1 (kustwaarts 900m)	B-4
B.3.1	Absolute slibconcentraties	B-4
B.3.2	Effect van scenario ten opzichte van de autonome situatie	B-6
B.4	Vergelijking tussen de verschillende scenario's (figuren)	B-8
B.4.1	Relatieve slibconcentraties in de Natura 2000-gebieden	B-9
B.4.2	Relatieve verandering van de slibconcentratie in de overige gebieden	B-10
B.5	Vergelijking tussen de verschillende scenario's (tabellen)	B-13
B.5.1	Relatief effect ten opzichte van de natuurlijke achtergrond	B-13
B.5.2	Relatieve verandering in slibconcentraties ten opzichte van de autonome situatie	B-20
C	Bijlage GEM	C-1
C.1	Jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties zandwinscenario's tov autonoom	C-1
C.2	Tabel chlorofyl-a concentraties autonoom	C-7

1 Inleiding

In de Noordzee wordt jaarlijks zand gewonnen om de Nederlandse kust door middel van onderwater- en strandsuppleties te beschermen tegen overstromingen vanuit zee. Door het aanbrengen van suppleties wordt de bestaande kustlijn en het bestaande kustfundament (het zandige gebied tussen de NAP -20 m dieptelijn en de landwaartse grens van de duinen) behouden. Zonder de zandsuppleties zou de kust eroderen en de veiligheid ten aanzien van overstromingen in Nederland aanzienlijk verminderen. Om regulier kustonderhoud in de toekomst te kunnen uitvoeren wil Rijkswaterstaat ook de komende jaren zand winnen in de Noordzee. Voor het winnen van zand is een vergunning nodig, zoals beschreven in de Ontgrondingenwet. Om een vergunning te verkrijgen is het opstellen van een milieueffectrapportage (MER) vereist. Dit rapport is een onderdeel van de MER voor de winning van suppletiezand voor het kustonderhoud door Rijkswaterstaat.

In deze MER-en staat een beschrijving van het zandwinproces en de verschillende effecten daarvan. Het voorliggende effectstudierapport en de bijbehorende rapporten hebben betrekking op één van de effecten van het zandwinnen op de Noordzee, namelijk het vrijkomen van fijn sediment (slib). Hieronder wordt een beknopt overzicht gepresenteerd van de keten van effecten die samenhangt met het vrijkomen van slib op de Noordzee.

Het sediment in de Noordzeebodem bestaat uit verschillende sedimentfracties. De grovere fracties (zand) zullen grotendeels in het beun van het baggerschip bezinken. Slib in de overvloed (pijlen 1 en 3 in Figuur 1.1), verdeelt zich over drie compartimenten: een klein deel sedimenteert direct met het fijne zand, een ander klein deel wat direct een pluim vormt en weg drijft (5-15%), en het grootste gedeelte dat als een dichtheid gedreven stroom aanwezig is op de bodem en op een (onbekend) moment dan wel in de bodem diffundeert dan wel wordt opgewerveld door golven en getij (Figuur 1.1). Deze pluim kan 2-4 meter dik weg drijven tot wel 4,5 km met de getijstrooming mee (Hitchcock & Bell, 2004). Hierdoor is de directe vertroebeling als gevolg van overvloed verwaarloosbaar.



Figuur 1.1 Het mechanisme van overstort (uit Aarninkhof e.a. 2010, Spearman e.a. 2011)

Tijdens stormen wordt het op de bodem gesedimenteerde slib bovendien opnieuw opgewoeld, en wordt het wederom getransporteerd. Het totale invloedsgebied van het fijne sediment dat bij het baggeren vrijkomt op de Noordzee beslaat, over langere perioden van jaren, vele tientallen tot honderden kilometers (zie eerdere MER-studies, b.v. Van Prooijen et al., 2006, 2007).

De extra hoeveelheid slib in de waterkolom zorgt voor een verhoging van de troebelheid. In een groot deel van het Nederlandse kustgebied is lichtbeschikbaarheid de beperkende factor voor primaire productie in tenminste een deel van het jaar, onder andere in ecologisch belangrijke gebieden zoals de Voordelta, Noordzeekustzone. Een vermindering van de beschikbaarheid van licht, door de verhoogde troebelheid als gevolg van zandwinning, kan daardoor direct invloed hebben op de primaire productie. Invloed op de primaire productie kan mogelijk gevolgen hebben voor het voedselaanbod voor hogere organismen (benthos en zoöplankton en de daarvan afhankelijke schelpdieren, vissen, zeezoogdieren en vogels). Inzicht in de effecten van de zandwinning op troebelheid, primaire productie, en schelpdieren is belangrijk voor het inzichtelijk maken van de effecten van zandwinning.

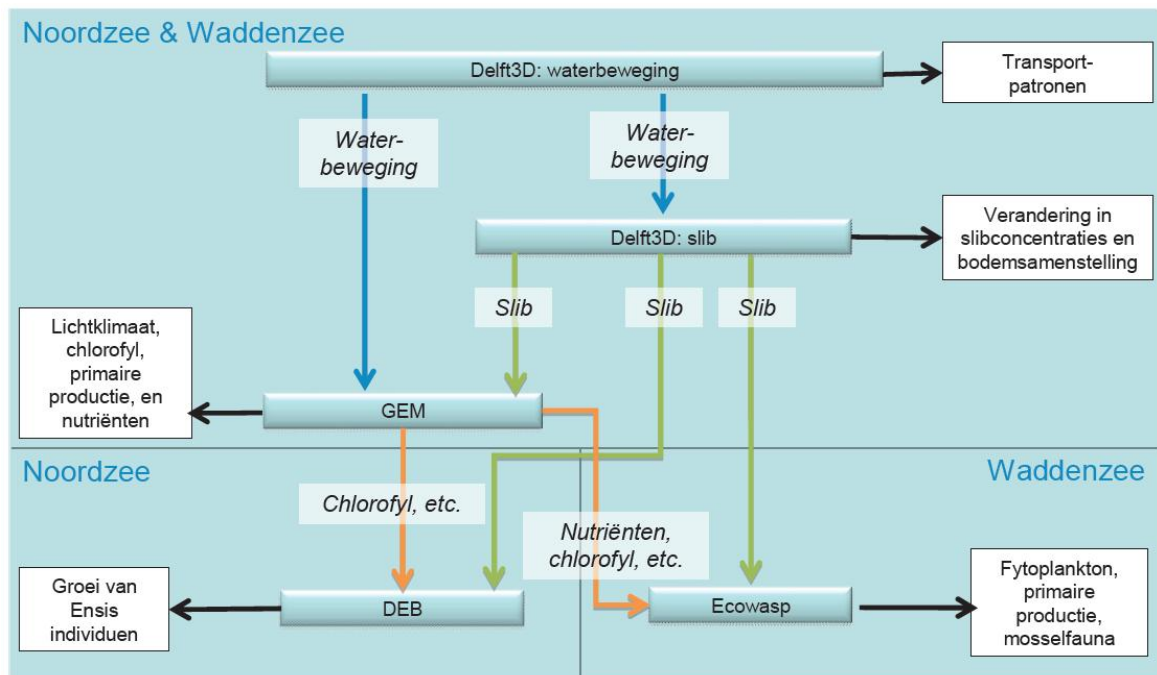
Het doel van deze studie is om te bepalen wat het effect van de voorgenomen zandwinnings is op het troebelheid, de primaire productie, en schelpdieren in de gehele Nederlandse kustzone (inclusief de Waddenzee). Om dit doel te bereiken worden gedetailleerde numerieke modelberekeningen uitgevoerd, die dienen als onderbouwing van de MER. De numerieke modellen zijn opgezet om het effect van zandwinning op het ecosysteem van de Noordzee en de Waddenzee te kwantificeren. Dit rapport beschrijft de opzet en validatie van de modellen voor de waterbeweging, slibverspreiding, en primaire productie die 'voor de te verwachten effecten van de zandwin-initiatieven gebruikt worden.

Of de prestaties van een model als slecht, voldoende of goed beoordeeld kunnen worden, hangt af van de vraag die met behulp van het model beantwoordt moet worden. Het doel van onderhavige studie is om middels modelberekeningen inzicht te verkrijgen in de effecten van zandwinning op het ecosysteem van de Noordzee en de Waddenzee ten behoeve van de MER kustsuppleties (RWS) en de MER herstel van de zwakke schakels Noord Holland (HHNK) (Harezlak et al, 2012). Dit houdt in dat het model dat gebruikt gaat worden, voldoende toegespitst moet zijn op het beantwoorden van deze vraag.

1.1 Modelleringsstrategie

De fysische en biologische processen die onderzocht en gekwantificeerd moeten worden, zijn complex. Op dit moment bestaat er geen numeriek model dat in staat is om deze processen volledig en aaneengesloten te reproduceren. In plaats daarvan wordt een combinatie van numerieke modellen gebruikt, waarbij de uitvoer van een model als invoer van een volgend model dient. Voor de huidige studie is een keten van vijf numerieke modellen opgezet. Een schematisatie van de relaties tussen de verschillende modellen is in Figuur 1.2 gegeven. Sommige modellen zijn gebruikt om de effecten op de Noordzee en de Waddenzee te kwantificeren, andere worden uitsluitend voor één gebied (of Noordzee of Waddenzee) gebruikt.

In de gekozen aanpak wordt eerst een waterbewegingmodel gebruikt om de transportvelden te berekenen. De transportvelden worden daarna gebruikt om slibtransporten te bepalen, waarna nutriëntconcentraties en primaire productie worden berekend met behulp van de transport- en slibvelden. De uitkomsten van de laatste twee modellen worden uiteindelijk gebruikt om het effect van de zandwinning op schelpdieren te berekenen.



Figuur 1.2 Relaties en uitvoer van de numerieke modellen gebruikt om het effect van zandwinning op de ecologie van de zuidelijke Noordzee en Waddenzee te kwantificeren.

1.1.1 Het waterbewegingsmodel

Het waterbewegingsmodel wordt gebruikt om de transportpatronen te berekenen die het transport van slib en nutriënten bepalen. Het model is gebaseerd op het Delft3D-FLOW software systeem en bevat de zuidelijke Noordzee (ZuNo) en Waddenzee. Delft3D-FLOW is een drie-dimensionaal hydrodynamisch computermodeelpakket dat transportvelden in tijd en ruimte als gevolg van getij, wind, en rivierlozingen berekent. Het model gebruikt de zogenaamde “domein decompositie” (DD) techniek, waardoor roosterdomeinen van verschillende horizontale resoluties tegelijk gebruikt kunnen worden, wat een gunstige invloed heeft op de rekentijd. De opzet die in de huidige studie is gebruikt wordt Zuno-DD genoemd.

Voorafgaand aan de scenarioberekeningen is het hydrodynamische model gekalibreerd om de geobserveerde transportpatronen langs de Nederlandse kust en in de Waddenzee zo goed mogelijk weer te geven. In het voorliggende rapport wordt deze kalibratie en verificatie beschreven.

1.1.2 Het slibmodel

De slibconcentraties worden berekend met behulp van het Delft3D-WAQ software systeem. Dit model maakt gebruik van de transportvelden berekend door het waterbewegingsmodel (het hierboven omschreven Delft3D-FLOW), om het transport van slibdeeltjes te berekenen. Slibdeeltjes komen vrij in de beoogde wingebieden, en worden getransporteerd door stromingen. Onder invloed van de zwaartekracht kunnen de deeltjes op de bodem bezinken, maar ze kunnen ook als gevolg van de combinatie van stromingen, golven, en wind opwervelen, waarna ze onder invloed van stromingen verder getransporteerd kunnen worden. De details van het model worden in dit rapport verder gespecificeerd.

Het model wordt gebruikt om de slibconcentraties in de waterkolom en de zeebodem in de zuidelijke Noordzee en de Waddenzee te berekenen. Voorafgaand aan de

scenarioberekeningen is het slibmodel gekalibreerd om de gemeten slibconcentraties en bodemsamenstelling langs de Nederlandse kust en in de Waddenzee zo goed mogelijk weer te geven. In het voorliggende rapport wordt deze kalibratie en verificatie beschreven.

1.1.3 Het nutriënttransport en primaire productie model GEM

Het GEM (Generisch Ecologisch Model) Noordzee model is ontwikkeld op basis van het generieke software systeem Delft3D-ECO. Dit model beschrijft het stoftransport, de nutriënten- en zuurstofhuishouding, de primaire productie, chlorofyl, samenstelling van het fytoplankton en het onderwater lichtklimaat.

Het model maakt gebruik van transportvelden uit het hydrodynamische model (het hierboven omschreven Delft3D-FLOW) en velden van slibconcentraties in de waterkolom en in de bodem (uit het hierboven omschreven slibmodel) om de verhouding en concentraties van nutriënten en licht te berekenen. Die hoeveelheden worden dan gebruikt om de primaire productie, chlorofyl, detritus en samenstelling van het fytoplankton te berekenen.

Het model wordt gebruikt om de primaire productie in de zuidelijke Noordzee en de Waddenzee te berekenen. Voorafgaand aan de scenarioberekeningen is het GEM model gekalibreerd om de gemeten hoeveelheden (nutriënten, chlorofyl, detritus, etc.) langs de Nederlandse kust en Waddenzee zo goed mogelijk weer te geven (Los et al., 2008; Los en Blaas, 2010).

1.1.4 Het DEB-model voor de ontwikkeling van *Ensis*

Het effect van zandwinningen op de groei van schelpdieren in de Noordzee wordt bepaald met een "Dynamic Energy Budget"-model (Kooijman 2010, hierna te benoemen als DEB-model) voor *Ensis* (Wijsman e.a. 2011). Voor deze toepassing is het effect van de zandwinning op de groei van *Ensis directus* (zwaardschede) berekend, met als reden dat *Ensis directus* een groot deel van de totale biomassa aan schelpdieren in de zuidelijke Noordzee omvat. Op basis van gehalten van slib en particulier organisch materiaal (voornamelijk algen) afkomstig van het slibmodel en het GEM-model op zes gedefinieerd locaties in de kustzone, berekent dit model de groei van *Ensis* individuen. Met de huidige stand van zaken van DEB-modellen voor *Ensis* is het namelijk nog niet mogelijk de dynamica van populaties weer te geven. Zie Wijsman e.a. (2011) voor de opzet calibratie en validatie van dit model. In het voorliggende rapport komt het DEB-model verder niet ter sprake, de verificatie en scenarioberekeningen worden gerapporteerd in Schellekens (2012).

1.1.5 Het EcoWasp-model van de Waddenzee

Voor de ecologische toestand van de Waddenzee is het ecosysteemmodel EcoWasp toegepast. Het model gebruikt de verandering van de slibconcentraties van het slibmodel (voor de toestand in de Waddenzee) en de verandering van de nutriënt- en algenconcentraties van het GEM-model (voor de toestand in de Noordzeekustzone als randvoorwaarden) om (onder andere) de biomassa van mosselen in de Waddenzee te berekenen. Het model berekent onder meer wat de biomassa van schelpdieren in het systeem kan zijn, en hoe groot de activiteit er van kan zijn (zoals filtratiesnelheden, groeisnelheden, reproductie). Met de uitkomsten kan tevens worden berekend hoeveel voedsel er geproduceerd wordt voor andere organismen; dit kunnen vogels zijn maar ook onder meer garnalen, zeesterren of krabben. De validatie en toepassing van dit EcoWasp-model worden gegeven in Brinkman (2012).

De toevoer van nutriënten en organisch materiaal vanuit het IJsselmeer, de uitwisseling tussen Waddenzee en Noordzee, de watertemperatuur en de zonnestraling zijn sturende

grootheden voor de modelberekeningen. In het model wordt een “mossel” als ‘standaard’-schelpdier beschouwd.

In het voorliggende rapport komt het EcoWasp-model verder niet ter sprake, de verificatie en scenarioberekeningen worden gerapporteerd in Brinkman (2012).

1.2 Leeswijzer

In dit rapport worden de resultaten van de modellen voor slib en voor nutriënttransport en primaire productie (GEM) gepresenteerd voor de zandwinning door Rijkswaterstaat (simulaties met de zandwinningen van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier worden in Harezlak et al., 2012 behandeld). De resultaten van de hydrodynamische simulaties zijn te vinden in Keetels et al. (2012, validatierapportage), en de resultaten van de DEB- en EcoWasp-simulaties zijn te vinden in respectievelijk Schellekens (2012) en Brinkman (2012).

De rapportage is als volgt opgebouwd. Hoofdstuk 2 geeft de definities van de verschillende zandwinvarianten. De effecten van de verschillende varianten op slibconcentraties en doorzicht, berekend met behulp van het numerieke slibtransportmodel, worden in Hoofdstuk 3 bediscussieerd. In Hoofdstuk 4 worden de resultaten van de scenariostudies betreffende het nutriënttransport en de primaire productie gepresenteerd en geanalyseerd. Uiteindelijk wordt de rapportage afgesloten met een samenvatting en de conclusies in Hoofdstuk 5.

2 Scenariodefinitie

2.1 Inleiding

Voor de winning van suppletiezand zijn verschillende zandwinscenario's mogelijk. In deze paragraaf worden de verschillende varianten kort beschreven. Op basis van de varianten zijn een aantal scenario's voor de slibberekeningen en voor de primaire productie berekeningen gedefinieerd.

Alle numerieke berekeningen (zowel voor slibtransport als voor nutriënttransport en primaire productie) worden uitgevoerd voor de periode 2008-2022:

- de eerste vijf jaar (2008-2012) dienen als inspeelperiode om de slib- en nutriëntvelden en de bodemsamenstelling in verhouding te krijgen;
- de jaren 2013 tot en met 2017 worden gebruikt om het directe effect van de zandwinning te kwantificeren;
- de resterende jaren (2018-2022) worden gebruikt om de nasleep van de activiteiten te kwantificeren.

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). Zandwinning door overige partijen zijn zowel in de inspeelperiode als in de initiatiefperiode van belang, vanwege het mogelijke cumulatieve effect van het zandwin-initiatief en de autonome ontwikkeling.

2.2 Natuurlijke achtergrond

De natuurlijke slibconcentraties zijn het gevolg van rivierafvoeren en de hydrodynamische forcering in de Noordzee en Waddenzee. Voor de huidige studie is uitgegaan van het jaar 2007, en is een natuurlijk achtergrond slibveld (scenario S0) berekend door het model (uitgaande van een ingespeelde situatie voor gegeven rivierafvoeren en hydrodynamica, zie Keetels et al. (2012).

2.3 Definitie van de autonome ontwikkelingen

De autonome ontwikkeling (of nulalternatief) is het alternatief waarbij geen zandwinning voor de kustsuppletie plaatsvindt, maar waarbij alle andere (al vergunde) initiatieven wel plaatsvinden. Er wordt dan geen zand gewonnen waardoor het doel van de zandwinning (regulier kustonderhoud) niet wordt gerealiseerd. Dit betreft geen realistisch alternatief, omdat zandwinning op land geen realistische oplossing is. Het nulalternatief is hier uitsluitend bedoeld als vergelijkingsbasis voor de andere alternatieven. De huidige (natuurlijke) situatie plus de autonome ontwikkeling wordt beschouwd als referentie voor de effecten van de zandwinalternatieven. Daarnaast zullen ook eerdere zandwinningen (2008-2013) een effect hebben op de slibconcentraties in de Noordzee en Waddenzee in latere jaren (zie eerdere MER-studies, b.v. Van Prooijen et al., 2007), en deze zijn daarom ook meegenomen.

De komende jaren zal zand worden gewonnen ten behoeve van de laatste fase van de Tweede Maasvlakte, de Westerschelde Containerterminal (20 Mm³), de commerciële zandwinners (circa 25 Mm³ ophoogzand/jaar), en ter versterking van de zwakke schakels in Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Tijdens de winning van dit zand zal slib vrijkomen dat zich netto in noordoostelijke richting langs de kust zal verplaatsen. De loswallen kunnen nog niet expliciet gemodelleerd worden. In plaats hiervan zijn ze wel in de combinatie achtergrond en autonoom meegenomen door de calibratie op metingen. In de volgende

secties zullen de initiatieven een voor een worden behandeld. In Tabel 2.1 is vervolgens een overzicht van alle geplande autonome zandwinactiviteiten gegeven.

2.3.1 Maasvlakte-2

Voor de aanleg van de Tweede Maasvlakte wordt uitgegaan van de volgende gewonnen hoeveelheden over de periode 2008-2018:

- Voor de jaren 2008 t/m 2010 worden de hoeveelheden gebruikt die in werkelijkheid zijn gewonnen (2008: 0 Mm³; 2009: 77,8 Mm³; 2010: 91,4 Mm³).
- Voor de jaren 2011 t/m 2012 worden de hoeveelheden die door Havenbedrijf Rotterdam en Rijkswaterstaat zijn gepland (2011: 18,9 Mm³; 2012: 30 Mm³) gebruikt.
- Voor de jaren 2013 t/m 2018 worden jaarlijks gelijke hoeveelheden gebruikt die uiteindelijk het vergunde totaal van 275 Mm³ bereiken (9,5 Mm³ per jaar).

De gewonnen hoeveelheden zijn gelijkmatig verdeeld over het jaar en over alle vergunde wingebieden op basis van hun oppervlakte.

Gezien de omvang van de MV-2 levert de constructie en aanwezigheid ervan twee relevante effecten op. Naast de toename in slibconcentraties door zandwinning, is er een geometrisch effect, aangezien de MV-2 stroming en golven beïnvloed. Voor een uitgebreide analyse van beide effecten wordt verwezen naar Van Ledden (2006).

2.3.2 Westerschelde Container Terminal

Voor de winning van WCT wordt een totale hoeveelheid van 20 Mm³ gewonnen over de periode 2013-2015, met de volgende indeling:

- In 2013: 3 Mm³ (gelijkmatig verdeeld over het zandwingebied en het jaar).
- In 2014: 11 Mm³ (gelijkmatig verdeeld over het zandwingebied en het jaar).
- In 2015: 6 Mm³ (gelijkmatig verdeeld over het zandwingebied en het jaar).

2.3.3 Zandwinning ten behoeve van ophoogzand

Voor de zandwinning ten behoeve van ophoogzand worden voor de jaren 2008 t/m 2010 de in werkelijkheid gewonnen hoeveelheden (2008: 11,9 Mm³; 2009: 11,1 Mm³; 2010: 9,1 Mm³) gebruikt. Voor 2011 wordt de geplande hoeveelheid (9,0 Mm³) gebruikt. Na 2011 wordt uitgegaan van een continue winning van 25 Mm³ per jaar voor de jaren 2012 t/m 2017, wat in overeenstemming is met de vergunde hoeveelheden.

Vanaf 2011 zijn de gewonnen hoeveelheden gelijkmatig verdeeld over het jaar en over alle vergunde wingebieden op basis van hun oppervlakte.

2.3.4 Versterking zwakke schakels Noord-Holland

Voor de zandwinning ten behoeven van de versterking van de zwakke schakels Noord-Holland wordt uitgegaan van een winning van 20 Mm³ gelijkmatig verdeeld over 2013 en 2014 volgens het diepe landwaarts voornemen van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.

2.3.5 Andere activiteiten

Tussen 2008 en 2011 zijn ook andere initiatieven (reguliere suppleties RWS, Zandmotor, versterking zwakke schakels Zuid-Holland) ook meegenomen met de in werkelijkheid gewonnen hoeveelheden.

Gezien de relatief geringe omvang en het tijdelijke karakter van de Zandmotor, is aangenomen dat deze geen significante invloed heeft op de stroming en golven en uiteindelijk slibtransport (in tegenstelling tot MV-2). Alleen de toename in slibconcentraties als gevolg van de zandwinning ten behoeve van de Zandmotor is daarom meegenomen.

Tabel 2.1 Overzicht van geplande autonome zandwinactiviteiten voor de periode 2008-2018 (Mm³)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
MV-2	0	77,8	91,4	18,9	30	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
LaMER	11,9	11,1	9,1	9	25	25	25	25	25	25	0
W.C.T.	0	0	0	0	0	3	11	6	0	0	0
HHNK	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0

2.4 Zandwinscenario's huidige studie

In de volgende secties worden de zandwinscenario's gedefinieerd in de huidige studie behandeld. In Tabel 2.2 is een overzicht gegeven van de scenario's.

2.4.1 Scenario kustwaarts ondiep (900m)

In dit scenario (scenario SR1) wordt het zand zo dicht mogelijk bij de 20m-dieptelijn gewonnen, maar wel met een vrijwaringszone van 900m tot eventueel nabij gelegen Natura 2000-gebieden. De zeewaartse grens van de Natura 2000-gebieden ligt over het algemeen op de 20m-dieptelijn. Verdeeld over de verschillende winlocaties wordt er totaal per jaar respectievelijk 10,15 Mm³ (2013), 14,49 Mm³ (2014), 20,91 Mm³ (2015), 22,24 Mm³ (2016) en 18,65 Mm³ (2017) zand gewonnen. Een gedetailleerd overzicht van de winningen voor dit scenario is gegeven in Appendix A.

2.4.2 Scenario kustwaarts ondiep (100m)

Dit scenario (scenario SR2) lijkt veel op het kustwaarts 900m-scenario. Het verschil tussen beide scenario's is de vrijwaringszone tussen wingebied en Natura 2000-gebied, welke hier 100m in plaats van 900m is. Dit houdt in dat op een aantal locaties, in de nabijheid van de Natura 2000-gebieden, het zand dicht bij de kust wordt gewonnen. Het voordeel hiervan is dat de schepen minder ver hoeven te varen, wat kostenreducerend en minder milieubelastend is. De te winnen hoeveelheden zijn gelijk aan die voor het kustwaarts 900m-scenario. Een gedetailleerd overzicht van de winningen voor het kustwaarts 100m-scenario is gegeven in Appendix A.

2.4.3 Scenario zeewaarts ondiep

In dit scenario (scenario SR3) liggen de wingebieden zo dicht mogelijk tegen de 12-mijlsgrens aan. Doordat het slib relatief ver uit de kust vrijkomt, is het te verwachten dat de impact door het vrijgekomen slib op de kustgebieden (waaronder de Natura 2000-gebieden) kleiner zal zijn. Echter, daar staat tegenover dat de schepen verder moeten varen, wat een hogere milieubelasting en hogere kosten met zich meebrengt. Bovendien is de invloed op het meer zeewaartse gebied naar verwachting groter. De te winnen hoeveelheden zijn gelijk aan die voor de eerder genoemde scenario's. Een gedetailleerd overzicht van de winningen voor het zeewaarts scenario is gegeven in Appendix A.

2.4.4 Scenario diep

Dit scenario (scenario SR4) lijkt eveneens enigszins op het kustwaarts 900m-scenario. De wingebieden zijn echter kleiner, en bij gelijke zandwinvolumes betekent dit dat meer zand per oppervlakte zal moeten worden gewonnen. Er zal dus dieper worden gegraven (dieper dan 2 m), en volgens de Nederlandse wetgeving mag dit, in verband met de stabiliteit van het

kustprofiel, alleen gebeuren op een afstand van 2 km van de 20 m-dieptelijn. De te winnen hoeveelheden zijn gelijk aan die voor de eerder genoemde scenario's. In het huidige model zijn de bodemhoogte en de bodemslibpercentages constant en zal het effect van een diepe ten opzichte van een ondiepe winning naar verwachting vooral lokaal afwijken. Op een grotere ruimteschaal zullen de effecten naar verwachting veel minder afwijken van het scenario met ondiepe winning. Een gedetailleerd overzicht van de winningen voor het zeewaarts scenario is gegeven in Appendix A.

2.4.5 Scenario kustwaarts ondiep (900m) 12 Mm³

In de hiervoor gepresenteerd scenario's is uitgegaan van een toename van de benodigde zandhoeveelheden vanaf 2015 van 12 Mm³ naar 20 Mm³. Echter, vanwege de huidige economische situatie bestaat er een kans dat die extra winhoeveelheid (8 Mm³) uiteindelijk niet gewonnen wordt. Daarom worden ook twee alternatieven onderzocht waarbij de totale jaarlijkse zandwinhoeveelheid 12 Mm³ bedraagt. De alternatieven betreffen de scenario's 'kustwaarts 900m' en 'zeewaarts'.

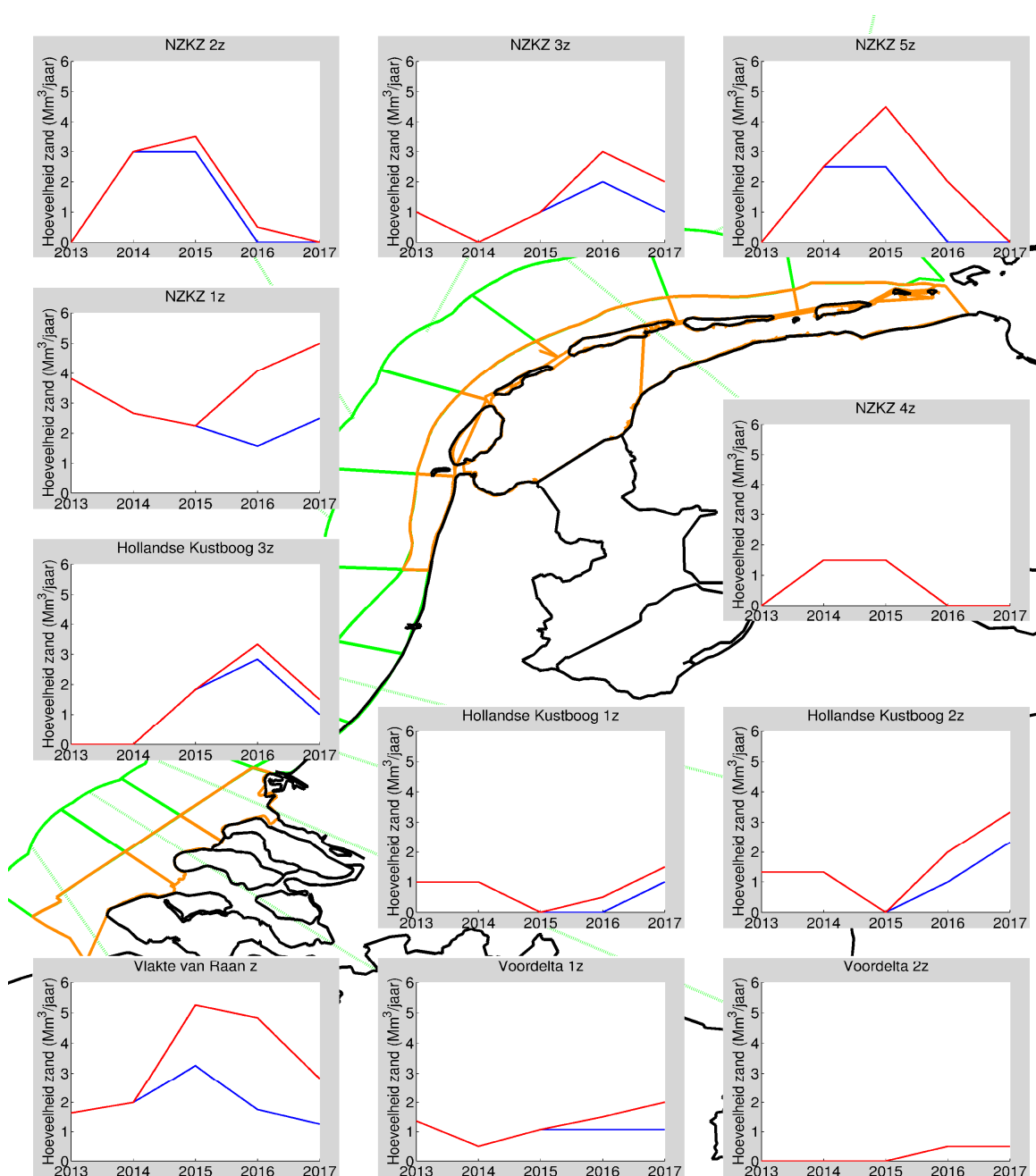
Dit scenario (scenario SR1_12Mm3) is op de hoeveelheden zand na precies gelijk aan het scenario kustwaarts ondiep. Verdeeld over de verschillende winlocaties wordt er totaal per jaar respectievelijk 10,15 Mm³ (2013), 14,49 Mm³ (2014), 16,41 Mm³ (2015), 10,74 Mm³ (2016) en 10,65 Mm³ (2017) zand gewonnen.

2.4.6 Scenario zeewaarts ondiep 12 Mm³

Dit scenario (scenario SR3_12Mm3) is op de hoeveelheden zand na precies gelijk aan het scenario zeewaarts ondiep. Verdeeld over de verschillende winlocaties wordt er totaal per jaar respectievelijk 10,15 Mm³ (2013), 14,49 Mm³ (2014), 16,41 Mm³ (2015), 10,74 Mm³ (2016) en 10,65 Mm³ (2017) zand gewonnen.

Tabel 2.2 Naamgeving, beschrijving en hoeveelheden gewonnen zand van de zandwinscenario's

Naam scenario	Beschrijving	2013	2014	2015	2016	2017
Scenario SR1	kustwaarts ondiep (900m)	10,15	14,49	20,91	22,24	18,65
Scenario SR2	kustwaarts ondiep (100m)	10,15	14,49	20,91	22,24	18,65
Scenario SR3	zeewaarts ondiep	10,15	14,49	20,91	22,24	18,65
Scenario SR4	diepe zandwinning	10,15	14,49	20,91	22,24	18,65
Scenario SR1_12Mm3	kustwaarts ondiep (900m) 12 Mm ³	10,15	14,49	16,41	10,74	10,65
Scenario SR3_12Mm3	zeewaarts ondiep 12 Mm ³	10,15	14,49	16,41	10,74	10,65



Figuur 2.1 Verloop van de hoeveelheden gewonnen zand voor scenario's SR1 t/m SR4 (rood) en voor scenario's SR1_12M en SR3_12M (blauw) per ecozone (zie ook Figuur 3.1).

3 Scenariostudies slibtransport

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de gesimuleerde effecten van de zandwinscenario's, gedefinieerd door Rijkswaterstaat, op de slibconcentraties in de Noordzee en Waddenzee. Voor een uitgebreide beschrijving van de modelopzet en modelkalibratie wordt verwezen naar Keetels et al. (2012). In dit hoofdstuk zullen eerst een aantal aannamen in de slibsimulaties worden besproken. Vervolgens worden de resultaten gepresenteerd. Daarna zullen enkele belangrijke aspecten betreffende de slibmodelleringen worden bediscussieerd, en ten slotte is een samenvatting met enkele conclusies gegeven.

3.2 Aannamen

Bij het uitvoeren van de modelsimulaties zijn een aantal aannamen gedaan. Deze zullen hier worden behandeld.

3.2.1 Hydrodynamische forcering

Een belangrijk aspect in de slibsimulaties is de hydrodynamische forcering. Een jaar met relatief veel stormen (hogere golven, sterkere stromingen) levert andere resultaten op dan een relatief kalm jaar. De (meteorologische) hydrodynamische forcering voor de periode na 2013 is uiteraard nog niet bekend, en om een zuivere vergelijking te maken tussen de verschillende winscenario's wordt daarom één hydrodynamisch karakteristiek jaar gebruikt in de simulaties. De condities van dat jaar worden gebruikt voor de gehele gemodelleerde periode van 2008 tot 2022. Als referentiejaar hiervoor is het jaar 2007 genomen, omdat dit jaar wat betreft weersomstandigheden en rivierafvoeren als een, voor de Noordzee, gemiddeld jaar wordt beschouwd (zie Keetels et al. 2012).

3.2.2 Verdeling over het jaar

In de praktijk is zandwinning geen continu proces, maar vinden er één of meerdere perioden per jaar plaats waarop zand wordt gewonnen. Voor de huidige slibsimulaties zijn echter alleen de hoeveelheden te winnen zand per jaar bekend. In het model vindt de zandwinning daarom continu over het jaar plaats. Dit heeft tot gevolg dat er gedurende het jaar een constante aanvoer van slib is. Deze aanname kan leiden tot enige afwijking in slibconcentraties in het gebied direct rond de zandwinlocatie. Echter, op een grotere tijd- (bijvoorbeeld meerdere jaren) en ruimteschaal speelt dit naar verwachting een geringe rol (wat ook blijkt uit de modelresultaten voor de slibberekeningen van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, zie Harezlak et al. 2012). Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat dit alleen geldt wanneer alleen de slibconcentraties worden beschouwd. Voor de primaire productie en chlorofylconcentraties heeft de verdeling over het jaar wel degelijk effect, wat met name is gerelateerd aan de voorjaarsbloei. Dit blijkt tevens uit de GEM-berekeningen in Harezlak et al., 2012.

3.2.3 Slibpercentage

Er wordt aangenomen dat het slibpercentage in de modelsimulaties in de bodem in tijd en ruimte constant is, met een waarde van 2,5 massaprocent in het gebied voor de Hollandse Kust (tussen Den Helder en Hoek van Holland), en een waarde van 3 procent in de Waddenzee (ten noorden van Den Helder) en in het Deltagebied (ten zuiden van Hoek van Holland). Dit is conform de eerdere MER-studie (Van Prooijen et al., 2007) en is gebaseerd op metingen door Van Heteren et al. (2006). Voor de simulaties betekent dit dat bij een gegeven volume gewonnen zand een vast percentage slib hoort, dat volledig vrijkomt in de

waterkolom tijdens het baggeren. Dit wordt beschouwd als een conservatieve (veilige) aanname.

3.2.4 Verdeling over de waterkolom

De wijze waarop het tijdens de zandwinning vrijgekomen slib zich over de waterkolom verdeelt is afhankelijk van een groot aantal factoren (bv. wijze van zandwinnen, lokale waterdiepte, hydrodynamische condities). In de simulaties wordt aangenomen dat het slib zich direct na de zandwinning gelijkmatig over de waterkolom verdeelt. Dit wordt gezien als een, vanuit een ecologisch oogpunt, veilige aanname, aangezien in werkelijkheid een deel van het slib relatief snel naar de bodem zal dalen en zich daar kan settelen en de onmiddellijke vertroebeling dan minder is.

De verdeling in horizontale richting is afhankelijk van de definitie van de wingebieden. Afhankelijk van het aantal gridcellen dat binnen een wingebied valt, wordt de totale massa slib gelijkmatig verdeeld over deze gridcellen.

3.2.5 Verdeling slibfracties

Een belangrijke parameter in slibtransport is de valsnelheid, die voornamelijk afhankelijk is van de korreldiameter. In de huidige slibsimulaties is met twee verschillende fracties gerekend met een valsnelheid van respectievelijk 0.125 en 1 mm/s. Deze twee fracties zijn noodzakelijk om een goede reproductie te krijgen van de waargenomen achtergrondconcentratie tijdens zowel rustig als stormachtig weer (Van Kessel et al., 2010). Op basis van metingen kan zowel het gebruik van een 1/3- als een 3/1-verhouding in de modelsimulaties voor de hand liggen. In het geval van een groter aandeel van de fijnere sedimentfractie, zal het slib zich sneller verspreiden, maar anderzijds spoelt het slib daardoor ook sneller het systeem uit. Voor een groter aandeel van de grovere sedimentfractie geldt het omgekeerde. Voor de huidige studie wordt aangenomen dat beide fracties evenveel voorkomen in de bodem (1/1-verhouding) en het model is dan ook op deze verhouding gekalibreerd.

3.2.6 Natuurlijke achtergrond en autonome ontwikkelingen

In deze studie worden de effecten van de zandwinscenario's onder andere vergeleken met de gesimuleerde (natuurlijke) achtergrondconcentraties van slib en slibconcentraties als gevolg van autonome ontwikkelingen. De achtergrondconcentraties zijn het gevolg van onder andere rivierafvoeren, terwijl de autonome ontwikkelingen diverse andere (reeds gegunde) zandwoningen bevat. Daarnaast bevat de autonome ontwikkelingen een zandwinscenario (scenario SZ1) voor de zandwinning van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Voor de simulaties van de achtergrond en de autonome ontwikkelingen worden (voor zover van toepassing) dezelfde aannamen gedaan als eerder beschreven. Het gebruik van gesimuleerde, in plaats van gemeten, achtergrond- en autonoomslibvelden heeft als voordeel dat hierdoor een tijd- en ruimtedekkende dataset wordt verkregen. Daarnaast gaat het in de huidige studie met name om het relatieve effect, en het ligt daarom voor de hand om de natuurlijke achtergrond en autonome situatie, net als de scenario's, te berekenen.

3.2.7 Lineaire schaling slibconcentraties

In de huidige studie worden verschillende modelsimulaties uitgevoerd van verschillende scenario's. Naast de gedefinieerde zandwinscenario's betreft dit het (natuurlijke) achtergrondscenario, de autonome ontwikkelingen (Maasvlakte-2, Westerschelde Container Terminal en LaMER) en het voorkeurscenario voor de zandwoningen van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK). Voor elk van deze scenario's zijn individuele simulaties uitgevoerd, die later zijn gebruikt voor de bepaling van het relatieve

effect. Zo bestaat de autonome situatie uit de achtergrondsituatie en alle autonome ontwikkelingen (inclusief de zandwinning van HHNK) en is er hierbij vanuit gegaan dat het mogelijk is om de slibvelden op te tellen. Dit is alleen toegestaan wanneer de lokale slibpercentages laag zijn. Aangezien het Nederlandse kustgebied relatief zandig is, kunnen de slibvelden lineair geschaald worden. Overigens geldt voor de droogvallende platen in de Waddenzee, die grotendeels (de slibatlas van de WZ geeft percentages tussen 10 en 30 % aan) uit slib bestaan, dat deze aanname niet meer geldig is. Echter, de berekende relatieve effecten zijn hier klein, waardoor lineaire schaling is gerechtvaardigd.

3.3 Resultaten

Voor de interpretatie en discussie van de resultaten zijn een aantal gebieden langs de kust gedefinieerd (Figuur 3.1). Een aantal hiervan zijn aangemerkt als Natura 2000-gebied. Voor elk gebied is een kustwaarts (tussen de kust en de -20 m diepte lijn) en een zeewaarts gebied (tussen de -20 diepte lijn en de 12-mijl lijn) gedefinieerd.



Figuur 3.1 Overzicht van de verschillende gebieden. De Natura 2000 gebieden zijn in oranje weergegeven, de andere gebieden in groen.

De volgende typen figuren en tabellen zijn gebruikt voor de analyse van de resultaten:

1. Kleurenplots van de jaargemiddelde slibconcentratie in de oppervlaktelaag voor de autonome situatie (zie Appendix B.2). De autonome situatie is gedefinieerd als de som van de natuurlijke (achtergrond) slibconcentraties (weergegeven in Appendix B.1), een bijdrage van reeds gegunde zandwinactiviteiten die in de huidig beschouwde periode zullen plaatsvinden, en de effecten van het voorkeursscenario van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.
2. Kleurenplots van de jaargemiddelde (additionele) slibconcentraties in de oppervlaktelaag als gevolg van zandwinscenario SR1 (kustwaarts 900m, zie Appendix B.3.1).
3. Kleurenplots van het relatieve effect (in procenten) in de oppervlaktelaag van scenario SR1 ten opzichte van de autonome situatie (Appendix B.3.2).
4. Tijdreeksen van de relatieve effecten van de vier zandwinscenario's op de jaargemiddelde slibconcentraties in de oppervlaktelaag, ten opzichte van de autonome situatie voor een aantal gebieden (waaronder de Natura 2000-gebieden). Deze figuren zijn te vinden in Appendix B.4.
5. Tabellen van de relatieve effecten van verschillende zandwinscenario's ten opzichte van de autonome situatie voor de verschillende gebieden (zie Appendix B.5).

De reden waarom alleen kleurenplots met absolute en relatieve effecten van scenario SR1 zijn gegeven is dat de verschillen tussen de verschillende scenario's op deze schaal lastig te zien zijn. Dit is al duidelijk in de weergave van de absolute effecten van de autonome ontwikkeling (Appendix B.2), waarin de in de tijd variërende zandwinning geen zichtbaar lijkt te hebben.

De figuren met tijdseries per gebied, en de tabellen, geven een indruk van het effect van de verschillende scenario's ten opzichte van elkaar, terwijl de kaarten een beeld geven van een zandwinning (onafhankelijk van het scenario) in verhouding tot de autonome situatie.

3.3.1 Algemene effecten behorende bij scenario SR1

Op basis van de bovenbeschreven figuren (met name in Appendix B.3) kan worden gezien dat de effecten van zandwinscenario SR1 op de slibconcentraties initieel (2013) lokaal (in de nabijheid van de winlocatie) optreden, waarna het slib zich vervolgens langzaam in hoofdzakelijk noordelijke richting verplaatst. De maximale concentraties als gevolg van de zandwinactiviteiten bevinden zich vaak in 2017, wat ook het laatste winjaar is in de huidige studie. Vanaf 2018 zijn de effecten met name nog zichtbaar in de Waddenzee en ook enigszins in de Voordelta. In het laatst beschouwde jaar (2022) zijn slechts minieme effecten zichtbaar in het beschouwde domein.

Wanneer gekeken wordt naar de grootte van de slibconcentraties in de oppervlaktelaag als gevolg van de zandwinning kan worden gezien dat deze, gemiddeld over een jaar, 1 à 2 mg/l bedraagt. Ten opzichte van de autonome situatie, waar slibconcentraties van soms meer dan 100 mg/l optreden, is dit relatief laag. De hoogste concentraties in de oppervlaktelaag in de autonome situatie treden op in de Waddenzee, maar ook langs de Hollandse kust en in de Voordelta zijn slibconcentraties van 20 tot 70 mg/l eerder regel dan uitzondering. Dit komt ook tot uitdrukking in de contourplots met het relatieve effect van scenario SR1 ten opzichte van de autonome situatie. In 2013 is het relatieve effect over het algemeen zeer klein, maar lokaal kan het oplopen tot 5 à 7 procent. In de daaropvolgende jaren neemt het effect toe tot lokaal (in de nabijheid van de wingebieden) 10 tot 15 procent ten opzichte van de autonome situatie in 2017.

3.3.2 Algemene effecten voor de overige zandwinstscenario's

Wat betreft de effecten van de overige scenario's op grotere schaal zijn er slechts minimale verschillen te ontdekken in vergelijking met het voorkeursscenario. Overzichtskaarten van de jaargemiddelde slibconcentraties als gevolg van de overige scenario's lijken sterk op die van het voorkeursscenario (Figuur B.4 tot en met Figuur B.7) en zijn daarom niet meegenomen in dit document. De vergelijking tussen de scenario's is gemaakt op basis van een analyse per subgebied.

3.3.3 Effecten in de Natura 2000-gebieden

Wanneer specifiek de Natura 2000-gebieden worden beschouwd (Figuur 3.2), kan worden geconstateerd dat in alle gevallen het relatieve effect van de zandwinning toeneemt tijdens de zandwinning periode en vervolgens daalt. Het gebied met het grootste relatieve effect in slibconcentraties is 'NZ Kustzone 1k'. Dit gebied ligt voor de kust in het noorden van Noord-Holland bevat daardoor slib afkomstig uit het gebied voor Zeeland, Zuid-Holland en Noord-Holland. De effecten in de Natura 2000-gebieden zullen nu per scenario worden besproken.

3.3.3.1 Scenario kustwaarts (900m) – 20 Mm³

Voor dit scenario is duidelijk te zien dat het maximale effect voor de Natura 2000-gebieden tussen 2015 en 2017 zal plaatsvinden. Over het algemeen zullen de maximale slibconcentraties per gebied tussen 2 en 6 procent hoger zijn in vergelijking met de autonome situatie, al zijn er gebieden met een groter effect (bijvoorbeeld NZ Kustzone 1k: 6,9%). Een sterke stijging in het relatieve effect is voor de meeste gebieden te verwachten in de periode 2013-2016, waarna de maximale waarde in tussen 2015 en 2017 wordt bereikt, afhankelijk van het aantal zandwingebieden vlakbij de Natura 2000-gebieden en hoeveel zand wordt gewonnen. Vanaf dat moment nemen de relatieve effecten sterk af, totdat vanaf 2019 tot 2022 een lichtere daling te observeren is. De relatief snelle respons na aanvang en beëindiging van zandwinactiviteiten wordt voornamelijk door de fijnere slibfractie veroorzaakt en de relatief langzame respons door de grovere slibfractie.

3.3.3.2 Scenario kustwaarts (100m) – 20 Mm³

Dit scenario is vrijwel gelijk aan het scenario kustwaarts (900m), met maximale waarden tussen 2015 en 2017. Over het algemeen zijn de maximale effecten per gebied ook hier tussen 2 en 6 procent, en vindt het maximaal te verwachten effect plaats in gebied NZ Kustzone 1k (6,8%).

3.3.3.3 Scenario zeewaarts – 20 Mm³

Het maximale relatieve effect is voor dit scenario over het algemeen te verwachten in 2017. De waarden liggen over het algemeen tussen de 2 en 4 procent, waarbij een maximumwaarde kan worden verwacht voor de gebieden NZ Kustzone 1k t/m 3k (ongeveer 5%). In dit scenario is een sterke stijging tussen 2013 en 2017 te zien, terwijl daarna een sterke daling tot 2019 en, ten slotte, een lichte daling tot 2022 geobserveerd kan worden.

3.3.3.4 Scenario diep – 20 Mm³

De effecten van dit scenario lijken, net als het tweede scenario, sterk op het eerste scenario. De maximale waarden worden bereikt tussen 2015 en 2017 en liggen over het algemeen tussen de 2 en 5% (met uitschieters boven 6%). Het verloop in de tijd van de relatieve slibeffecten is vergelijkbaar als voor het eerste scenario.

3.3.3.5 Scenario kustwaarts (900m) – 12 Mm³

Voor dit scenario vindt het maximale effect voor de Natura 2000-gebieden tussen 2015 en 2017 plaats. De toename van de slibconcentraties is significant kleiner dan voor het

vergelijkbare scenario met 20 Mm³, met een maximale toename van de slibconcentratie van 4,8% in 2016 in gebied NZ Kustzone 1k ten opzichte van de autonome situatie.

3.3.3.6 Scenario zeewaarts – 12 Mm³

Het maximale relatieve effect is voor dit scenario over het algemeen te verwachten in 2017. De waarden liggen over het algemeen tussen de 2 en 3 procent, waarbij een maximumwaarde kan worden verwacht voor de gebieden NZ Kustzone 1k t/m 3k (maximaal 3,3%).

3.3.3.7 Vergelijking tussen de scenario's

Figuur 3.2 laat zien dat de onderlinge verschillen in effecten voor de Natura 2000-gebieden tussen scenario SR1 (kustwaarts 900m), SR2 (kustwaarts 100m) en SR4 (diepe winning) over het algemeen klein zijn. Duidelijk is dat scenario SR3 (zeewaarts) voor alle Natura 2000-gebieden (behalve bij de Doggersbank, al is het effect daar nihil) beter scoort. Dit is in lijn met de verwachting aangezien de Natura 2000-gebieden relatief dicht bij de kust liggen, terwijl de wingebieden bij dit betreffende scenario zo ver mogelijk van de kust af liggen. Wat betreft de overige scenario's kan worden gezien dat de diepe zandwinning iets lagere slibconcentraties oplevert in vergelijking met de overige twee scenario's (met name in de gebieden NZ Kustzone 4k t/m 6k).

Beide scenario's met gereduceerde hoeveelheden zand leiden tot kleinere toenames van de slibconcentraties in alle Natura 2000-gebieden vanaf 2015.

3.3.4 Effecten in de overige gebieden

Voor de overige gebieden variëren de maximale relatieve effecten (tussen 2015 en 2017 afhankelijk van het gebied) tussen de 2 (Waddenzee) en 9 (Hollandse Kustboog 2z) procent, maar over het algemeen is deze waarde maximaal 5 à 6 procent (zie Figuur B.10 tot en met Figuur B.12). De effecten in deze gebieden zullen nu per scenario besproken worden.

3.3.4.1 Scenario kustwaarts (900m) – 20 Mm³

Net als voor de Natura 2000-gebieden worden de maximale waarden bereikt tussen 2015 en 2017, waarbij de verandering meestal tussen de 3 en 6 procent ligt. De aller-maximale waarde is te vinden in NZ Kustzone 5z (7,2%) in 2015. Een sterke stijging in de relatieve effecten is zichtbaar in de eerste 3 à 4 jaar, waarna een sterke daling te zien is, gevolgd door een lichte daling vanaf 2018.

3.3.4.2 Scenario kustwaarts (100m) – 20 Mm³

Voor dit scenario zijn de effecten in de overige gebieden vrijwel identiek als voor het 900m-scenario.

3.3.4.3 Scenario zeewaarts – 20 Mm³

Voor het scenario zeewaarts ligt de maximale waarde over het algemeen wederom in 2017 (lokaal 2016), terwijl de maximale effecten over het algemeen tussen de 4 en 6 procent liggen. In de gebieden Hollandse Kustboog 2z en 3z zijn de effecten, met zo'n 7 tot 9 procent, het grootst. In de eerste 3 tot 4 jaar is steeds een sterke stijging waar te nemen, gevolgd door een sterke daling en een lichte daling vanaf 2019.

3.3.4.4 Scenario diep – 20 Mm³

De effecten van scenario diep lijken eveneens sterk op die van het eerste scenario. De effecten zijn echter enigszins lager voor de gebieden Hollandse Kustboog 1k t/m 3k en enigszins hoger voor NZ Kustzone 1z t/m 6z en voor Hollandse Kustboog 2z en 3z.

3.3.4.5 Scenario kustwaarts (900m) – 12 Mm³

Net als voor de Natura 2000-gebieden worden de maximale waarden bereikt tussen 2015 en 2017, waarbij de verandering meestal tussen de 3 en 5 procent ligt. De aller-maximale waarde is te vinden in NZ Kustzone 5z (5,9%) in 2015.

3.3.4.6 Scenario zeewaarts – 12 Mm³

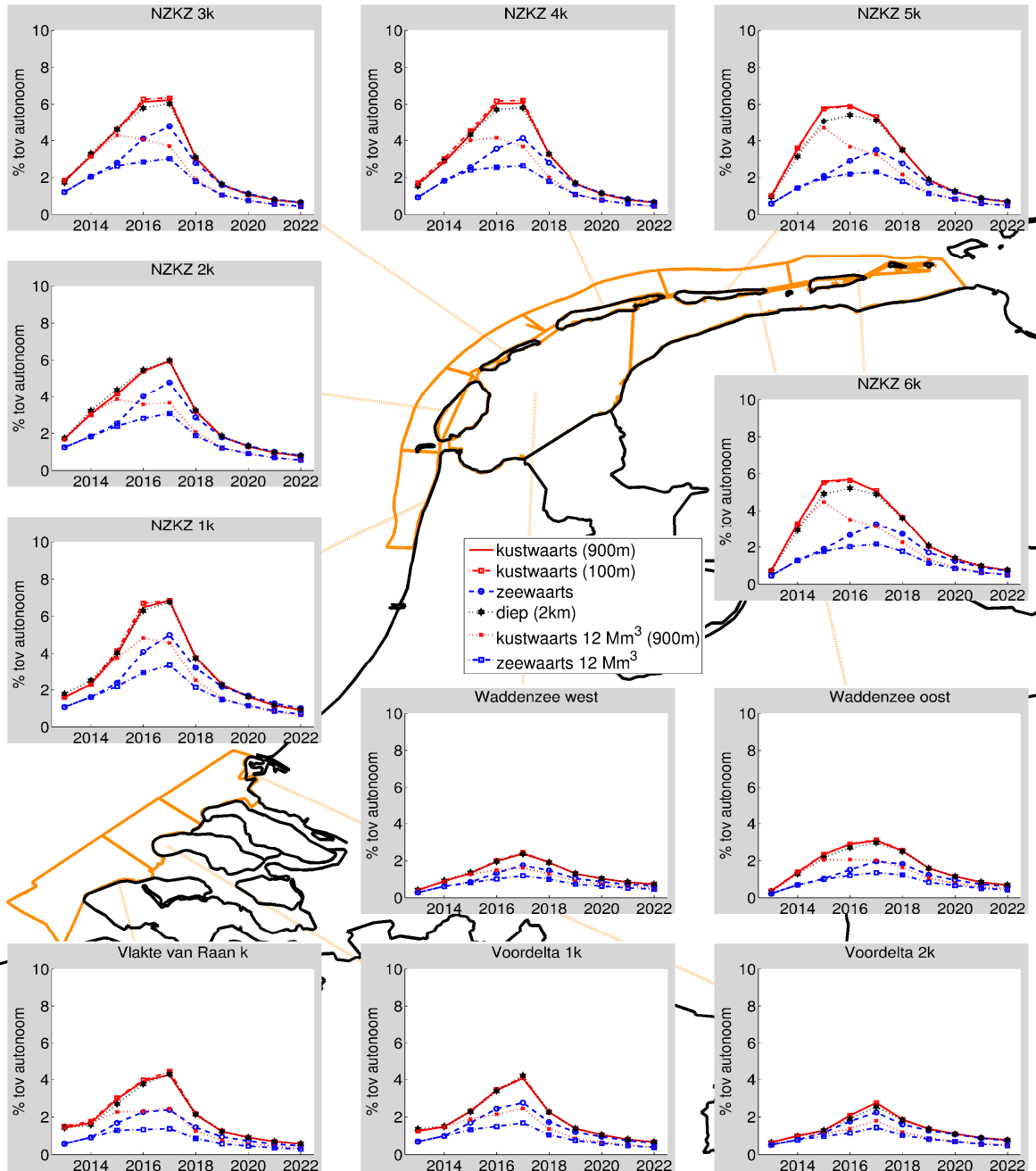
Voor het gereduceerde scenario zeewaarts ligt de maximale waarde tussen 2015 en 2017, met maximale effecten tussen de 3 en 5 procent liggen. In de gebieden Hollandse Kustboog 2z en 3z zijn de effecten, met maximaal 5,7%, het grootst.

3.3.4.7 Vergelijking tussen de scenario's

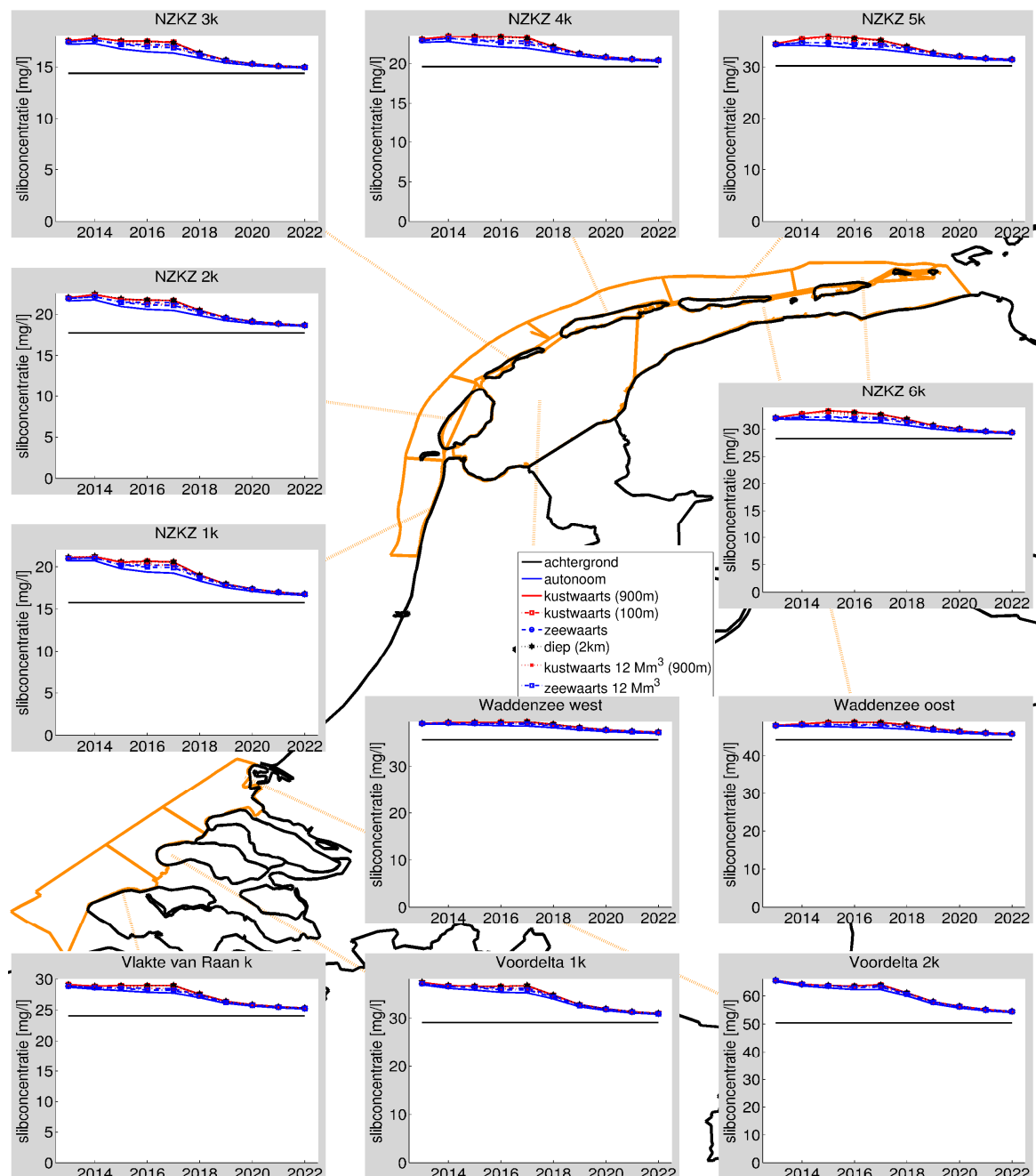
Voor de gebieden dicht bij de kust gelegen (Waddenzee west, Waddenzee oost, Hollandse Kustboog 1k t/m 3k) geldt over het algemeen dat het zeewaartse scenario significant lagere slibpercentages oplevert in vergelijking met de overige scenario's. De scenario's kustwaarts 900m en 100m wijken weinig af, terwijl het scenario met de diepe zandwinning iets lagere slibconcentraties oplevert. Dit komt in grote lijnen overeen met de resultaten voor in de Natura 2000-gebieden.

Voor de meer zeewaarts gelegen gebieden (o.a. Voordelta 1z en 2z, Hollandse Kustboog 1z t/m 3z, NZ Kustzone 1z t/m 4z) zijn de effecten van het zeewaarts scenario juist groter, in vergelijking met de overige scenario's. Ook hier geven de kustwaarts 900m en 100m scenario's vergelijkbare effecten, terwijl de diepe winning iets hogere slibconcentraties oplevert. Bovenstaande is overigens niet voor alle meer zeewaarts gelegen gebieden van toepassing. In de gebieden 'NZ Kustzone 5z', 'Vlakte van Raan 1z' (beiden weinig verschil in effecten van alle scenario's) en NZ Kustzone 6z (minder effect van zeewaartse winning) wijken de resultaten iets af van de overige zeewaartse gebieden.

De gereduceerde scenario's leiden tot kleinere toenames van de slibconcentraties al vanaf 2015 in alle gebieden, met kwalitatief dezelfde verschillen tussen de kustwaarts en zeewaarts alternatieven dan de 20 Mm³ scenario's.



Figuur 3.2 Relatief effect op de jaargemiddelde slibconcentraties in de Natura 2000-gebieden van scenario kustwaarts 900m 20 Mm³ (rood), scenario kustwaarts 100m 20 Mm³ (rood gestreept met vierkantjes), scenario zeewaarts 20 Mm³ (blauw gestreept met cirkels), scenario diep 20 Mm³ (zwart gestippeld met sterretjes), scenario kustwaarts 900m 12 Mm³ (rood gestippeld met kruisjes) en scenario zeewaarts 12 Mm³ (blauw gestippeld met vierkantjes) ten opzichte van de autonome situatie (natuurlijke achtergrond, reeds gegunde zandwinactiviteiten en een zandwinscenario van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier).



Figuur 3.3 Verloop van de jaargemiddelde slibconcentraties in de Natura 2000-gebieden voor de alle zandwinsten scenario's (incl. de beperkte). De natuurlijke achtergrond wordt weergegeven door de zwarte lijn.

3.4 Discussie

3.4.1 Ontwikkelingen ten opzichte van eerdere MER-studies

Ten opzichte van eerdere MER-studies, inclusief de meest recente MER-studie (Van Prooijen et al., 2007), zijn een aantal verbeteringen doorgevoerd in de modellering van het slibtransport, om betere voorspellingen te kunnen doen. Zo werd voorheen met het ZUNO-grof of met het FINEL model gerekend, terwijl in de huidige studie het ZUNO-DD model (waarbij domein decompositie is toegepast) is gebruikt. Het huidige model bevat, in vergelijking met ZUNO-grof, een hogere resolutie in de kustzone (waardoor betere resultaten

mogen worden verwacht), terwijl de resolutie verder van de kust nog steeds vrij grof is (wat ervoor zorgt dat de rekentijd niet te groot wordt). Daarnaast was de focus in de eerdere MER-studie op de Noordzee kustzone, terwijl voor de huidige studie de effecten in de Waddenzee ook van belang waren. Het huidige model, waarbij de natuurlijke achtergrond ook beter is gekalibreerd, is door de hogere resolutie beter in staat de effecten in de Waddenzee te voorspellen.

Ten opzichte van FINEL is de belangrijkste verandering dat in de huidige studie een driedimensionaal rekengrid is gebruikt, terwijl voorheen een tweedimensionaal (dieptegemiddeld) rekengrid werd gebruikt. Een 2D model leidt tot beperkingen in de Hollandse kustzone, waarin regelmatig horizontale en verticale dichtheidsverschillen optreden door zout- en temperatuurgradiënten, en waar verticale gradiënten in slibconcentraties aanwezig kunnen zijn. Hierdoor wordt met een tweedimensionaal model de reststroming van slib en de menging over de waterkolom minder nauwkeurig berekend.

Een andere belangrijke verbetering is dat het slibmodel sinds de vorige MER-studies in een aantal onderzoeksprojecten verder is gekalibreerd aan de hand van metingen en nieuwe inzichten. Zo zijn in de huidige studie, in tegenstelling tot eerdere studies, twee verschillende sedimentfracties gebruikt. Waar eerder met één slibfractie werd gerekend met een valsnelheid van 0.25 mm/s, zijn de huidige resultaten verkregen door te rekenen met een sedimentfractie met een valsnelheid van 0.125 mm/s en een fractie met een valsnelheid van 1 mm/s. Eerder onderzoek heeft uitgewezen dat het gebruik van deze twee fracties noodzakelijk is om waargenomen achtergrondconcentraties beter te reproduceren, zowel tijdens rustig als stormachtig weer (Van Kessel et al., 2010). Ook kan de langjarige verspreiding van slibtracers zoals Cadmium hiermee beter worden gereproduceerd (Van Oeveren-Theeuwes, 2011; Van Kessel et al., 2012).

In Van Prooijen et al. (2007) is voor een vergelijkbare aanpak gekozen wat betreft de hydrodynamische forcering. Ook hier is één hydrodynamisch jaar gekozen voor de langjarige slibsimulaties. Echter, het gekozen jaar (2000) bleek bovengemiddeld stormachtig (Van Prooijen et al., 2007), terwijl het hydrodynamische jaar gekozen in de huidige studie (2007) wat betreft de meteorologie en rivierafvoeren voor de Noordzee als gemiddeld kan worden beschouwd.

3.4.2 Effectvoorspelling in de Waddenzee

Over het algemeen onderschat het huidige model de slibconcentraties in de Waddenzee (in vergelijking met metingen, maar ook met meer gedetailleerde modellen, zie Keetels et al., 2012). De absolute effecten van de zandwinnings zullen dus in werkelijkheid hoger zijn dan gepresenteerd in de huidige studie. Echter, de relatieve effecten op de slibconcentraties blijken wel goed overeen te komen met een meer gedetailleerd slibmodel (Keetels et al., 2012). De berekende relatieve effecten worden toegepast in het GEM-model (zie volgende hoofdstuk).

3.4.3 Toekomstig onderzoek

Er zijn verschillende aspecten wat betreft modellering van slibtransport die nog verder ontwikkeld zouden kunnen worden om de betrouwbaarheid van de voorspelling van de gevolgen van zandwinnings verder te kunnen vergroten. Ten eerste kan het model verder gekalibreerd worden aan de hand van nieuwe meetgegevens over zwevend stof en/of slibgehalte in de bodem. Ten tweede zou meer aandacht kunnen worden geschonken aan grover sediment, en dan met name de interactie tussen slib en zand. In de huidige simulaties wordt zandtransport niet meegenomen. Zandtransport beïnvloedt weliswaar nauwelijks direct

de troebelheid, maar indirecte beïnvloeding is wel mogelijk via de beschikbaarheid van slib in de bodem (denk aan afdekken of blootleggen). Tenslotte kan onderzoek naar (de-) flocculatie in de waterkolom een verdere bijdrage leveren aan het model voor slibtransport.

3.5 Samenvatting en conclusies

In dit hoofdstuk is allereerst een beschrijving gegeven van diverse aannamen die zijn gedaan in de modelsimulaties van het effect van de zandwinscenario's op de slibconcentraties in de Noordzee en Waddenzee. De belangrijkste aannamen zijn verder behandeld in 3.5. De beschrijving van de diverse scenarioberekeningen is beknopt weergegeven in Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Naamgeving en beschrijving van de zandwinscenario's

Naam scenario	Beschrijving	Mm ³	Winperiode
Scenario S0	natuurlijke achtergrond	n.v.t.	gehele periode aanwezig
Scenario SH	autonome zandwinningen	zie H.2	2008-2018
Scenario SR1	kustwaarts ondiep (900m)	86,44	2013-2017
Scenario SR2	kustwaarts ondiep (100m)	86,44	2013-2017
Scenario SR3	zeewaarts ondiep	86,44	2013-2017
Scenario SR4	diepe zandwinning	86,44	2013-2017
Scenario SR1 12Mm ³	kustwaarts ondiep (900m) 12 Mm ³	62,44	2013-2017
Scenario SR3 12Mm ³	zeewaarts ondiep 12 Mm ³	62,44	2013-2017

Bij de resultaten van de slibsimulaties zijn vooral de lokale effecten in de Natura 2000-gebieden behandeld. Uit de resultaten van de modelsimulaties blijkt dat de te verwachten effecten van de zandwinactiviteiten wat betreft slibconcentraties relatief klein zijn. In vergelijking met de autonome situatie (bestaande uit de natuurlijke achtergrondconcentraties, de reeds gegunde zandwinningen en de voorkeursvariant van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier) leveren de zandwinscenario's over het algemeen een effect op van enkele procenten van de jaargemiddelde slibconcentratie.

Wat betreft de onderlinge verhouding tussen de vier zandwinscenario's kan worden geconcludeerd dat de effecten van het scenario SR1 (kustwaarts 900m) en SR2 (kustwaarts 100m) elkaar niet veel ontlopen. Scenario SR4 (diepe zandwinning) levert iets lagere slibconcentraties op in de gebieden dichtbij de kust, terwijl scenario SR3 (zeewaarts) significant lagere slibconcentraties oplevert voor de gebieden dicht bij de kust (waaronder de Natura 2000-gebieden), terwijl de slibconcentraties relatief hoog zijn in de verder gelegen gebieden.

Zoals verwacht leiden beide alternatieven met gereduceerde hoeveelheden zand (12 Mm³ i.p.v. 20 Mm³) tot een kleinere toename van de slibconcentraties in alle gebieden ten opzichte van de autonome ontwikkelingen. In 2015 is het effect nog redelijk beperkt, maar in de jaren 2016 tot en met 2019 (en in mindere mate ook daarna) is sprake van een significante (+/- 30 % ten opzichte van dezelfde alternatieve met 20 Mm³ gewonnen zand) afname in slibconcentraties in alle gedefinieerde (Natura 2000) gebieden. Deze kleinere toename van de slibconcentraties heeft vermoedelijk ook een groot effect op de GEM resultaten.

4 Scenariostudies nutriënttransport en primaire productie

4.1 Inleiding

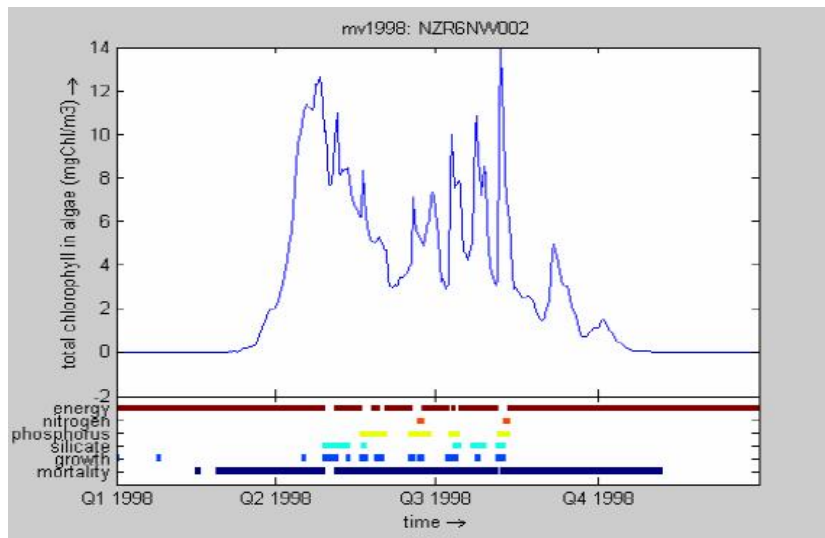
Het effect van elk van de gedefinieerde zandwinscenario's is bepaald op de daggemiddelde gesimuleerde slibconcentraties in de Noordzee (hoofdstuk 3). In dit hoofdstuk worden de resultaten van de slibberekeningen gebruikt om het effect van de zandwinscenario's op primaire productie na te gaan. Slib is van belang voor de primaire productie omdat het mede het doorzicht bepaald en dus de beschikbare energie voor fytoplankton. De doorvertaling van zandwinningscenario's naar verandering in slibconcentraties is dus nodig om het effect ervan op de primaire productie in kaart te brengen. Voor de precieze modelopzet en de validatie wordt verwezen naar het validatierapport (Keetels et al., 2012).

Paragraaf 4.2 gaat in op het concept van limiterende factoren voor fytoplankton, welke de kern is voor de modellering van primaire productie in GEM. Vervolgens geeft paragraaf 4.3 een toelichting op de gemaakte aannames. Paragraaf 4.4 beschrijft de verschillende zandwinscenario's met het oog op de primaire productie en paragraaf 4.5 toont de resultaten van de modelsimulaties. In paragraaf 4.6 worden de modelresultaten in een breder perspectief geplaatst: wat zijn de verschillen met uitkomsten van andere MER-ren en wat zijn de onzekerheden in het model. Als laatste paragraaf in dit hoofdstuk geeft paragraaf 4.7 een samenvatting van de resultaten en de conclusies.

4.2 Concept van limiterende factoren

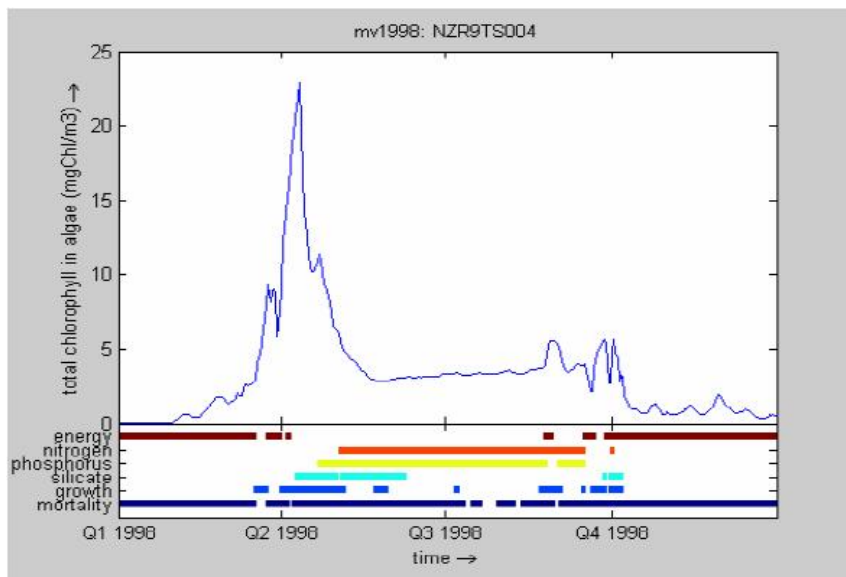
Voor een goed begrip van de mogelijke invloed van zandwinning op de primaire productie en het nutriënttransport, is inzicht nodig in de manier hoe limiterende factoren op algengroei werken. De primaire productie hangt af van de beschikbaarheid van nutriënten (de belangrijkste zijn N, P en Si) en zonlicht. Als de gehaltes aan opgeloste nutriënten (zeer) laag zijn, dan is er waarschijnlijk sprake van een nutriënten limitatie. Lichtlimitatie treedt op als de hoeveelheid energie 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. In de Noordzee bestaan er duidelijke ruimtelijke en temporele verschillen in de beschikbare hoeveelheden nutriënten en licht onder water en daarom in de limitaties van fytoplankton. De twee typische situaties in de Noordzee worden hieronder beschreven:

- (1) Primaire productie is gedurende het hele jaar licht gelimiteerd (onder andere door 'self-shading', de bijdrage van de aanwezig algen, dood organisch materiaal en slib). Dit leidt tot een sinus-achtig beeld van de algenbiomassa omdat deze wordt aangestuurd door de jaarlijkse cyclus van de instraling. Verlaging van zwevend stof in de zomermaanden 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 4.1). Behalve in mei en juni is de primaire productie licht gelimiteerd. De algenbiomassa stijgt in het voorjaar omdat de instraling toeneemt en er voldoende nutriënten zijn. In termen van chlorofyl is de voorjaarspiek in dit soort gebieden extra geprononceerd doordat licht gelimiteerd fytoplankton veel chlorofyl per eenheid van biomassa bevat ten opzichte van niet-gelimiteerde fytoplankton.



Figuur 4.1 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) (van Prooijen et al., 2007).

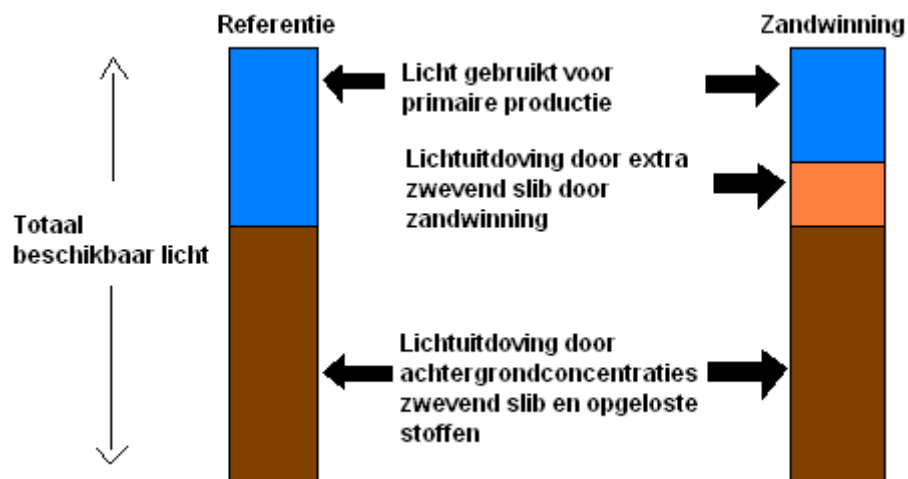
- (2) Primaire productie wordt in de zomer bepaald door de beschikbaarheid van nutriënten en voorjaar- en herfstniveaus worden mede bepaald door de lichtintensiteit. Terschelling 4 km is een typisch voorbeeld van een dergelijke locatie (Figuur 4.2).



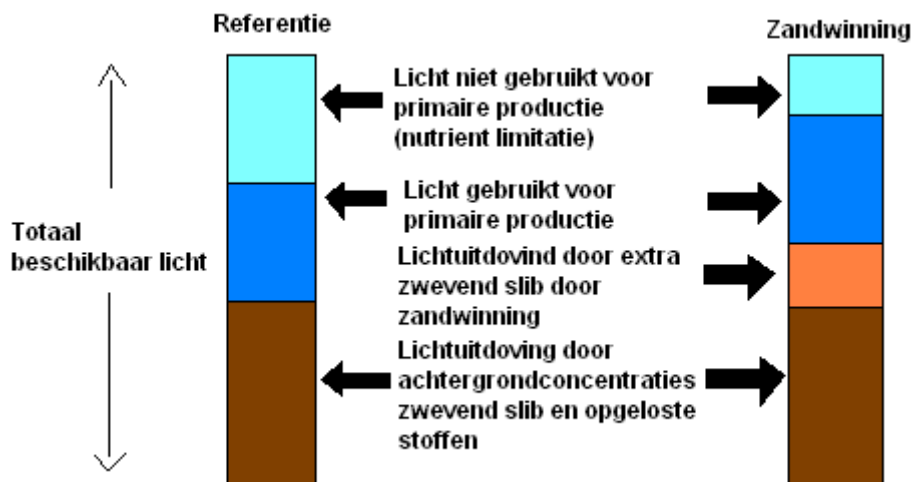
Figuur 4.2 Chlorofyl concentratie (in $\mu\text{g/l}$) en limiterende factoren op station Terschelling 4 km in 1998 Limiterende factoren: licht (bruin), stikstof (rood); fosfor (geel); silicium (licht blauw); groei (blauw); sterfte (donker blauw) (van Prooijen et al., 2007).

Zandwinning beïnvloedt de lichtuitdoving, maar of het de primaire productie beïnvloedt en zo ja met welk effect, hangt af van de vraag welk nutriënt, inclusief zonlicht, limiterend is of wordt. In overwegend licht gelimiteerde gebieden, zoals 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 zwevend slib 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 deze elders beschikbaar. Dit kan tot een stijging van de primaire productie elders leiden (Van Prooijen et al., 2007). Deze verschillende effecten zijn schematisch weergegeven in Figuur 4.3 en Figuur 4.4.

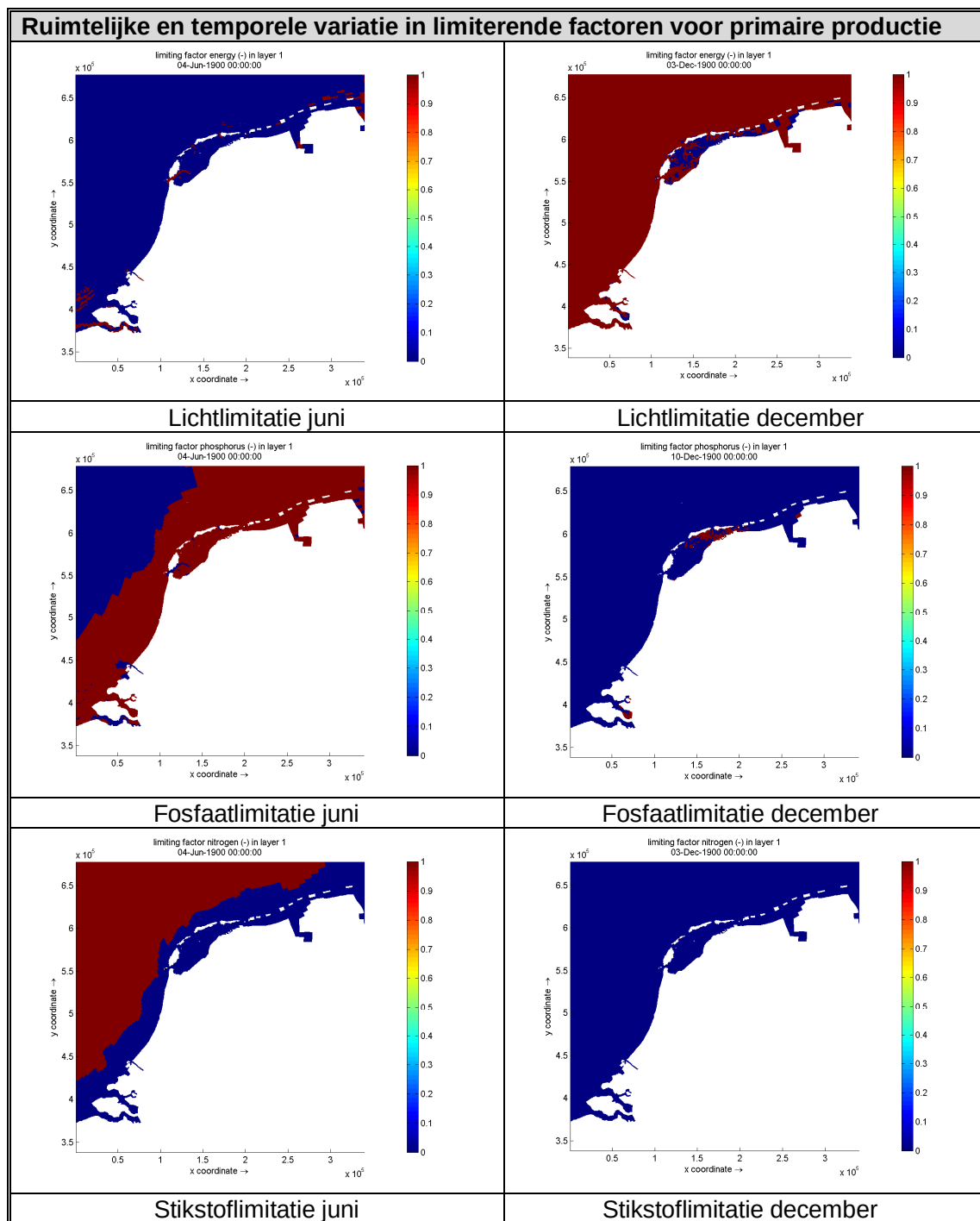


Figuur 4.3 In licht gelimiteerde gebieden wordt al het beschikbare licht gebruikt voor primaire productie. Meer slib ten gevolge van zandwinning leidt tot verlaging van de primaire productie.



Figuur 4.4 In nutriënt gelimiteerde gebieden wordt niet al het beschikbare licht gebruikt voor primaire productie. Meer slib ten gevolge van zandwinning leidt niet tot verlaging van de primaire productie.

Figuur 4.5 geeft een impressie van de ruimtelijke en temporele verschillen in limiterende factoren voor primaire productie.



Figuur 4.5 Licht-, fosfaat- en stikstoflimitatie langs de Nederlandse kust begin juni (links) en begin december (rechts). De waarde 0 houdt in dat die factor de primaire productie niet limeert en de waarde 1 dat die factor wel limiterend is voor primaire productie.

4.3 Aannames

Met het Generiek Ecologisch Model (GEM) is steeds, per scenario, een run van 15 jaar achter elkaar gedraaid, waarbij een groot deel van de invoer gelijk is gehouden. De waterbeweging, meteorologie, open randen etc. zijn steeds gelijk aan die van het validatiejaar 2007 en variëren dus niet per jaar. In vergelijking tot de validatie berekeningen (zie validatie

rapport) zijn de hoeveelheid anorganisch slib en de nutriëntenvrachten van de rivieren gewijzigd ten behoeve van de scenarioberekeningen. De initiële condities van het eerste jaar zijn gelijk aan die van de basis berekening (2008), die van elk volgend jaar zijn overgenomen uit het laatste berekeningsresultaat van het voorgaande scenariojaar. Mogelijke effecten van de zandwinning op nutriënten in water en sediment en op overwinterend fytoplankton worden op deze wijze meegenomen.

Voor elk scenario en voor de autonome ontwikkeling zijn eerst berekeningen uitgevoerd met het slibmodel (zie hoofdstuk 3). De slib forcering van GEM is gebaseerd op de jaargemiddelde berekening van het slib model plus de op metingen gebaseerde aanpassing in offshore gebieden. Deze bewerking is voor elk simulatiejaar en voor elk scenario uitgevoerd. Verondersteld is dat het extra door zandwinning vrijkomende slib dezelfde lichtuitdovingscoëfficiënt heeft als het achtergrondslib.

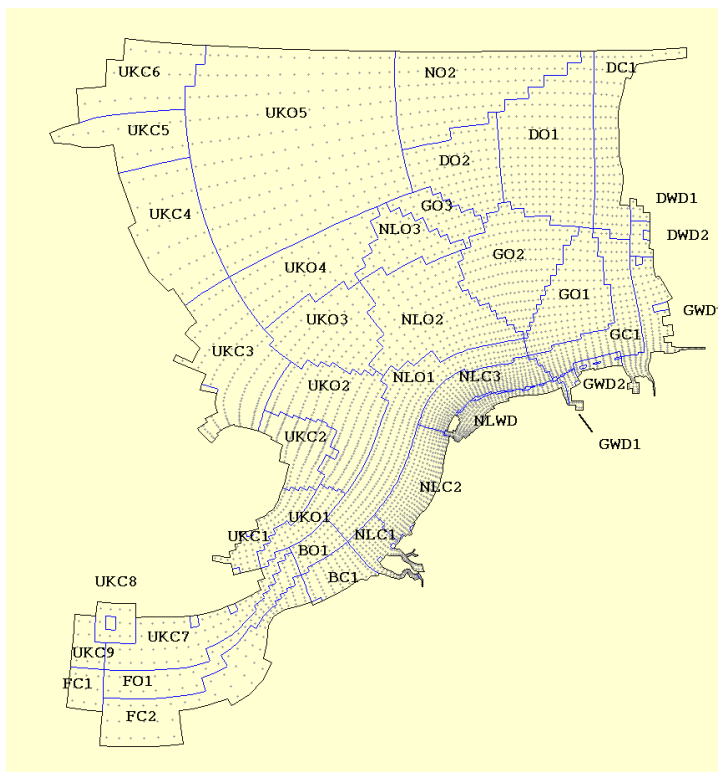
Met betrekking tot de ontwikkeling van de nutriëntenbelasting vanuit de rivieren op de Noordzee in de loop van de tijd zijn drie verschillende mogelijkheden onderzocht:

1. We extrapoleren de bestaande trend tot en met 2022. Fig. 4.5 toont de ontwikkeling van de opgelost fosfaatvrachten van de Nederlandse rivieren sinds 1980.
2. We gaan uit van de implementatie van de KaderRichtlijn Water (KRW) en bepalen op grond daarvan jaarlijkse reductiefactoren.
3. We baseren de reductiefactoren op toekomstige maatregelen die volgen uit de implementatie van de Marine Strategie (KRM).

Eventuele combinatie varianten zijn ook overwogen. Met betrekking tot de implementatie van de KRM zijn binnen OSPAR voorlopige streefwaardes per regio bepaald (zie Tabel 4.1 en Figuur 4.6). Wanneer deze KRM doelen als leidend worden gezien ten opzichte van KRW doelen, dan kunnen toekomstige riviervrachten uit de KRM doelen worden herleidt. Echter, dit is een tijdrovend proces doordat er door trial and error de juiste riviervrachten bij de gestelde KRM-doelen gezocht moeten worden. De hier voor benodigde studies zijn nog niet uitgevoerd, waardoor geen betrouwbare inschatting kan plaats vinden. Daarom is dit alternatief niet gekozen.

Tabel 4.1 Streefwaarden van nutriënten, chl-a en zuurstof zoals gehanteerd binnen OSPAR (groeiseizoen-doelen)

Stof	DIN	DIP	Chl-a gem	Chl-a max	N/P ratio	Zuurstof
Doelregio	mol/l	mol/l	µg/l	µg/l	-	mg/l
GO2	14.00	0.90	3.00	3.00	24.00	6.00
GC1	24.00	0.90	6.00	6.00	24.00	6.00
UKC1	10.80	0.68	15.00	15.00	24.00	6.00
NLO2	15.00	0.80	4.50	4.50	24.00	6.00
NLC2	30.00	0.80	15.00	15.00	24.00	6.00
NLC3	30.00	0.80	15.00	15.00	24.00	6.00
BC1	15.00	0.80	7.50	15.00	24.00	6.00
BO1	12.00	0.80	4.20	8.40	24.00	6.00
FC2	15.00	1.20	4.00	4.00	24.00	6.00
FO1	25.00	1.20	4.00	4.00	24.00	6.00



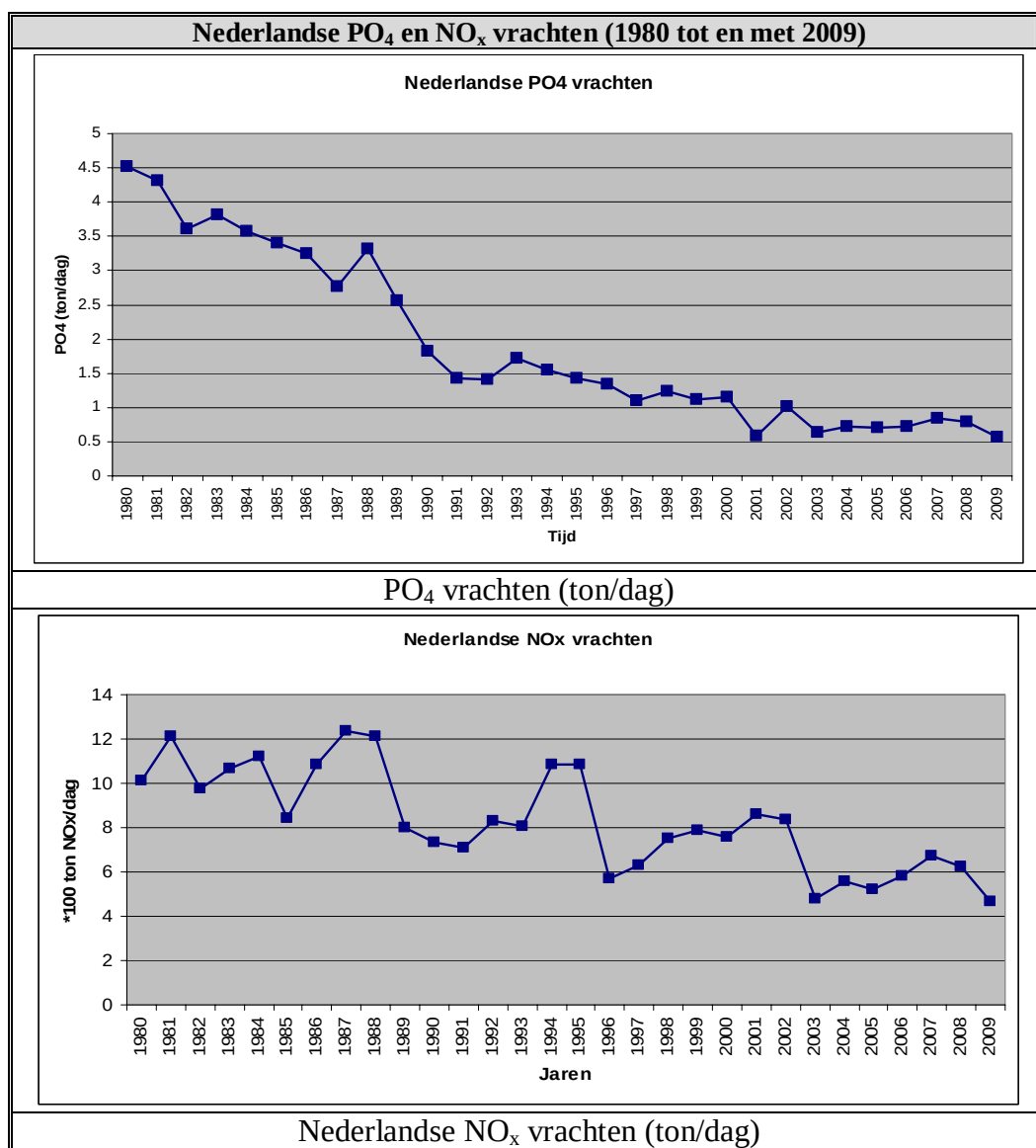
Figuur 4.6 Overzicht van de in OSPAR gehanteerde doelgebieden.

Het voorgenomen beleid met betrekking tot de KRW is al wel gekwantificeerd, zij het dat de schattingen nog voorlopig zijn (Witteveen en Bos, 2008)

Tabel 4.2 Gemiddelde reductie van jaargemiddelde nederlandse nutriëntconcentraties (%) ten opzichte van het basisjaar 2005 (aangepast van Witteveen en Bos, 2008).

	2015		2030	
	Stikstof	Fosfor	Stikstof	Fosfor
Gemiddelde reductie	12	18	17	22

Omdat de Nederlandse PO_4^{3-} en NO_x jaarvrachten sinds ca. 2001 weinig variëren (figuur 4.5), leidt extrapolatie van de waargenomen trend gedurende de afgelopen jaren ertoe de vrachten gelijk te houden aan die van het basisjaar (2007).



Figuur 4.7 Nederlandse PO_4^{3-} jaarvrachten (ton/dag, boven) en Nederlandse NO_x (100 ton/dag, onder) jaarvrachten voor de grote rivieren voor de periode 1980 tot en met 2008.

Hoewel de nutriëntreducties als gevolg van de KRW-maatregelen alleen mogelijk zijn als een trendbreuk plaatsvindt met de historische ontwikkeling gedurende de afgelopen jaren, is er voor gekozen de toekomstige nutriëntvrachten te baseren op effecten van de KRW zodat het voorgenomen beleid maatgevend is. Bij gebrek aan informatie over nutriëntreducties per rivier, is geen differentiatie per rivier toegepast, maar zijn dezelfde reductiefactoren uniform toegepast voor alle vrachten (zie Tabel 4.3).

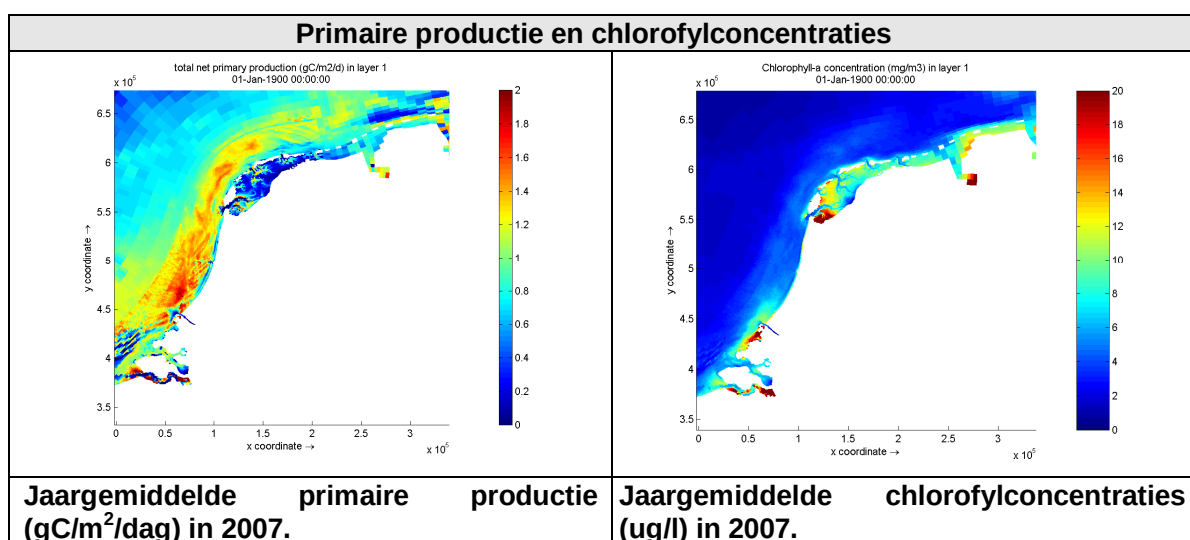
Tabel 4.3 Gehanteerde reductiefactoren (%) op nutriënten ten opzichte van 2007 (gebaseerd op W+B, 2008)¹.

	Totaal N	Totaal P
2008	1.2	1.8
2009	2.4	3.6
2010	3.6	5.4
2011	4.8	7.2
2012	6	9
2013	7.2	10.8
2014	8.4	12.6
2015	9.6	14.4
2016	10.8	16.2
2017	12	18
2018	12.3	18.3
2019	12.7	18.5
2020	13	18.8
2021	13.3	19.1
2022	13.7	19.3

1. Tabel 4.2 hanteert het basisjaar 2005, deze tabel het basisjaar 2007. Om deze reden zit er verschil tussen de jaren waarin een bepaalde reductie gehaald zou worden (tabel 4.2) dan wel opgelegd is (tabel 4.3).

4.4 Resultaten

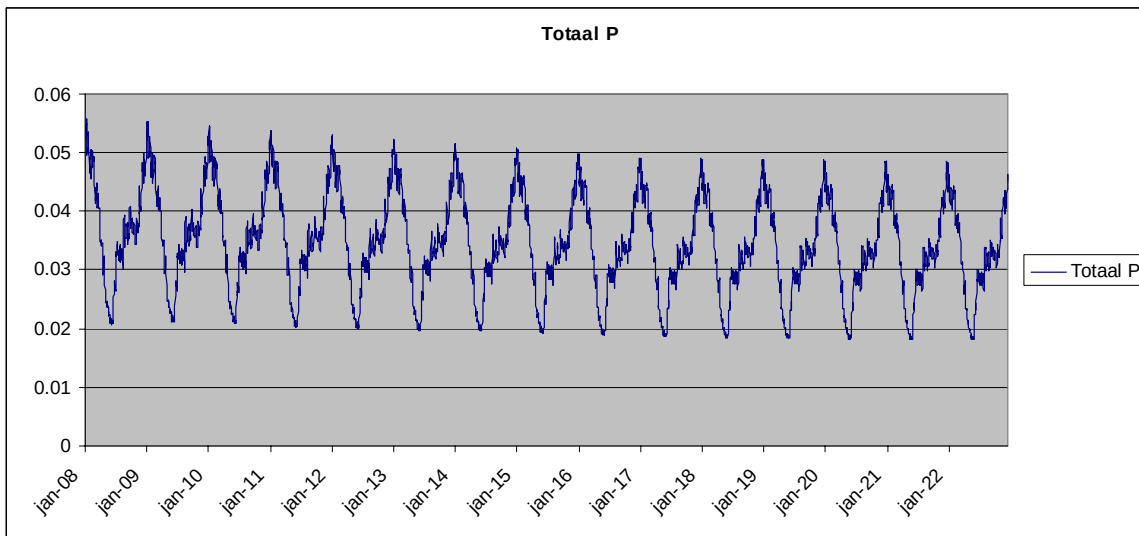
De vergelijking van jaargemiddelde kaartbeelden van primaire productie en chlorofylconcentraties (Figuur 4.8) toont de ruimtelijke verschillen tussen deze twee parameters. Doordat in deze figuren de primaire productie per m^2 en chlorofyl per liter is weergegeven, worden de verschillen meer benadrukt dan wanneer de biomassa ook in m^2 uitgedrukt wordt. Dit geldt vooral in de ondiepe gebieden als de Waddenzee. Hier is chlorofyl per volume eenheid hoog, maar per oppervlakte eenheid in vergelijking tot de kustzone niet. De ruimtelijke verschillen in primaire productie en chlorofylconcentraties zijn te verklaren doordat primaire productie een lokale fluxgrootte is terwijl de concentratie chlorofyl de resultante is van lokale 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 primaire productie mogelijk is door een te kort aan licht. Toch zijn de chlorofylgehalten relatief hoog door aanvoer van fytoplankton uit gebieden met een lagere lichtuitdoving. Verandering in primaire productie door zandwinning hoeft dus niet te leiden tot eenzelfde verandering in biomassa (chlorofylconcentraties).



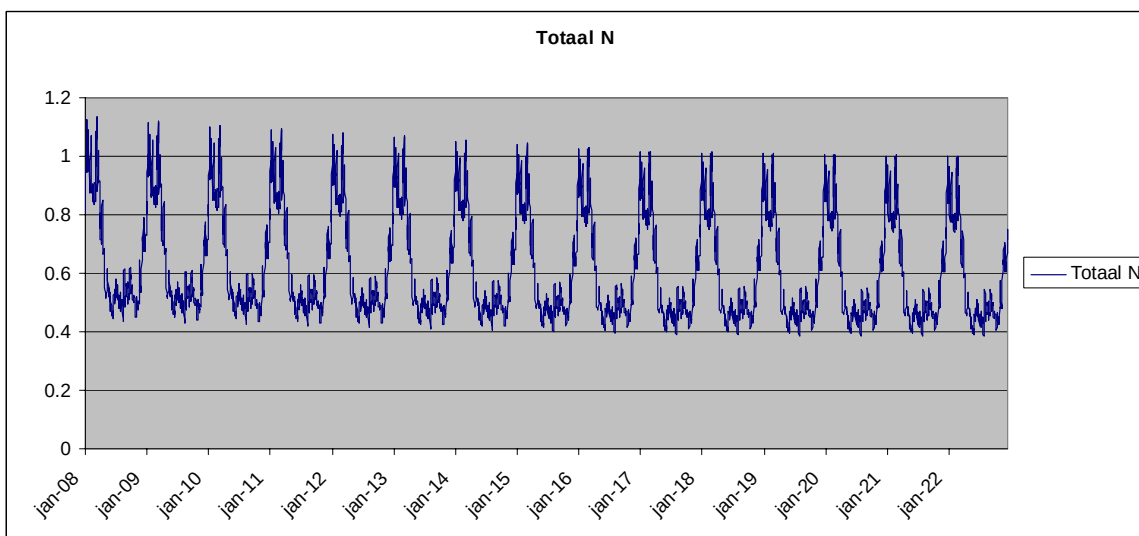
Figuur 4.8 Jaargemiddelde primaire productie (gC/m^2 , links) en chlorofylconcentraties ($\mu\text{g}/\text{l}$, rechts) voor 2007. De tijdsaanduiding 01-Jan-1900 00:00:00 zegt niets over de periode, dit is de manier van weergave van het gebruikte plotprogramma. Layer 1 zegt bij de primaire productie niets over de modell laag (dit in tegenstelling tot chlorofylconcentraties): op de afbeelding is de totale primaire productie van de waterkolom weergegeven.

4.4.1 Achtergrond simulatie

In de achtergrond simulatie, waarin het enige verschil met 2007 de nutriëntreducties volgens Tabel 4.3 en reeds vergunde zandwinnings zijn, is er een monotone afname van nutriënten zichtbaar (zie Figuur 4.9 en Figuur 4.10). De nutriëntafname in de modelresultaten is niet conform de opgegeven reducties in Tabel 4.3 omdat deze reducties alleen zijn toegepast op rivieren. Nutriëntvrachten vanuit andere bronnen, zoals de Kanaalrand, zijn ongewijzigd ten opzichte van de validatiesimulatie van 2007. Door menging van water met verschillende herkomst zijn de aan de rivieren opgelegde reducties in het model marginaal terug te zien, vooral bij de monding van een rivier.



Figuur 4.9 vakgemiddelde totaal fosforconcentraties (mg/l) in de achtergrondsimulatie voor de periode 2008 tot en met 2022 van het vak Hollandse Kustboog 1k (zie Figuur 3.1).

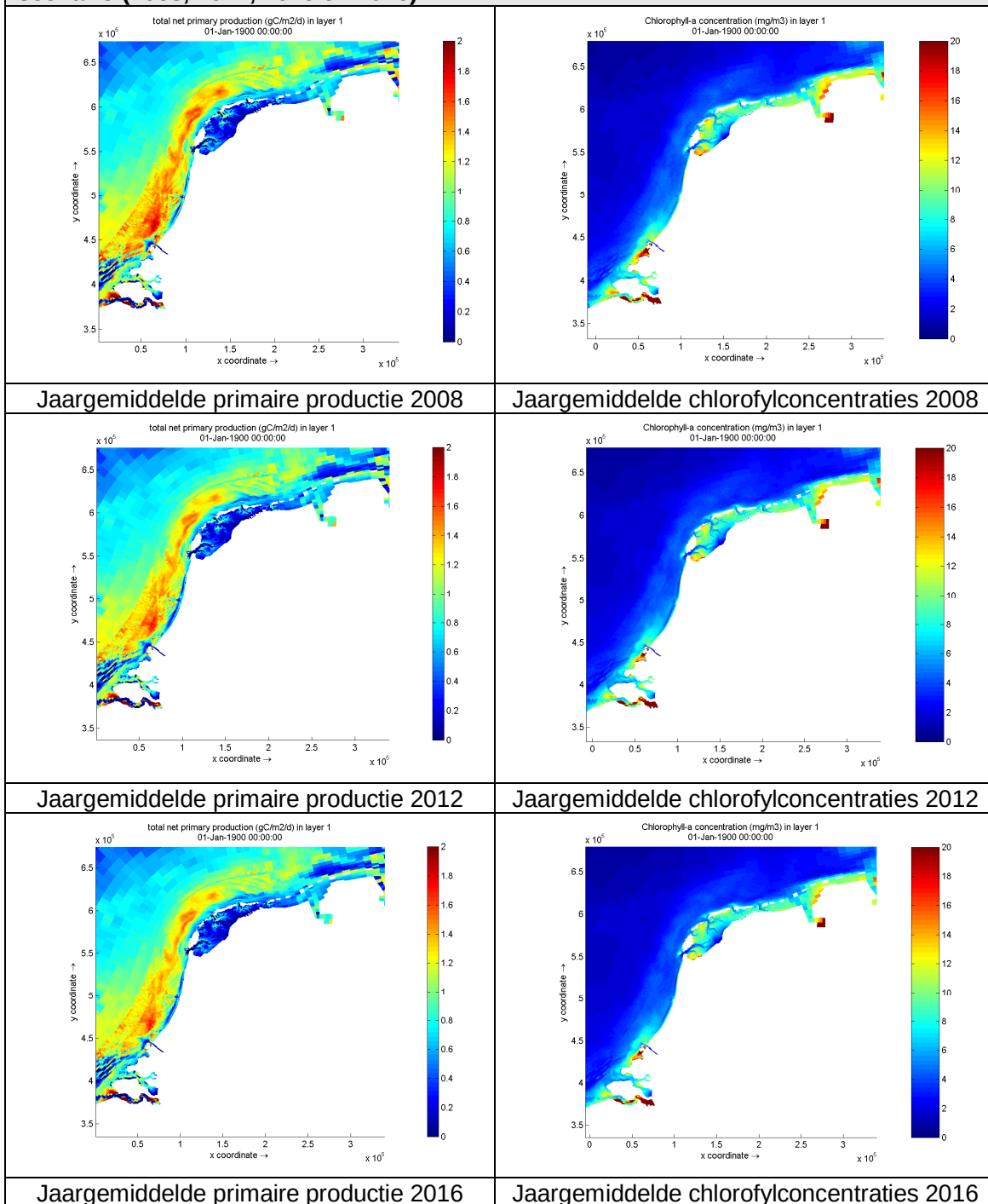


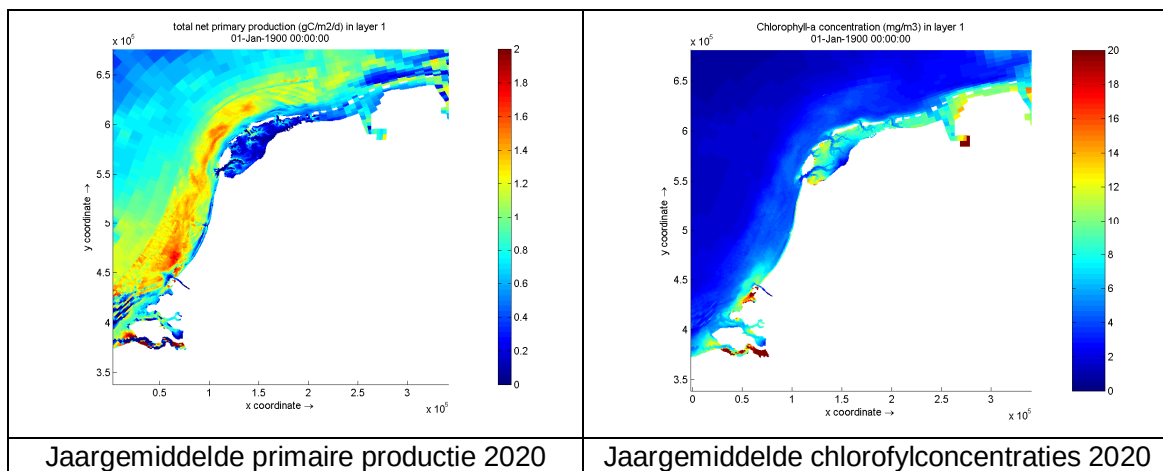
Figuur 4.10 vakgemiddelde totaal stikstofconcentraties (mg/l) in de achtergrondsimulatie voor de periode 2008 tot en met 2022 van het vak Hollandse Kustboog 1k.

4.4.2 Jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties autonoom scenario

In het autonome scenario zijn er duidelijke ruimtelijke patronen in jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties (Figuur 4.11). Jaargemiddelde primaire productie is wat westwaarts van de Nederlandse kust het hoogste (tot 2.0 gC/m^2) en vlak langs de kust juist aan de lage kant (rond 0.8 gC/m^2). Jaargemiddelde chlorofylconcentraties zijn hoger nabij riviermondingen, waarbij $20 \text{ } \mu\text{g chl/l}$ en hoger niet ongebruikelijk is. Langs de Noord-Hollandse kust en meer zeewaarts zijn jaargemiddelde chlorofylconcentraties lager, 0 tot $8 \text{ } \mu\text{g/l}$. Tijdens de simulatieperiode (2008 tot en met 2022) nemen jaargemiddelde chlorofylconcentraties licht af, mede veroorzaakt door reducties van totaal fosfor- en totaal stikstofvrachten.

Jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties voor het autonome scenario (2008, 2012, 2016 en 2020)





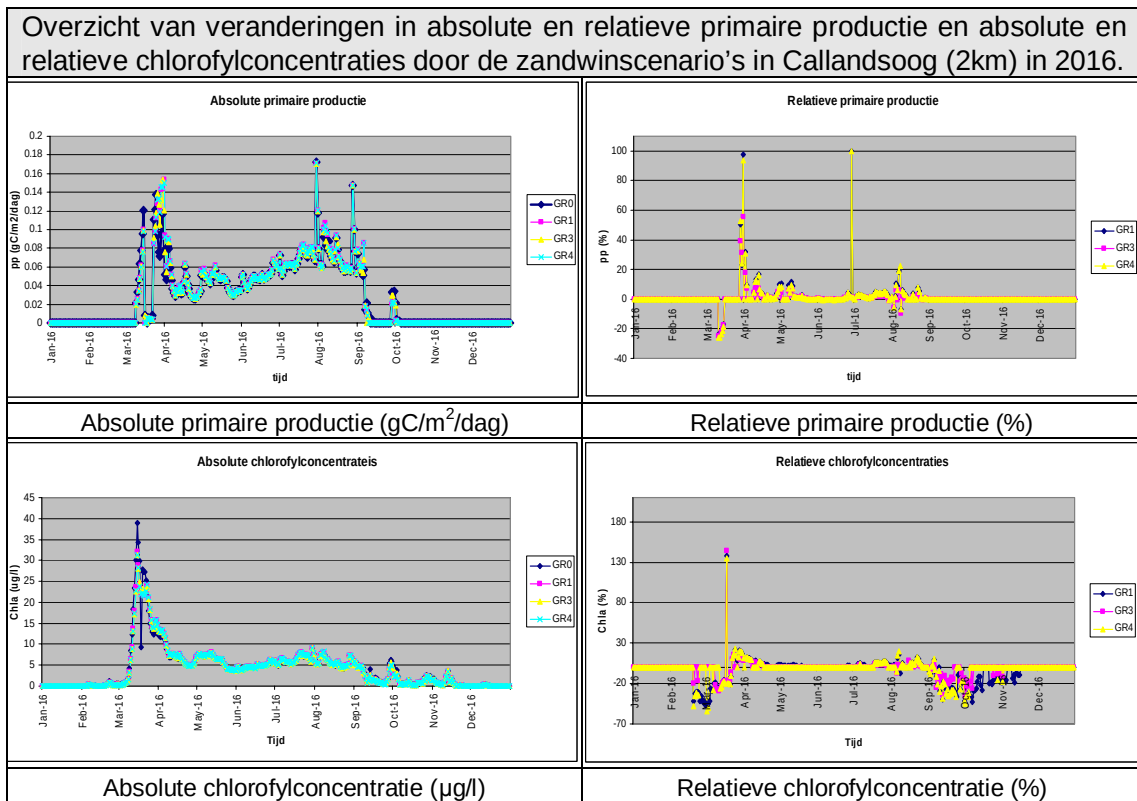
Figuur 4.11 Jaargemiddelde primaire productie ($\text{gC/m}^2/\text{dag}$) en chlorofylconcentraties ($\mu\text{g/l}$) voor het autonome scenario voor de jaren 2008, 2012, 2016 en 2020 van de simulatieperiode.

4.4.3 Zandwinscenario's

Wanneer op vakniveau (Bijlage B.4) en ook jaargemiddeld gekeken wordt naar de effecten van zandwinscenario's op de primaire productie en chlorofylconcentraties, dan worden de effecten ervan dus gemiddeld over ruimte en tijd. Echter, op kleiner ruimtelijk en tijdsniveau neemt de hoeveelheid informatie aanzienlijk toe. Om toch de veranderingen in de dynamiek van primaire productie en chlorofylconcentraties te interpreteren op vak- en jaarniveau wordt aan de hand van een nutriëntgelimiteerde puntlocatie (RWS monitoringspunt Callantsoog 2 km uit de kust) en een lichtgelimiteerde puntlocatie (RWS monitoringspunt Egmond aan zee 2 km uit de kust) de verandering in jaardynamiek van primaire productie en chlorofylconcentraties als gevolg van de zandwinscenario's uitgelegd.

4.4.3.1 Principes van een nutriëntgelimiteerde locatie

De zandwinscenario's GR1 (kustwaartse winning met 900 meter vrijwaringszone), GR3 (zeewaartse winning) en GR4 (diepe winning) leiden in het voorjaar en beperkt in het najaar tot minder doorzicht dan het autonome scenario. Op deze locatie leidt dit in deze twee periodes tot een verlaging van primaire productie doordat juist *dan* fytoplanktongroei door lichtbeschikbaarheid beperkt wordt. Door de lagere primaire productie worden er minder nutriënten opgenomen waardoor deze nutriënten langer in het systeem beschikbaar blijven voor primaire productie. Het gevolg hiervan is dat de primaire productie piek in het voorjaar lager is maar langer aanhoudt in de zandwinscenario's dan in het autonome scenario (Figuur 4.12, links- en rechtsboven). Vervolgens leidt een ander verloop in de limitaties van fytoplanktongroei in het voorjaar tot een andere verhouding van opgenomen nutriënten en daardoor ook andere nutriëntconcentraties in het water en een andere nutriëntsamenstelling van detritus over een langere periode. Deze veranderingen in nutriëntenbalansen komen niet alleen in deze puntlocatie voor, maar zijn wijdverspreid in de Noordzee waar de slibconcentraties als gevolg van zandwinning zijn veranderd. Daarnaast wordt door transport veranderingen in nutriëntbalansen in één puntlocatie breder verspreid.



Figuur 4.12 Absolute en relatieve primaire productie en absolute en relatieve chlorofylconcentraties voor de autonome situatie (GR0) en de zandwinsten scenario's GR1, GR3 en GR4 in 2016 in Callandsog, 2km uit de kust.

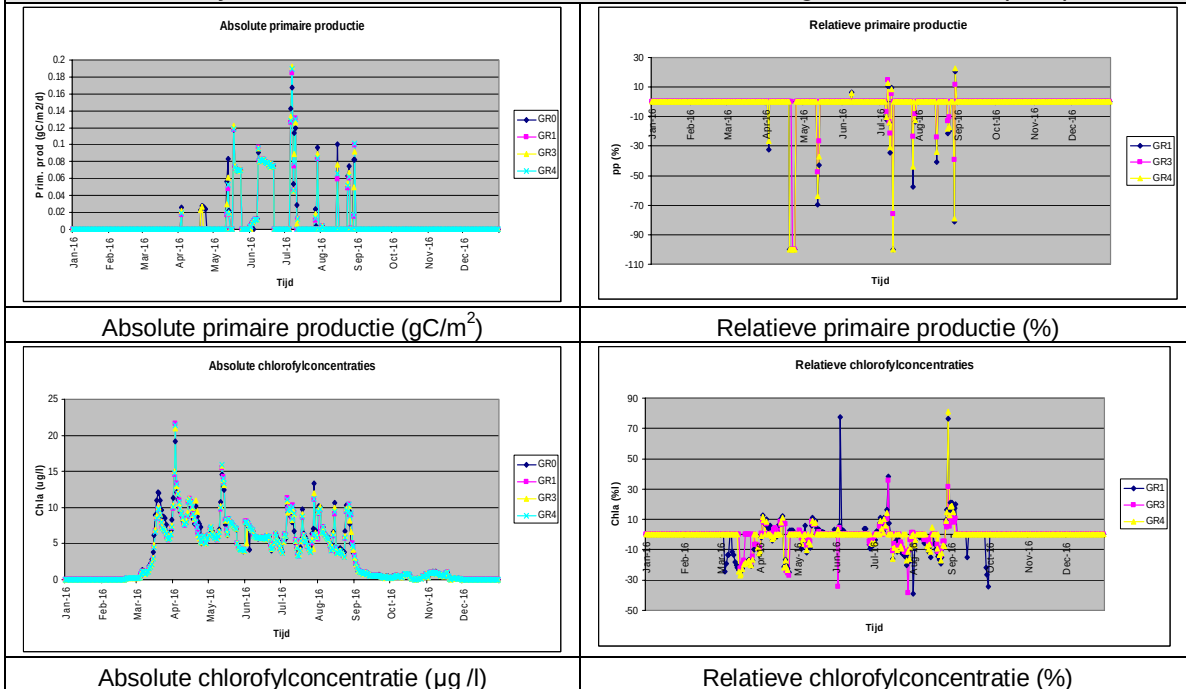
Zoals eerder beschreven is de primaire productie een fluxgrootte die iets zegt over de primaire productie op een plek. Chlorofylconcentraties daarentegen zijn een resultante van verschillende processen waaronder primaire productie, transport en de samenstelling van het fytoplankton. Zodoende hoeft de verandering in primaire productie door zandwinning niet één op één hetzelfde te zijn als de verandering in chlorofylconcentraties. In de zandwinsten scenario's zijn aan het begin van de voorjaarsbloei lagere chlorofylconcentraties te zien ten opzichte van het autonome scenario (Figuur 4.12, links- en rechtsonder), echter de chlorofylconcentraties blijven wel langer hoog. In de herfst leidt verhoogde lichtlimitatie door zandwinning tot lagere chlorofylconcentraties in de zandwinsten scenario's ten opzichte van het autonome scenario. De primaire productie laat deze daling niet zien. Dit duidt erop dat in de zandwinsten scenario's ten opzichte van het autonome scenario de chlorofylconcentraties in het aanvoerende water lager zijn en/of dat de algensamenstelling anders is.

4.4.3.2 Principes van een lichtgelimiteerde locatie

De primaire productie in het RWS monitoringspunt Egmond aan zee, 2 km uit de kust, is het grootste gedeelte van het jaar licht gelimiteerd. Omdat licht op deze locatie voor het grootste deel van het jaar de sturende factor is van primaire productie, leidt een verandering in de hoeveelheid licht één op één tot een verandering in primaire productie (Figuur 4.13, links- en rechtsboven). De zandwinsten scenario's leiden in het voor- en najaar, wanneer er nauwelijks tot geen primaire productie is, tot de grootste veranderingen in het doorzicht. In de zomerperiode zijn er kleine verschillen in het doorzicht tussen de scenario's en dit uit zich vaak in een tijdelijke afname in primaire productie. Doordat er in de zomer ook perioden zijn waarin er geen lichtlimitatie is, worden de nutriënten die niet benut zijn tijdens perioden met extra

lichtlimitatie, dan opgenomen. Dit leidt dan tot een tijdelijk verhoogde primaire productie in de zandwinsten scenario's ten opzichte van het autonome scenario. Echter, door transport kunnen de niet-benutte nutriënten ook elders terecht komen voordat de nutriënten op de puntlocatie zelf opgenomen kunnen worden.

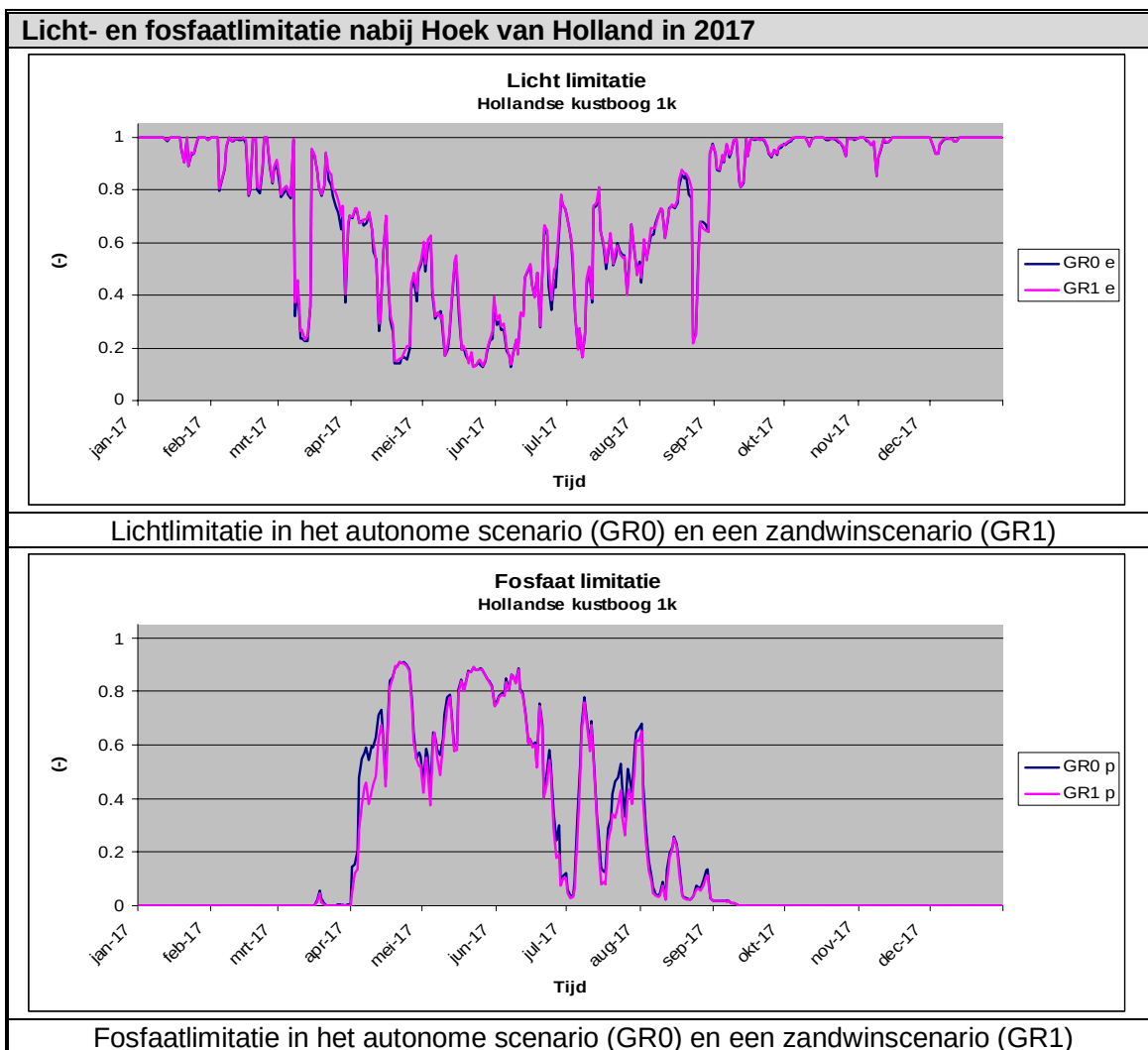
Overzicht van veranderingen in absolute en relatieve primaire productie en absolute en relatieve chlorofylconcentraties door de zandwinsten scenario's in Egmond aan zee (2km) in 2016.



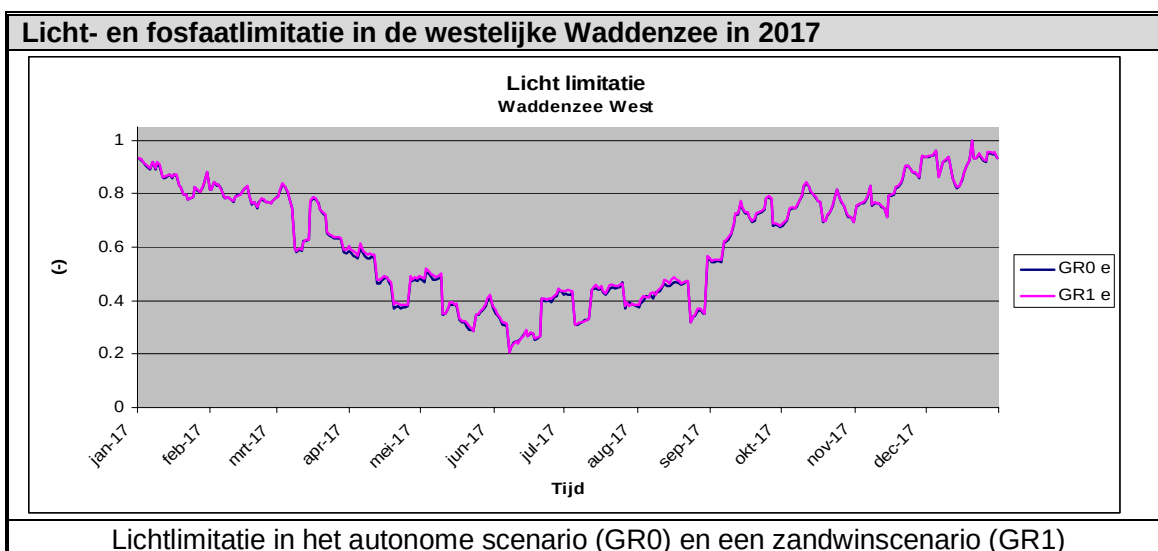
Figuur 4.13 Absolute en relatieve primaire productie en absolute en relatieve chlorofylconcentraties voor de autonome situatie (GR0) en de zandwinsten scenario's GR1, GR3 en GR4 in 2016 in Egmond aan Zee, 2km uit de kust.

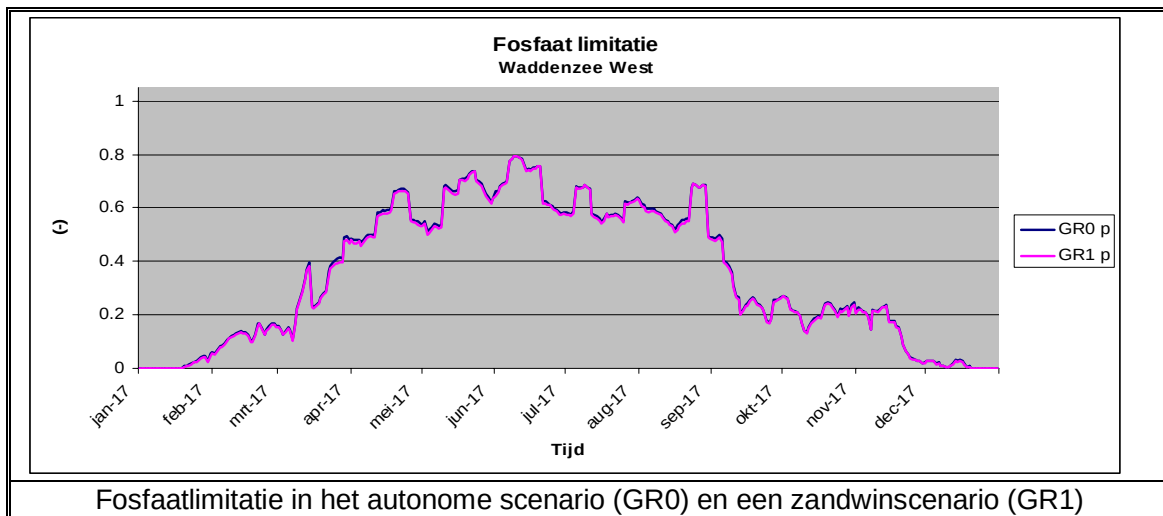
Door veranderingen in processen waaronder primaire productie, transport en de samenstelling van het fytoplankton, laten chlorofylconcentraties een gewijzigd patroon zien ten opzichte van primaire productie als gevolg van de zandwinsten scenario's. Een illustratie zijn de chlorofylconcentraties die vanuit de dominante jaargemiddelde reststroomrichting naar deze puntlocatie worden getransporteerd. Door dit transport nemen chlorofylconcentraties al vroeg in het voorjaar toe terwijl er op de locatie zelf nog geen primaire productie is. Wanneer de primaire productie start wordt de chlorofylconcentratie bepaald door de chlorofylconcentratie die op deze locatie door primaire productie ontstaat plus de chlorofylconcentraties in het aanvoerwater.

Figuur 4.14 en Figuur 4.15 geven een beeld van hoe de lichtlimitatie en de fosfaatlimitatie door zandwinning veranderen in een gebied nabij Hoek van Holland (Hollandse Kustboog 1k, zie later) en de westelijke Waddenzee in het jaar 2017.



Figuur 4.14 Licht- en fosfaatlimitatie nabij de Hoek van Holland in 2017 voor het autonome scenario (GR0) en een zandwinscenario (GR1)





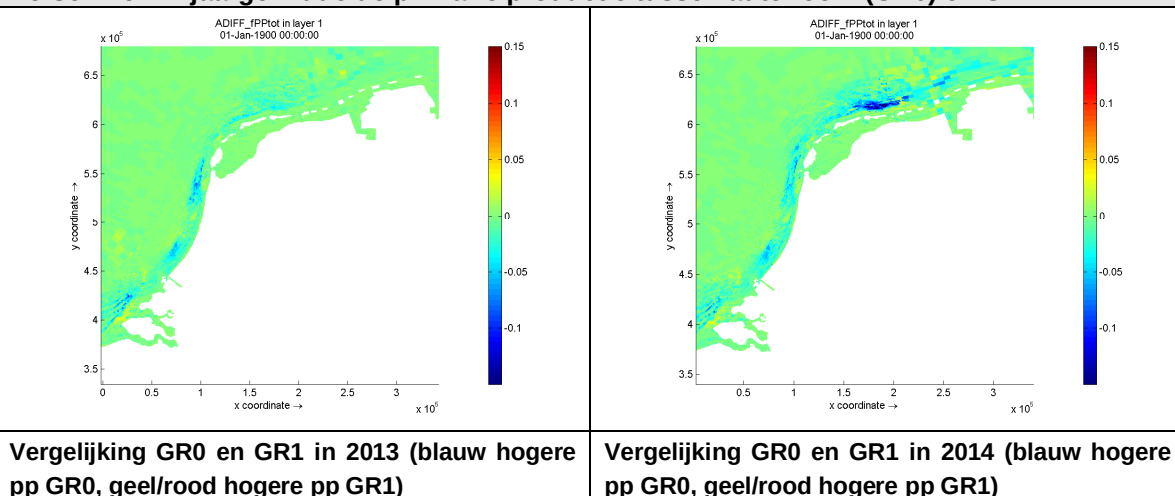
Figuur 4.15 Licht- en fosfaatlimitatie in de westelijke Waddenzee 2017 voor het autonome scenario (GR0) en een zandwinscenario (GR1)

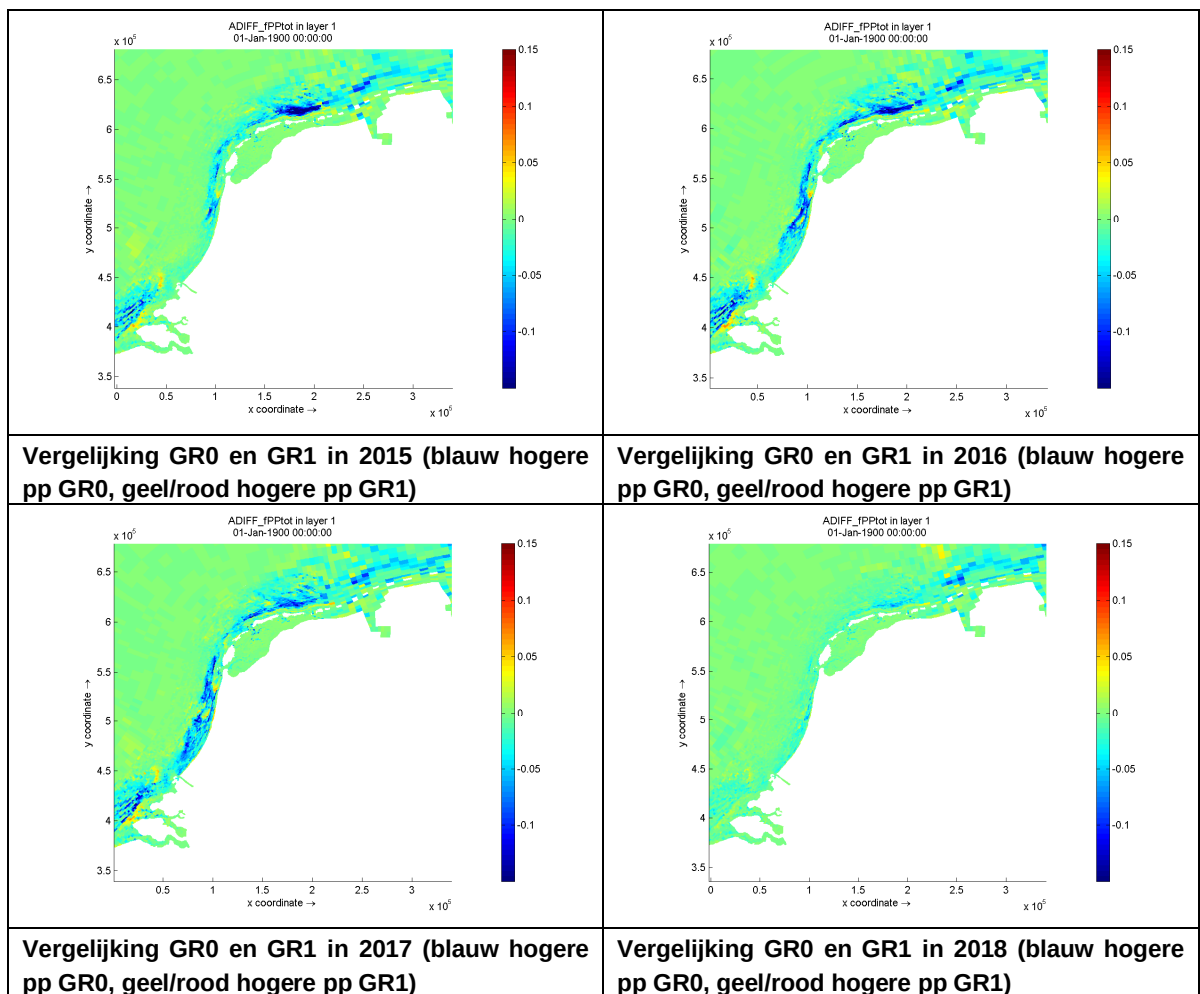
4.4.3.3 Kaartbeeld scenario's

Figuur 4.16 toont dat de effecten van zandwinning op jaargemiddelde primaire productie gedurende de zandwinning (2013 tot en met 2017) toenemen in GR1 (kustwaartse winning met een vrijwaringszone van 900 meter) in vergelijking met het autonome scenario. 2013 laat overwegend verschillen zien in jaargemiddelde primaire productie van plus en min 0.025 gC/m^2 ten opzichte van het autonome scenario. Gedurende de zandwinning lopen locale verschillen verder op tot plus 0.05 gC/m^2 of min 0.15 gC/m^2 en neemt ook het areaal toe met deze grotere verschillen. Wanneer de zandwinning is gestopt, neemt het effect hiervan geleidelijk af en blijft het langste zichtbaar ten noorden van de Waddeneilanden. Bijlage C.1 toont dezelfde figuren alleen dan voor jaargemiddelde chlorofylconcentraties.

GR3 (zeewaartse winning) en GR4 (diepe winning) laten gedurende de zandwinjaren ook een toename in verschil zien in jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties ten opzichte van het autonome scenario, zie hiervoor bijlage C.1.

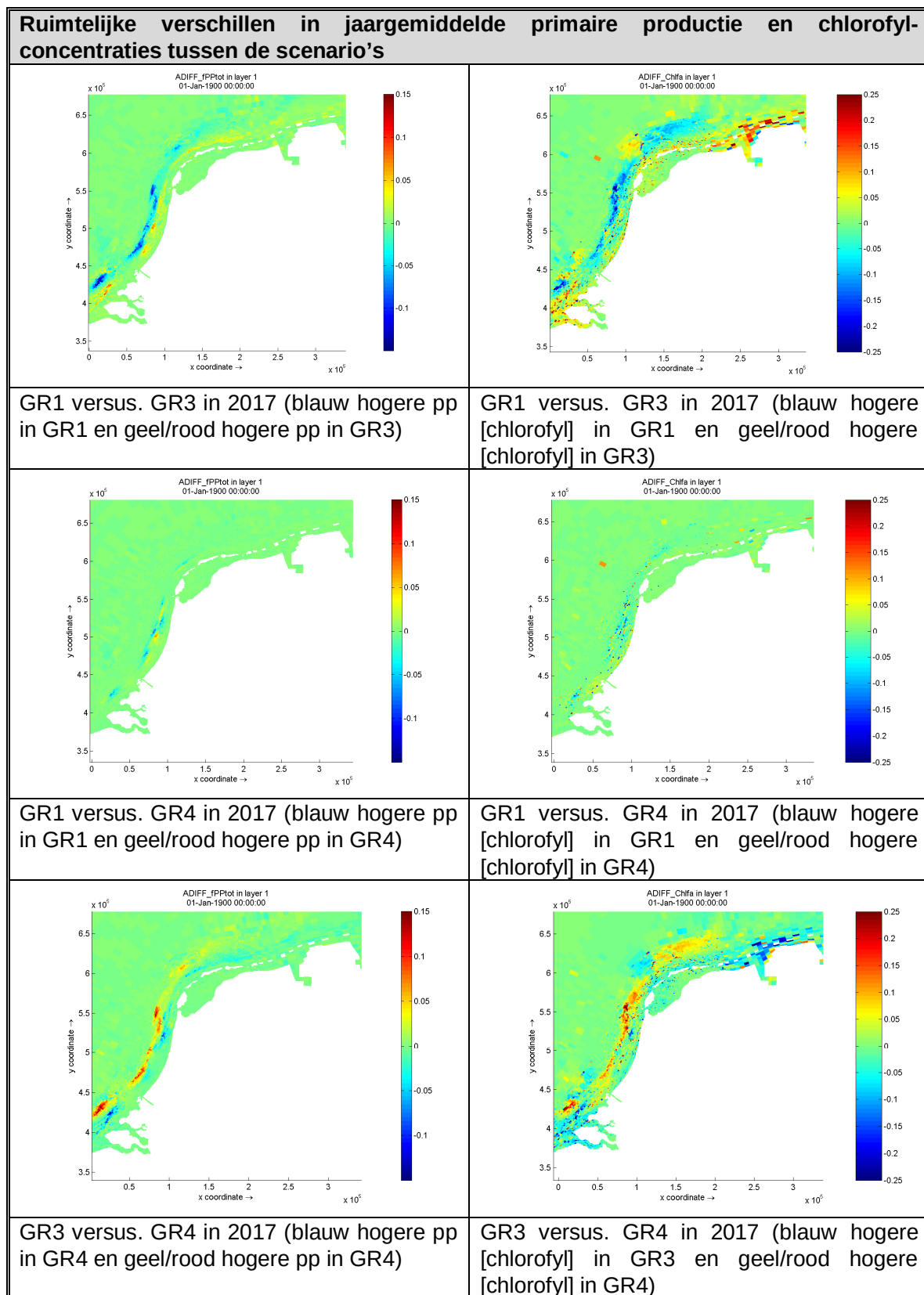
Verschillen in jaargemiddelde primaire productie tussen autonoom (GR0) en GR1.





Figuur 4.16 Verschillen in jaargemiddelde primaire productie tussen GR0 (autonome scenario) en GR1 (kustwaartse winning met een vrijwaringszone van 900 meter) voor de zandwinjaren 2013 tot en met 2017 en een jaar erna (2018).

In alle zandwinscenario's zijn grosso modo dezelfde ruimtelijke verschillen zichtbaar in af- en toenames in jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties ten opzichte van het autonome scenario. Er is beperkt verschil zichtbaar tussen het absolute effect van de zandwinning tussen de scenario's GR1, GR3 en GR4. Verschillen in jaargemiddelde primaire productie komen neer op $\pm 0.15 \text{ gC/m}^2$, maar is in de meeste gebieden minder. Jaargemiddelde chlorofylconcentraties bedragen in deze vergelijking maximaal -0.25 tot $+0.25 \text{ } \mu\text{g chlorofyl/l}$ in een aantal arealen, waarbij het grootste gedeelte van het beïnvloedde gebied effecten zo'n -0.05 tot $0.05 \text{ } \mu\text{g chlorofyl/l}$ van elkaar verschillen. De effecten van de zandwinning op jaargemiddelde chlorofylconcentraties in GR3 zijn meer zee- en noordwaarts gericht dan GR1 en GR4. Dit wordt veroorzaakt door de ruimtelijke verschillen in zandwinlocaties in de zandwinscenario's (Figuur 4.17)



Figuur 4.17 Ruimtelijke verschillen in jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties tussen de zandwinscenario's in het jaar 2017

4.4.4 Vakgebieden scenario's

Voor de Nederlandse kustwateren is een gebiedsindeling gemaakt (Bijlage B.4). Deze gebiedsindeling geeft een meer gedetailleerd inzicht in hoe de jaargemiddelde primaire productie chlorofylconcentraties in dat vak voor de zandwinscenario's ten opzichte van het autonome scenario veranderen dan de kaartbeelden in §4.4.2.3. In onderstaande tekst worden de veranderingen in jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties per vak besproken voor zandwinscenario GR1 (kustwaartse winning met een vrijwaringszone van 900 meter). De effecten van de zandwinscenario's GR3 en GR4 worden besproken aan de hand van de verschillen tussen deze scenario's en GR1. Deze keuze is gemaakt omdat de processen die de effecten van zandwinning doorvertalen naar primaire productie en chlorofylconcentraties voor de zandwinscenario's hetzelfde zijn.

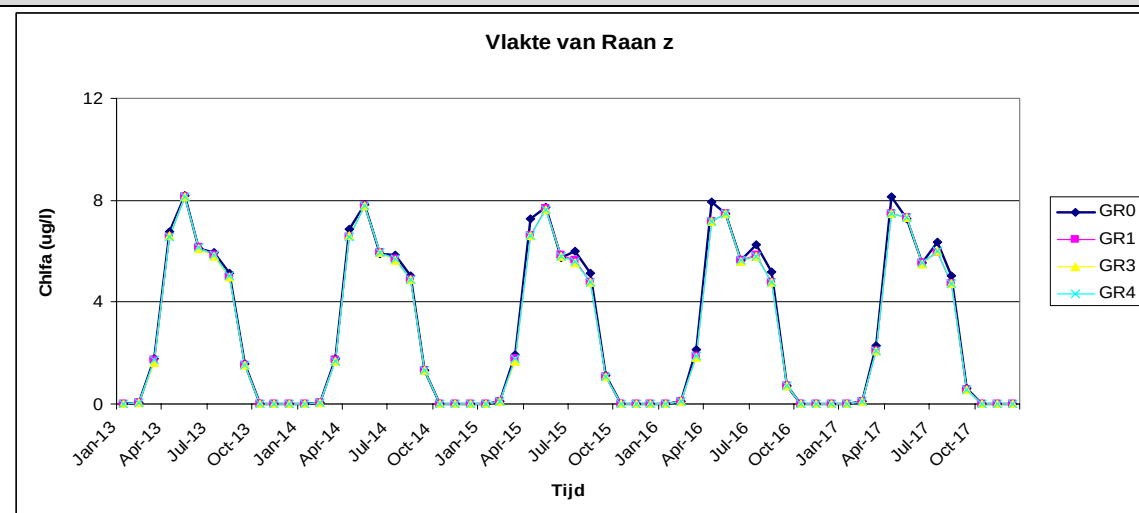
4.4.4.1 Vlake van Raan en Voordelta

GR1 sorteert door de ligging van de zandwinlocaties in combinatie met zeestroming voor de twee zuidelijk gelegen vakken (Vlake van Raan en Voordelta 1) het meeste effect in de zeewaarts gelegen delen van deze vakken (aangegeven met achtervoeging z). De trends in jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties zijn in beide vakken vergelijkbaar. Verschillen tussen jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties komen voort uit transport- en fysiologische processen van fytoplanktongroei en –sterfte.

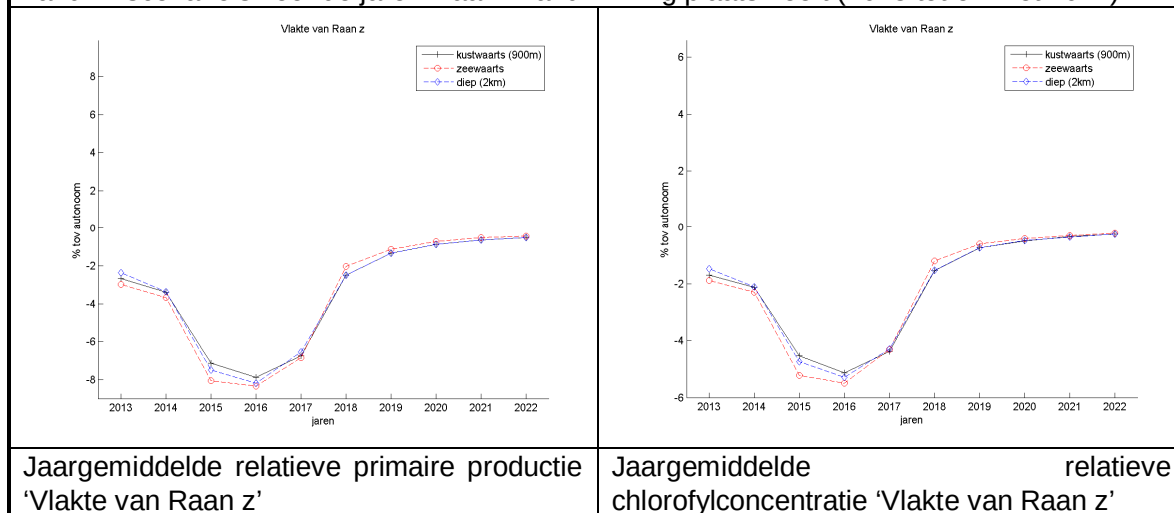
De effecten in Vlake van Raan z door de tijd genomen groter dan in Voordelta 1z: afname in jaargemiddelde primaire productie van 2% in 2013 voor beide vakken en in 2016 7.9% voor Vlake van Raan z en 5.1% voor Voordelta 1z ten opzichte van het autonome scenario (Figuur 4.18)

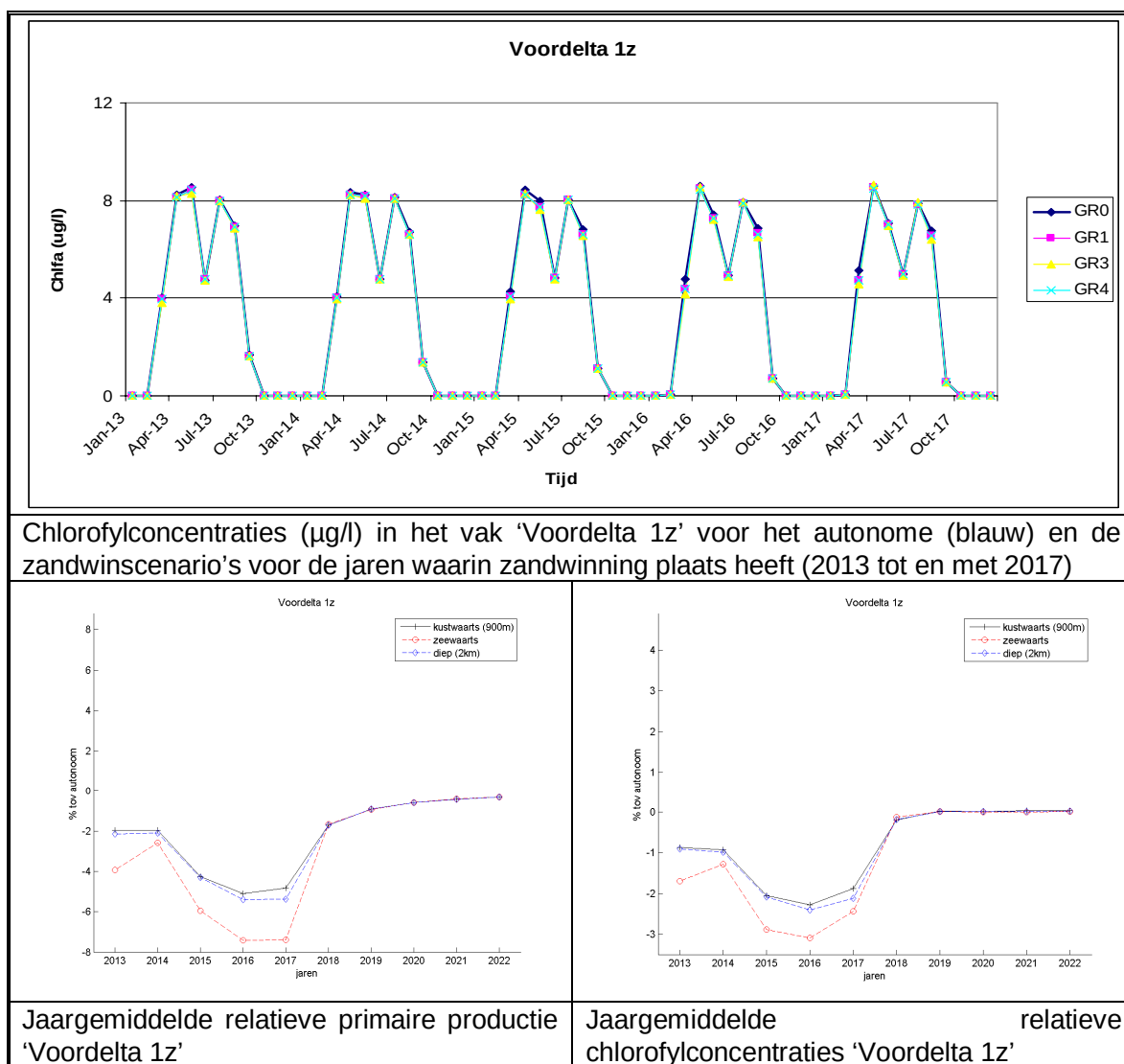
Jaargemiddelde chlorofylconcentraties zijn in 2013 2% lager in Vlake van Raan z en 1% lager in Voordelta 1z in vergelijking met het autonome scenario. Gedurende de zandwinperiode nemen jaargemiddelde chlorofylconcentraties verder af tot maximaal 5.1% voor Vlake van Raan z en 2.3% voor Voordelta 1z in 2016, respectievelijk. Het meeste effect wordt in 2016 gesorteerd doordat in dit jaar de zandwinningen in deze vakken het grootste is. Vanaf 2018 is er nauwelijks tot geen verschil meer te zien ten opzichte van autonoom (Figuur 4.18, Tabel 4.4 en Bijlage C.1).

Chlorofyltijdreeks en relatieve veranderingen in jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties van de zandwinsten scenario's ten opzichte van het autonome scenario.



Chlorofylconcentraties ($\mu\text{g/l}$) in het vak 'Vlakte van Raan z' voor het autonome (blauw) en de zandwinsten scenario's voor de jaren waarin zandwinning plaats heeft (2013 tot en met 2017)





Figuur 4.18 Absolute chlorofylconcentraties (µg/l) tijdens de zandwinningsperiode en relatieve jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties (2013 tot en met 2022) voor de drie scenario's ten opzichte van autonoom voor 'Vlakte van Raan z' en 'Voordelta 1z'.

Het vak Voordelta 2 laat een tegengesteld effect van de zandwinning zien in het kustwaarts (achtervoeging k) en het zeewaarts gelegen gebied. Het kustwaartse gebied toont afnamen in jaargemiddelde primaire productie van 0.9% in 2013 oplopend tot 2.6% in 2017 in vergelijking met het autonome scenario (Figuur 4.19).

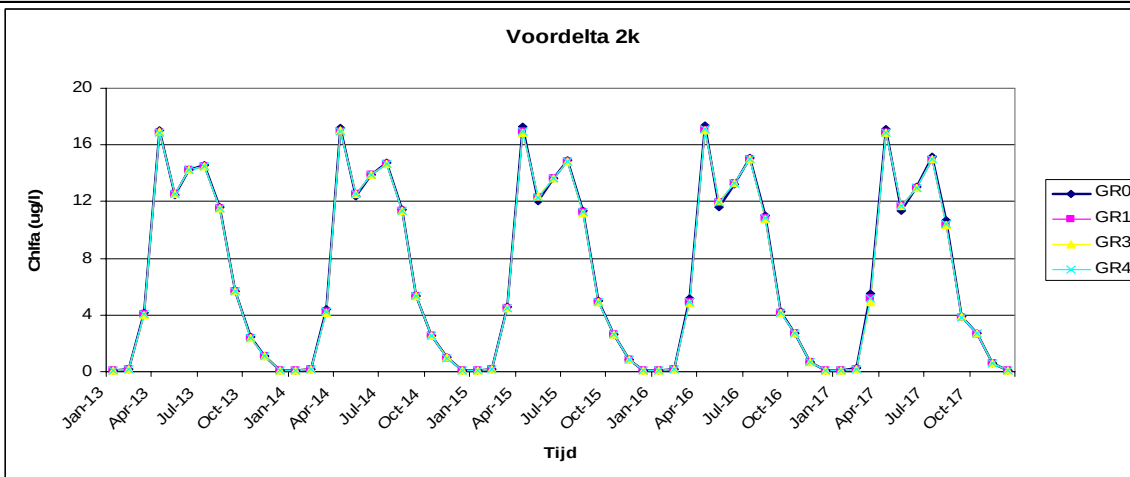
Jaargemiddelde chlorofylconcentraties zijn in 2013 0.4% minder ten opzichte van het autonome scenario en nemen verder af met 1.3% in 2017. Hierna neemt het verschil met autonoom af (Figuur 4.19).

Het zeewaartse gebied heeft een afname in jaargemiddelde primaire productie en een toename in jaargemiddelde chlorofylconcentraties ten opzichte van het autonome scenario. In 2013 is de primaire productie 0.1% en in 2017 0.4% lager dan het autonome scenario.

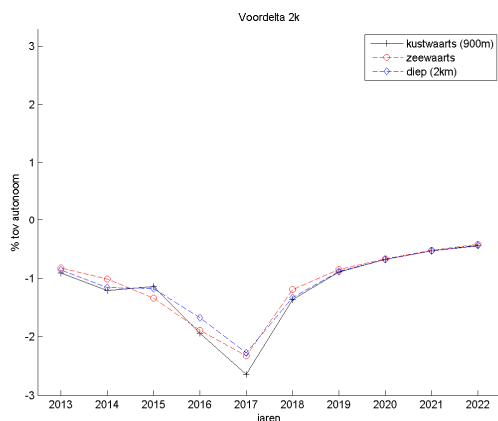
Jaargemiddelde chlorofylconcentraties zijn in 2013 0.5% en maximaal 1.6%, in 2016, hoger dan in het autonome scenario. Vanaf 2018 is er in dit vak nauwelijks meer verschil tussen het zandwinstscenario GR1 en het autonome scenario (Figuur 4.19, Tabel 4.4 en Bijlage C.1).

De schijnbare tegenstelling in effect in Voordelta 2 wordt veroorzaakt door verandering in limitaties van fytoplanktongroei: een verandering in nutriëntsamenstelling van de waterkolom leidt tot een wijziging in limitaties voor primaire productie en daardoor tot een andere algensoortsamenstelling. Wanneer de algensoortsamenstelling verandert, wijzigt de koolstof/chlorofylratio. Verder kunnen ook verhoogde chlorofylconcentraties ten opzichte van het autonome scenario (door het op een andere plaats benutten van nutriënten) naar dit vak getransporteerd zijn.

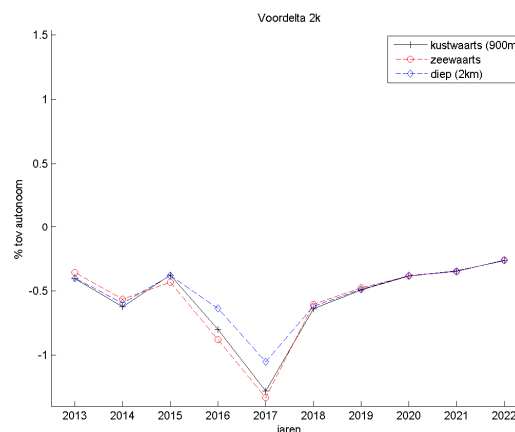
Relatieve veranderingen in jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties van de zandwinstscenario's ten opzichte van het autonome scenario.



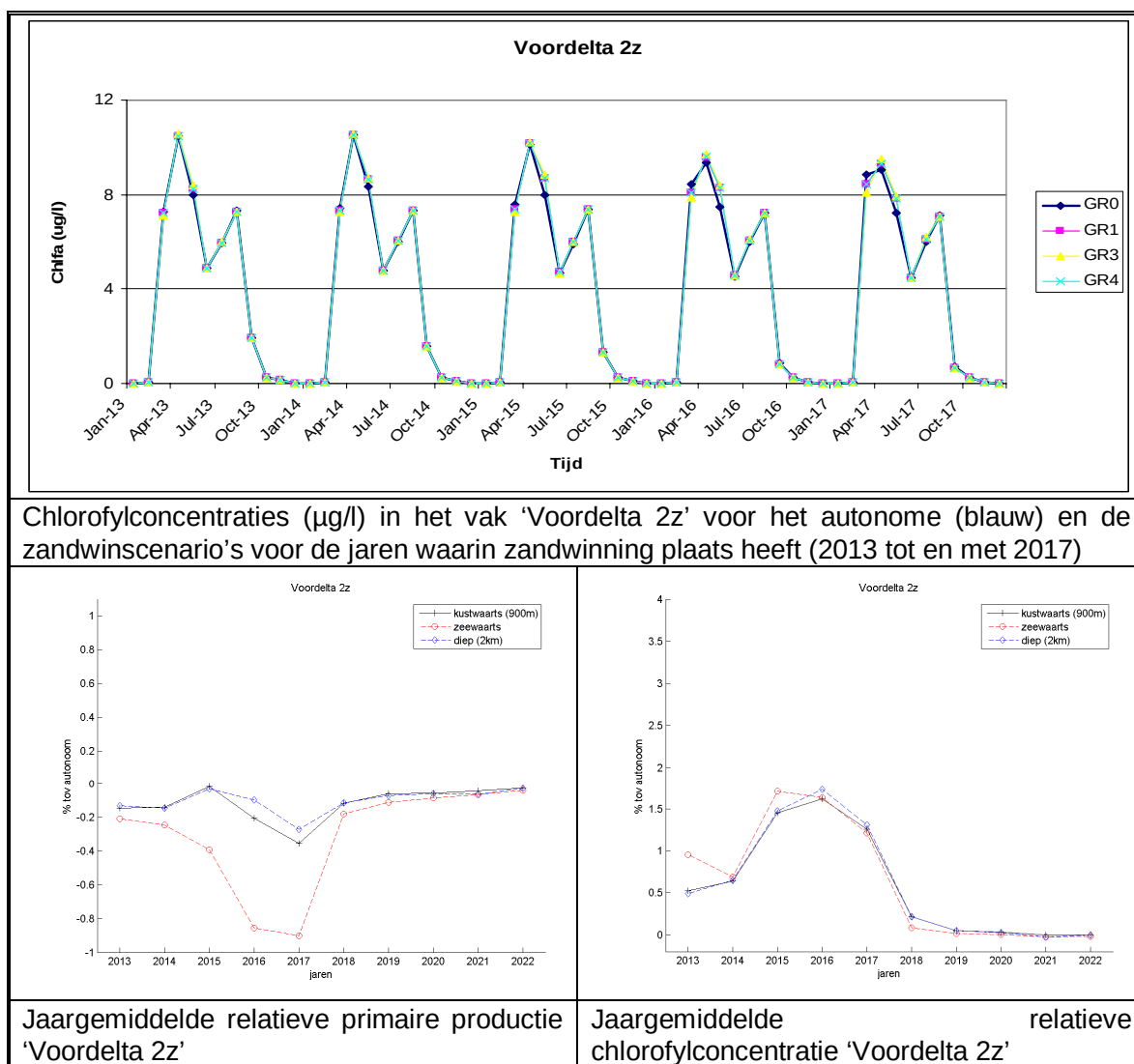
Chlorofylconcentraties (µg/l) in het vak 'Voordelta 2k' voor het autonome (blauw) en de zandwinstscenario's voor de jaren waarin zandwinning plaats heeft (2013 tot en met 2017)



Jaargemiddelde relatieve primaire productie 'Voordelta 2k'



Jaargemiddelde relatieve chlorofylconcentratie 'Voordelta 2k'



Figuur 4.19 Absolute chlorofylconcentraties (µg/l) tijdens de zandwinningsperiode en relatieve jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties voor de drie scenario's ten opzichte van autonoom voor Voordelta 2k en 2z.

4.4.4.2 Hollandse Kustboog

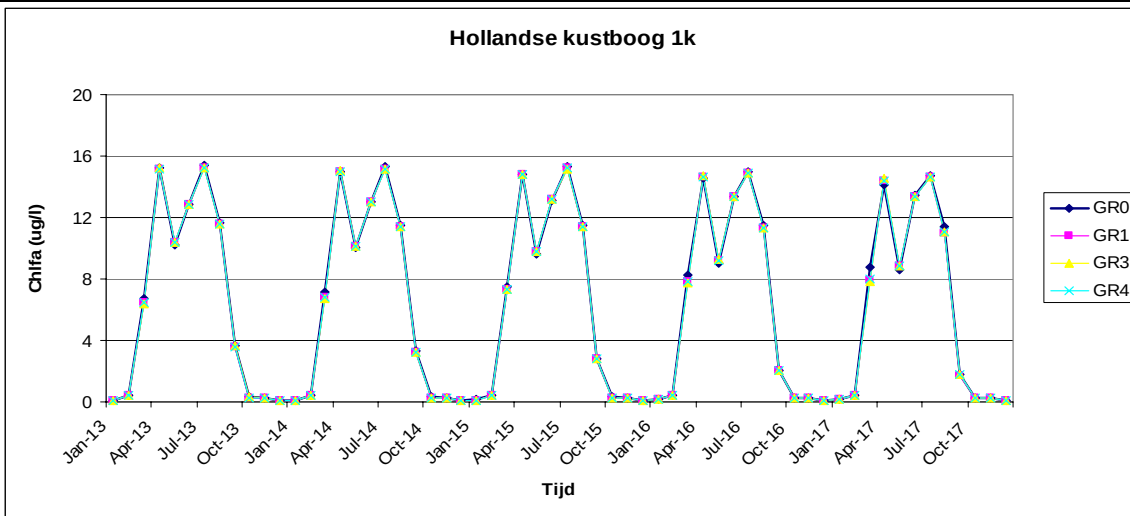
Verder noordelijk, ter hoogte van de Hollandse Kustboogvakken, wordt het verschil met het autonome scenario wisselvalliger doordat een aantal processen sterker met elkaar gaan interfereren: de chlorofyl- en nutriëntconcentraties in het aanvoerende water zijn anders dan in het autonome scenario en de zandwinning in deze vakken zelf leidt ook tot verandering in fytoplanktongroei.

Samen leiden de veranderingen in processen en aanvoer ten opzichte van het autonome scenario tot een afname in jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties van 1.7% en 0.7% in Hollandse Kustboog 1k en 1.6% en 0.2% in Hollandse Kustboog 2k in 2013, respectievelijk. Hollandse Kustboog 3k toont in 2013 een afname van 0.5% in jaargemiddelde primaire productie en een toename van 0.3% in jaargemiddelde chlorofylconcentraties.

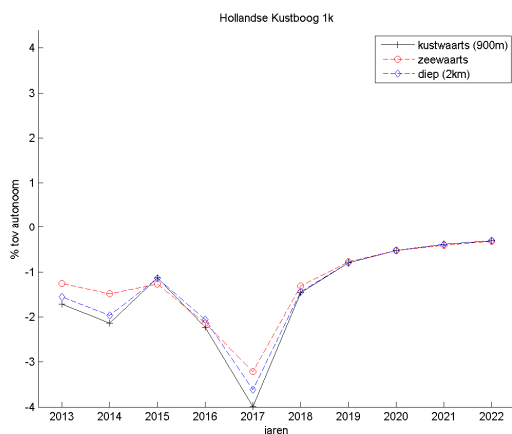
In 2017 wordt door het zandwinsten scenario het grootste effect gesorteerd in jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties in vergelijking met het autonome scenario.

Hierna nemen de effecten geleidelijk af. Jaargemiddelde primaire productie neemt in Hollandse Kustboog 1k dan af met 4%, in 2k met 4.3% en met 3.5% in 3k. Jaargemiddelde chlorofylconcentraties nemen in Hollandse Kustboog 1k met 1.6% af en in 2k met 0.7%. Hollandse Kustboog 3k laat een toename zien van 0.4% (Figuur 4.20, Tabel 4.4 en Bijlage C.1)

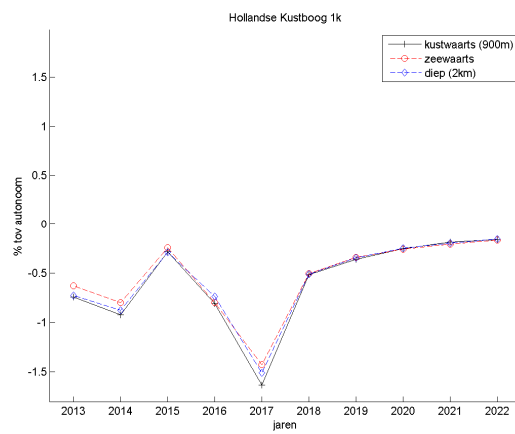
Relatieve veranderingen in jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties van de zandwinsten scenario's ten opzichte van het autonome scenario.



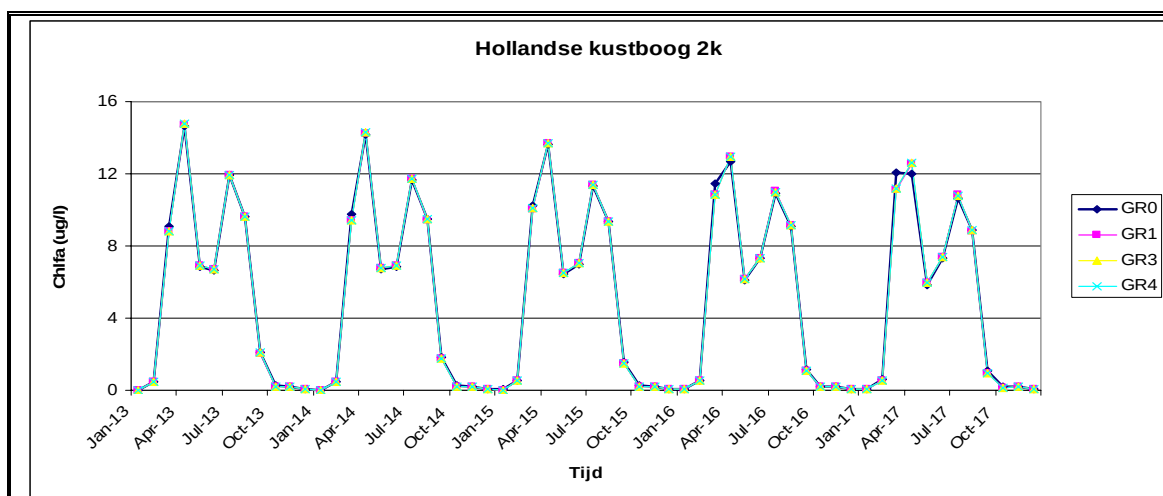
Chlorofylconcentraties ($\mu\text{g/l}$) in het vak 'Hollandse Kustboog 1k' voor het autonome (blauw) en de zandwinsten scenario's voor de jaren waarin zandwinning plaats heeft (2013 tot en met 2017)



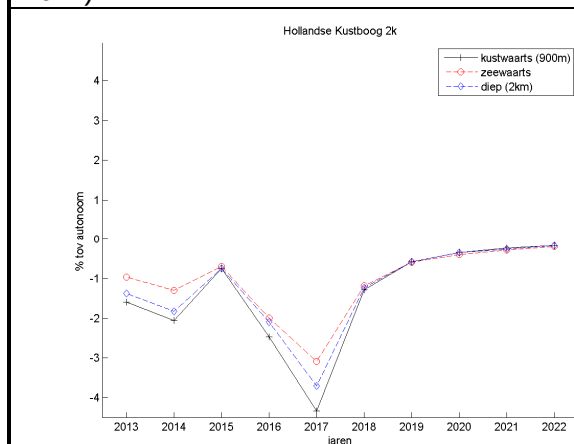
Jaargemiddelde relatieve primaire productie Hollandse Kustboog 1k.



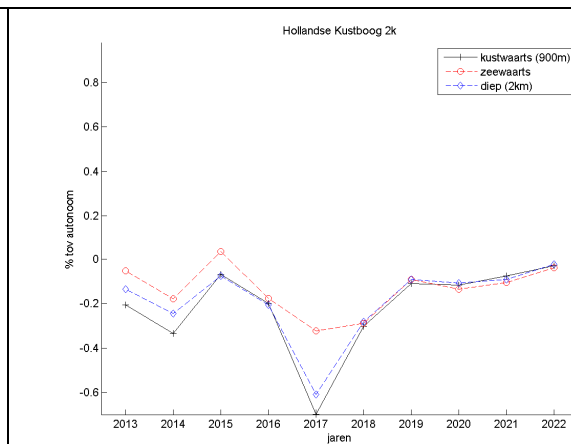
Jaargemiddelde relatieve chlorofylconcentraties Hollandse Kustboog 1k.



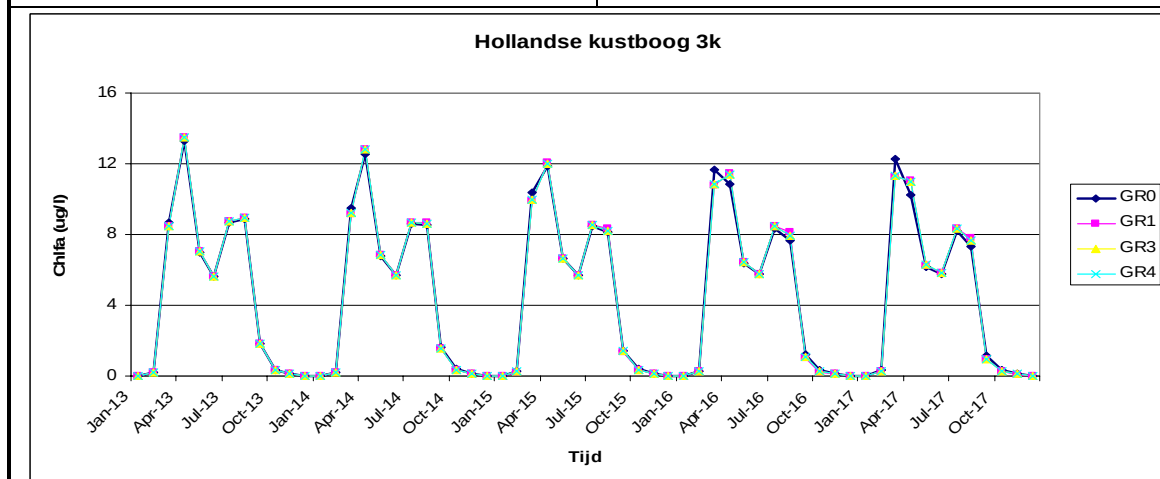
Chlorofylconcentraties ($\mu\text{g/l}$) in het vak 'Hollandse Kustboog 2k' voor het autonome (blauw) en de zandwinscenario's voor de jaren waarin zandwinning plaats heeft (2013 tot en met 2017)



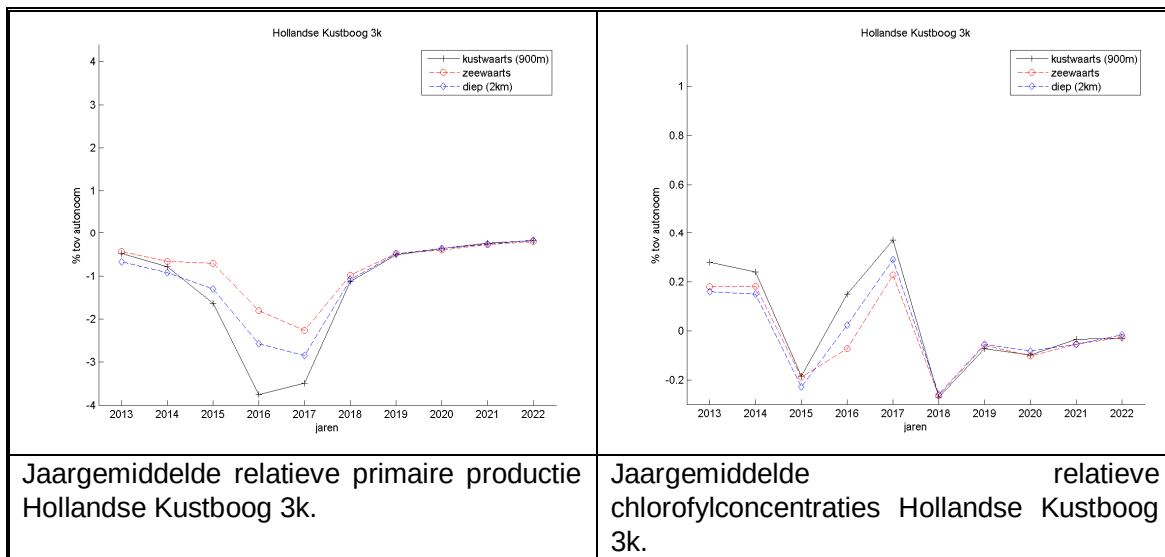
Jaargemiddelde relatieve primaire productie
Hollandse Kustboog 2k.



Jaargemiddelde
relatieve
chlorofylconcentraties
Hollandse Kustboog
2k.



Chlorofylconcentraties ($\mu\text{g/l}$) in het vak 'Hollandse Kustboog 3k' voor het autonome (blauw) en de zandwinscenario's voor de jaren waarin zandwinning plaats heeft (2013 tot en met 2017)

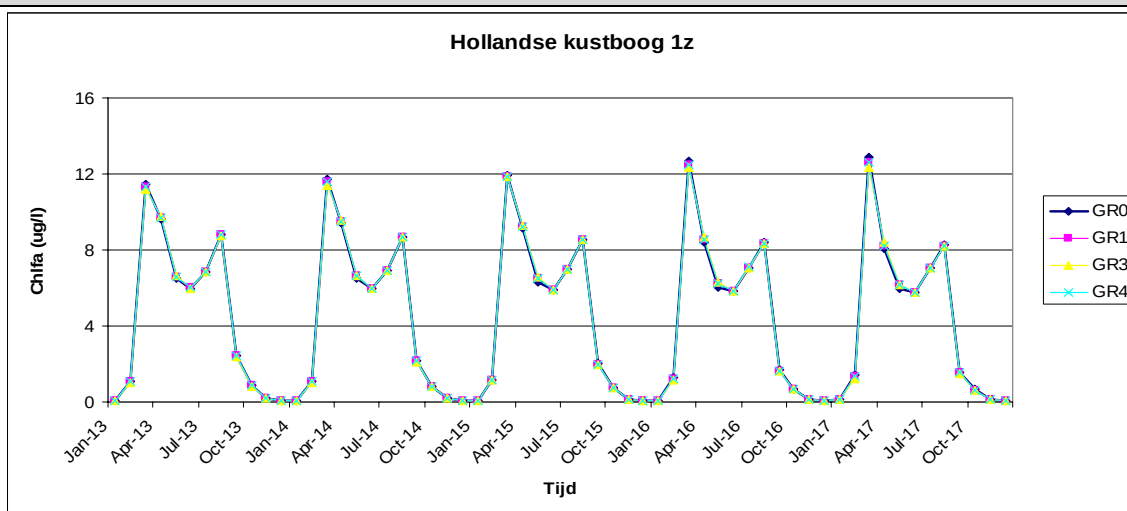


Figuur 4.20 Absolute chlorofylconcentraties ($\mu\text{g/l}$) tijdens de zandwinningsperiode en jaargemiddelde relatieve primaire productie en chlorofylconcentraties voor de drie scenario's ten opzichte van autonoom voor Hollandse Kustboog 1k, 2k en 3k

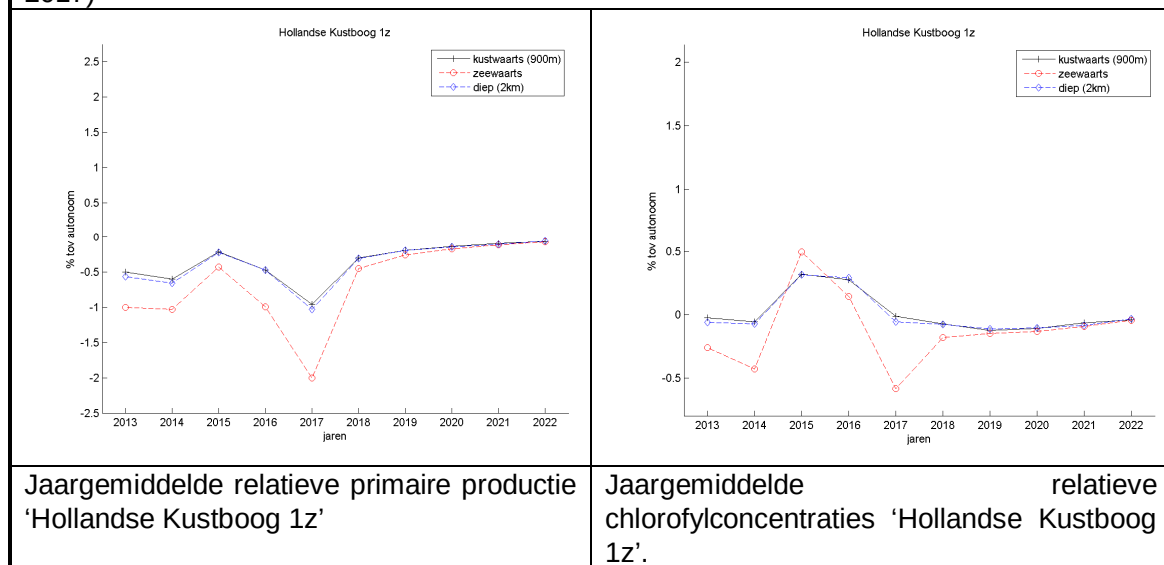
Het zeewaartse transect van de Hollandse Kustboog (1z, 2z en 3z) toont andere trends in af- en toenames in jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties dan het kustwaartse transect. Hollandse Kustboog 1z en 2z laten een afname in jaargemiddelde primaire productie zien van 0.5% en 0.2% in 2013, respectievelijk. In 2017 neemt als gevolg van zandwinning de jaargemiddelde primaire productie in Hollandse Kustboog 1z verder af met 1% en in 2z met 1.2% ten opzichte van het autonome scenario. Hollandse Kustboog 3z laat in 2013 een afname in jaargemiddelde primaire productie van 0.1% zien en een maximale afname van 1.2% in 2016.

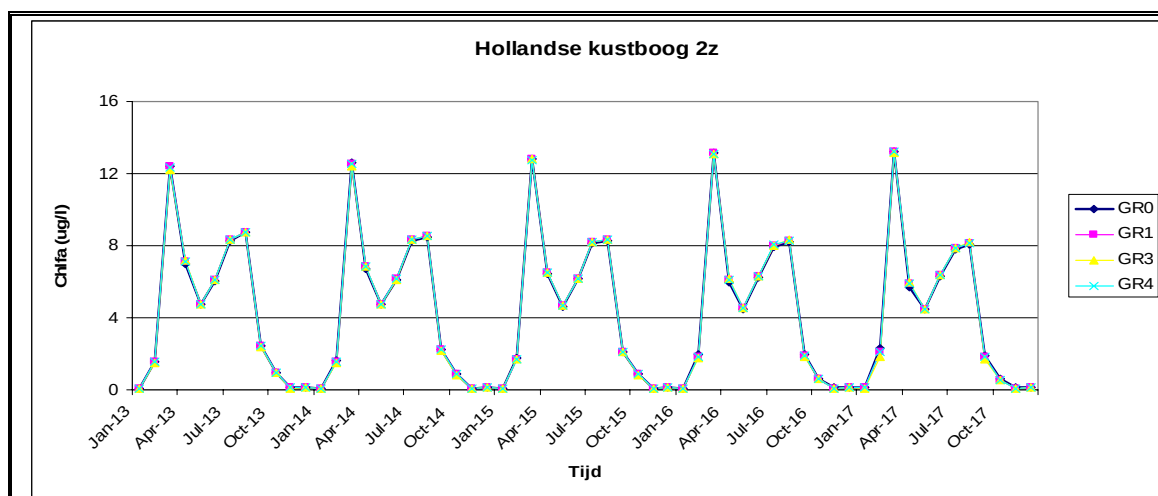
De jaargemiddelde chlorofylconcentratie is voor Hollandse Kustboog 1z in 2013 gelijk aan die van het autonome scenario. In 2016 toont deze concentratie zijn maximale verschil ten opzichte van het autonome scenario: +0.3%. Hollandse Kustboog 2z laat in de eerste jaren van de zandwinning een constant effect zien: jaargemiddelde chlorofylconcentraties zijn 0.2% hoger dan in het autonome scenario. Aan het eind van de zandwinningsperiode loopt het verschil op tot +0.4% om vervolgens geleidelijk weer gelijk te worden aan het autonome scenario. Het vak Hollandse Kustboog 3z toont aan het begin van de zandwinning een toename van 0.1% in jaargemiddelde chlorofylconcentraties ten opzichte van het autonome scenario, maar tegen het einde van de zandwinningsperiode zijn de concentraties 0.2% lager (Figuur 4.21, Tabel 4.4 en Bijlage C.1).

Relatieve veranderingen in jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties van de zandwinsten scenario's ten opzichte van het autonome scenario.

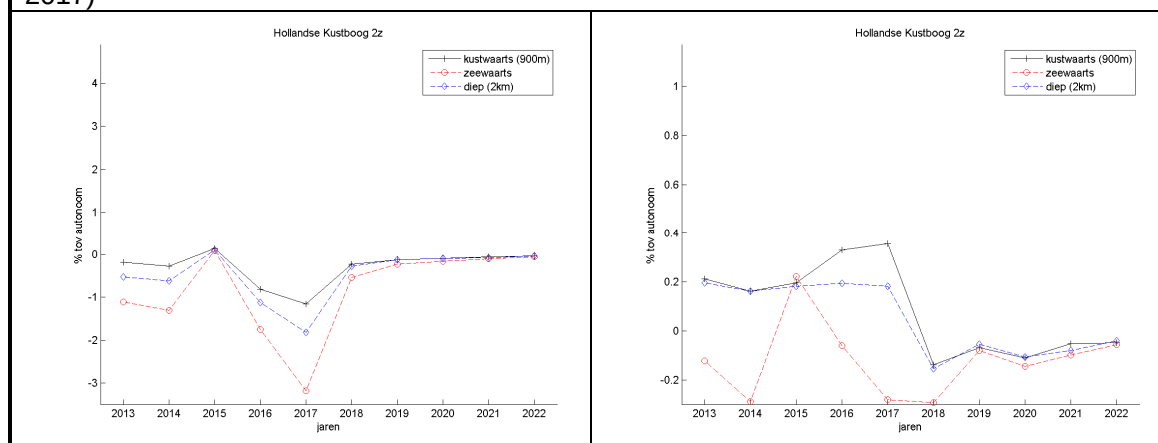


Chlorofylconcentraties ($\mu\text{g/l}$) in het vak "Hollandse Kustboog 1z" voor het autonome (blauw) en de zandwinsten scenario's voor de jaren waarin zandwinning plaats heeft (2013 tot en met 2017)



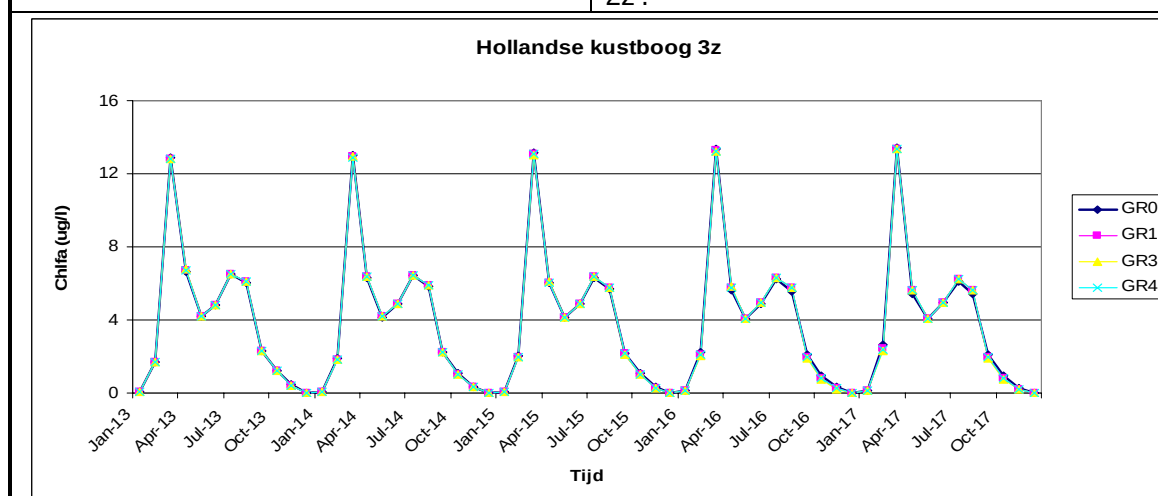


Chlorofylconcentraties ($\mu\text{g/l}$) in het vak 'Hollandse Kustboog 2z' voor het autonome (blauw) en de zandwinscenario's voor de jaren waarin zandwinning plaats heeft (2013 tot en met 2017)

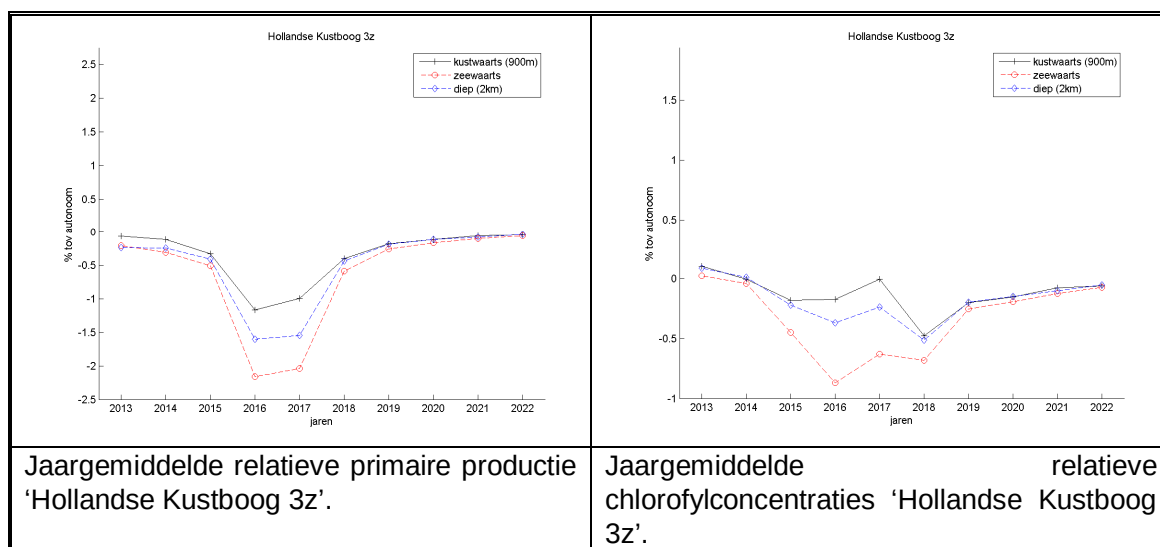


Jaargemiddelde relatieve primaire productie 'Hollandse Kustboog 2z'.

Jaargemiddelde relatieve chlorofylconcentraties 'Hollandse Kustboog 2z'.



Chlorofylconcentraties ($\mu\text{g/l}$) in het vak 'Hollandse Kustboog 3z' voor het autonome (blauw) en de zandwinscenario's voor de jaren waarin zandwinning plaats heeft (2013 tot en met 2017)



Figuur 4.21 Absolute chlorofylconcentraties ($\mu\text{g/l}$) tijdens de zandwinningsperiode en relatieve jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties voor de drie scenario's ten opzichte van autonoom voor Voordelta 2k en 2z.

4.4.4.3 Noordzeekustzone

De vakken van 'Noordzeekustzone' laten mede door de locaties van de zandwinningen een variërend beeld zien. In Noordzeekustzone 1k vindt een zandwinning met ruimtelijk een grote omvang plaats en laat daardoor een afname in jaargemiddelde primaire productie van 1.1% in 2013 en een maximale afname van 2.8% in 2016 (in dit jaar worden de meeste kuubs zand gewonnen) zien. Jaargemiddelde chlorofylconcentraties nemen in dit vak in 2013 af met 0.6% en in 2016 met 1.4%. Hierna nemen de verschillen van de zandwinning ten opzichte van het autonome scenario geleidelijk af (Figuur 4.22).

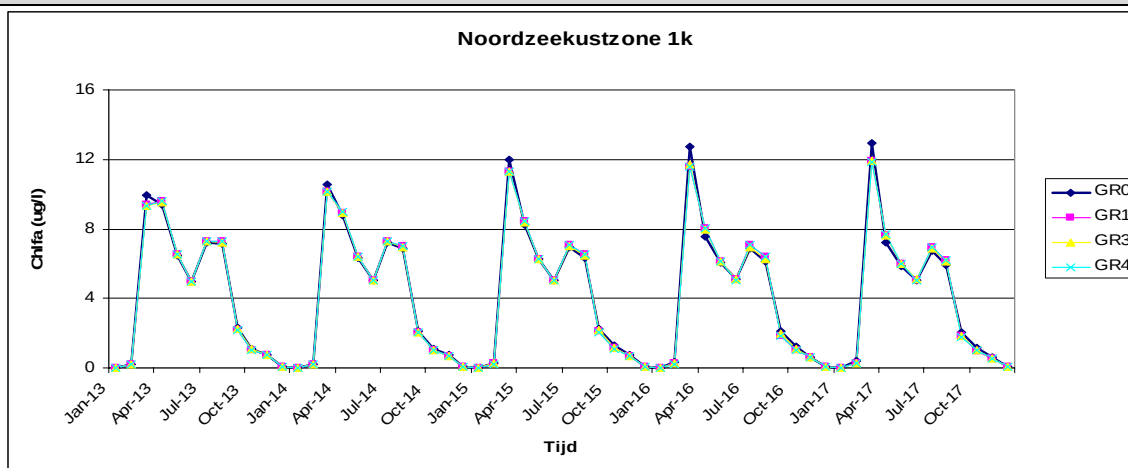
Noordzeekustzone 2k laat een afname van jaargemiddelde primaire productie van 0.9% in 2013 en van 2.3% in 2016 en 2017 zien. De jaargemiddelde chlorofylconcentratie neemt ten opzichte van het autonome scenario in 2013 met 0.8% af en in 2017 met 3.1%. Nadat de zandwinning is gestopt, is in 2018 nog een afname van 1.4% in jaargemiddelde chlorofylconcentratie te zien, maar in de jaren daarna zijn de verschillen met het autonome scenario steeds kleiner (Figuur 4.22, Tabel 4.4 en Bijlage C.1).

Jaargemiddelde primaire productie neemt in Noordzeekustzone 3k in 2013 af met 0.5% en in 2016 en 2017 met 2.8% in vergelijking met het autonome scenario. Jaargemiddelde chlorofylconcentraties zijn in 2013 0.2% lager en in 2017 1.4% lager dan in het autonome scenario. In 2018 is nog een afname in jaargemiddelde chlorofylconcentraties te zien van 0.9%, maar het verschil met autonoom wordt in de jaren daarna steeds geringer (Figuur 4.22, Tabel 4.4 en Bijlage C.1). Het effect van de zandwinning in Noordzeekustzone 3k is kleiner dan in Noordzeekustzone 2k doordat de noordoostelijke stroming het slib ter hoogte van 3k doet uitwaaiëren.

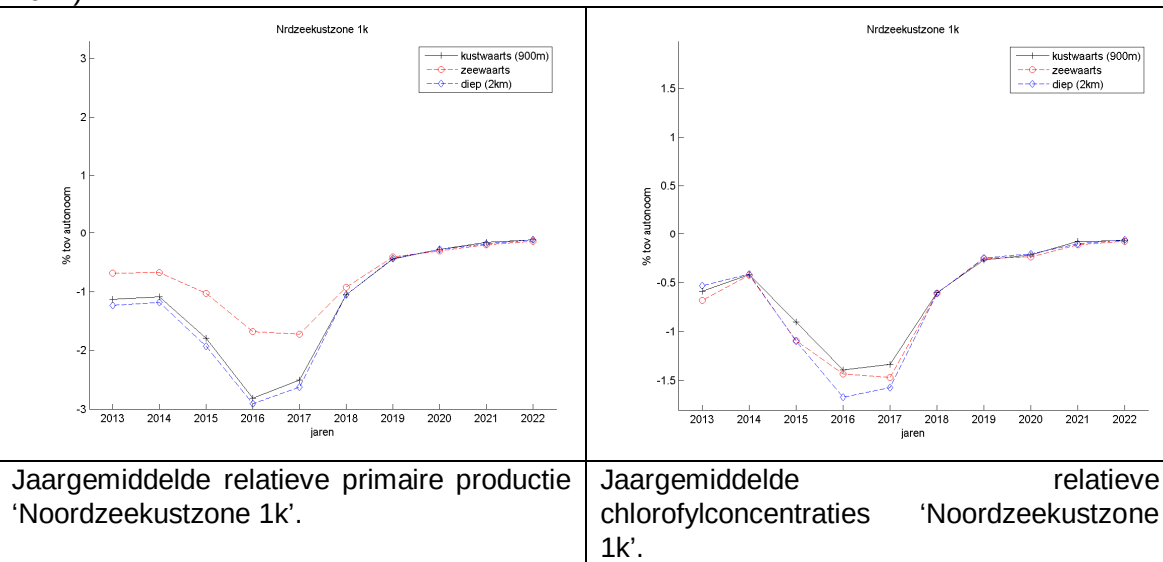
De invloed van transport wordt door deze drie vakken goed geïllustreerd: het effect van de zandwinning in zowel jaargemiddelde primaire productie als in jaargemiddelde chlorofylconcentraties schuift richting het noorden op in de tijd.

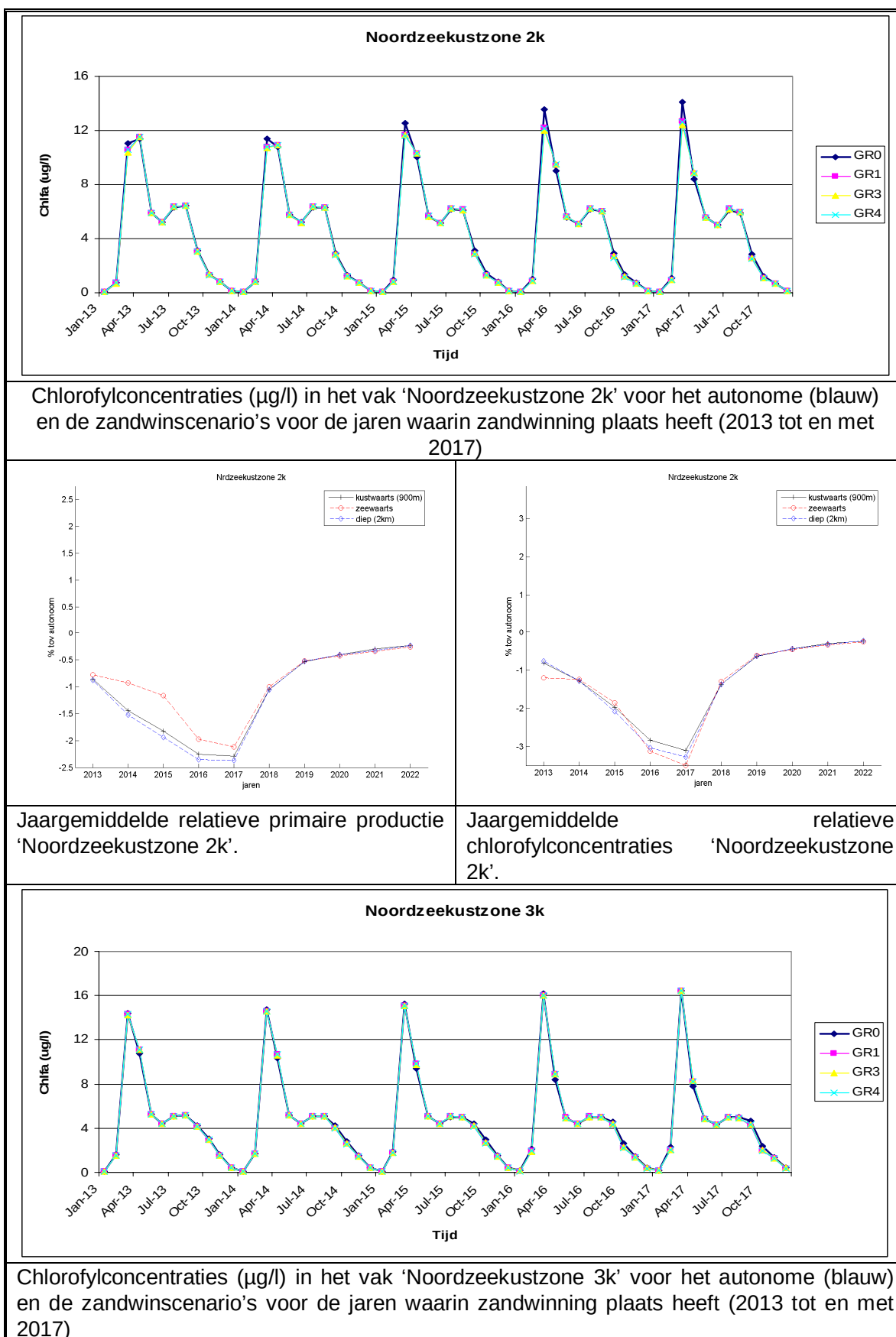
De zeewaarts gelegen gebieden Noordzeekustzone 1z, 2z en 3z laten min of meer hetzelfde patroon zien als de bijbehorende kustwaarts gelegen gebieden, maar meer afgezwakt en – gevlakt (zie tabel 4.3 en bijlage A1).

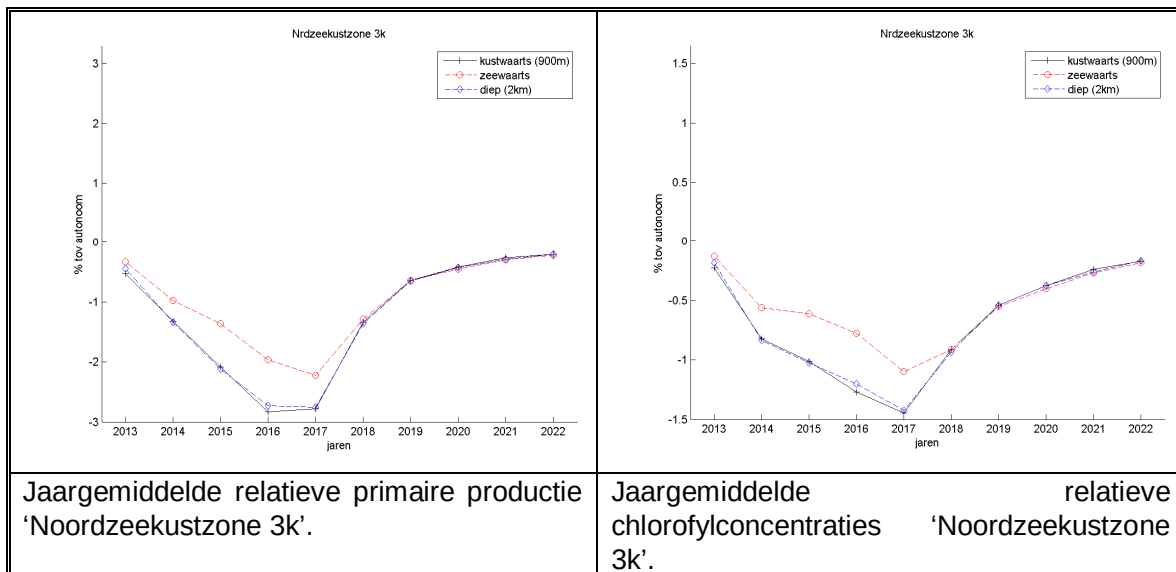
Relatieve veranderingen in jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties van de zandwinsten scenario's ten opzichte van het autonome scenario.



Chlorofylconcentraties (µg/l) in het vak 'Noordzeekustzone 1k' voor het autonome (blauw) en de zandwinsten scenario's voor de jaren waarin zandwinning plaats heeft (2013 tot en met 2017)

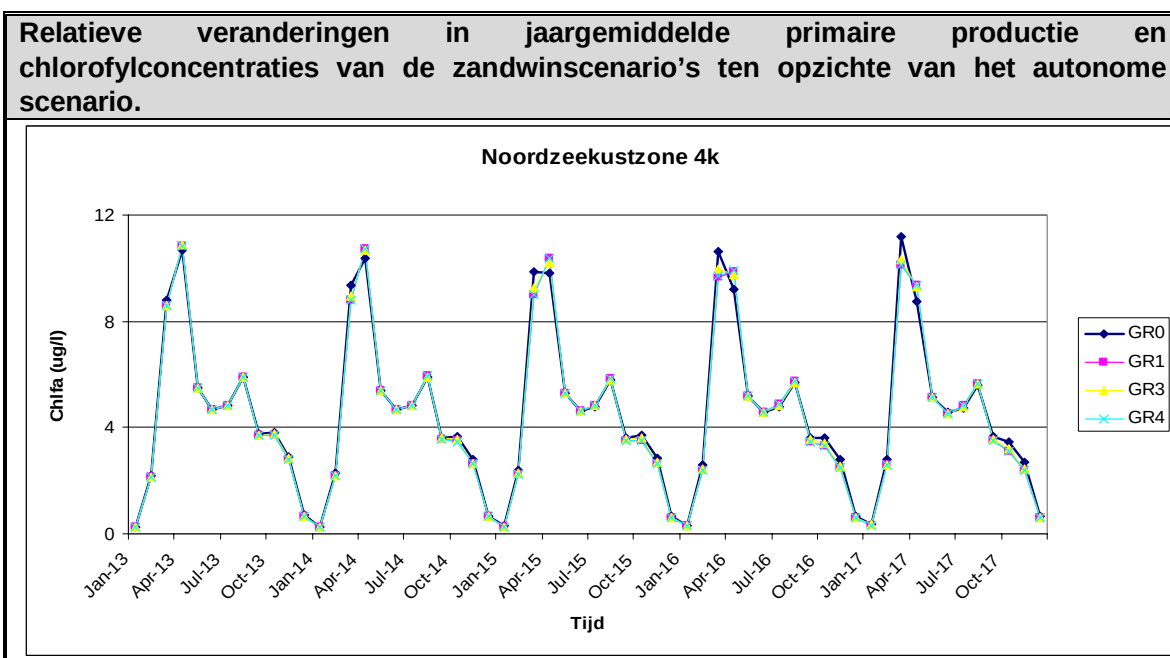




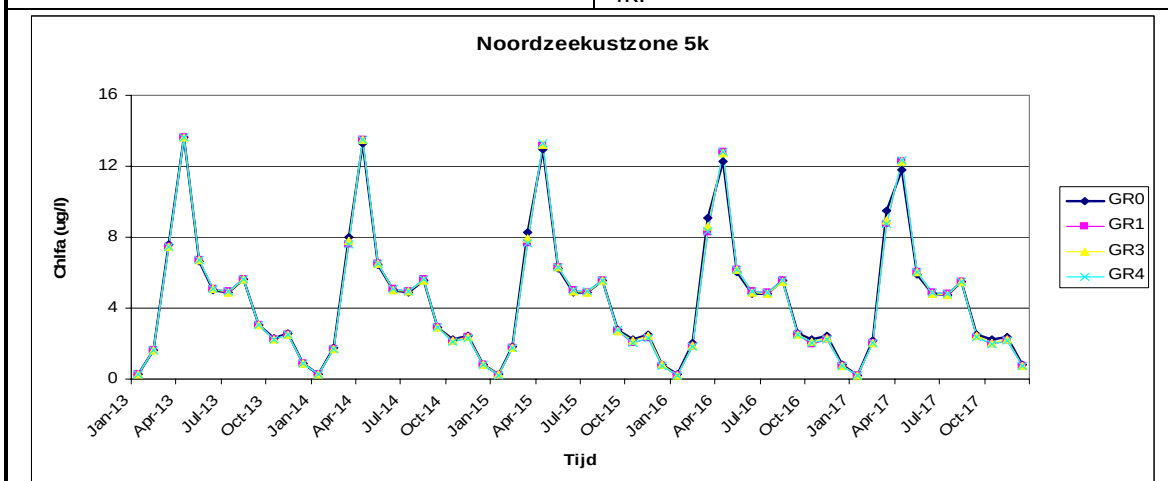
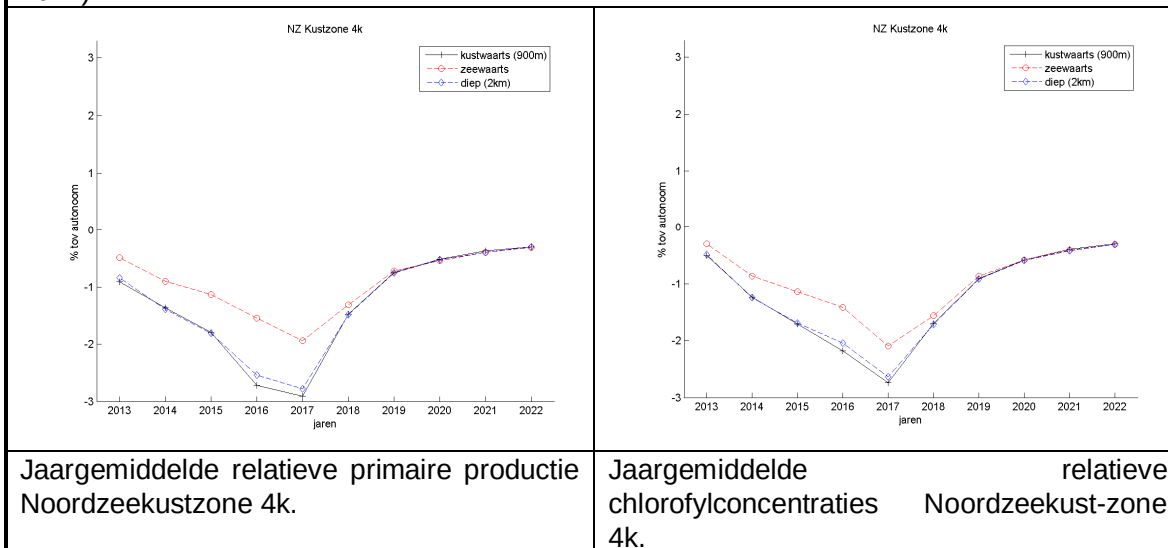


Figuur 4.22 Absolute chlorofylconcentraties ($\mu\text{g/l}$) tijdens de zandwinningsperiode en jaargemiddelde relatieve primaire productie en chlorofylconcentraties voor de drie scenario's ten opzichte van autonoom voor Noordzeekustzone 1k, 2k en 3k.

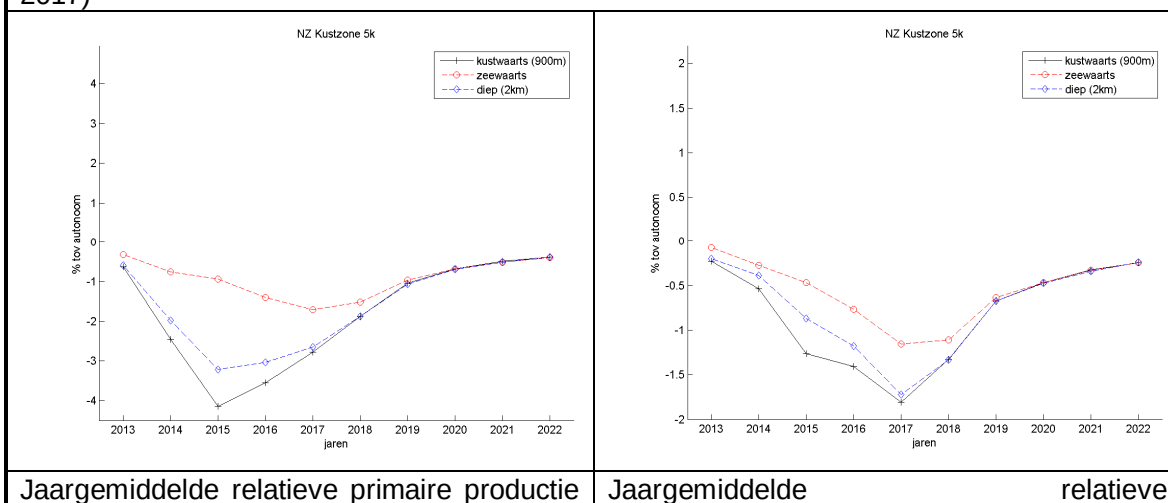
De effecten van zandwinning op jaargemiddelde primaire productie in de Noordzeekustvakken 4k, 5k en 6k laten naast het effect van lokale zandwinnings in deze vakken ook een door transport veroorzaakt doorijlend effect van de zandwinning zien. In 2013 neemt de jaargemiddelde primaire productie af met 0.9% in 4k en 0.6% in 5k. In 6k is de jaargemiddelde primaire productie gelijk aan die van het autonome scenario. In 2017 is de jaargemiddelde primaire productie ten opzichte van het autonome scenario vermindert met 2.9%, 2.8% en 1.1%, respectievelijk en in 2018 met 1.5%, 1.9% en 0.9%. Voor jaargemiddelde chlorofylconcentraties zijn dezelfde trends zichtbaar, alleen zijn de afnamen minder fors, met uitzondering van 6k. Hier is de afname in jaargemiddelde chlorofylconcentratie in 2017 1% en in 2018 1.2% (Figuur 4.23, Tabel 4.4 en Bijlage C.1).

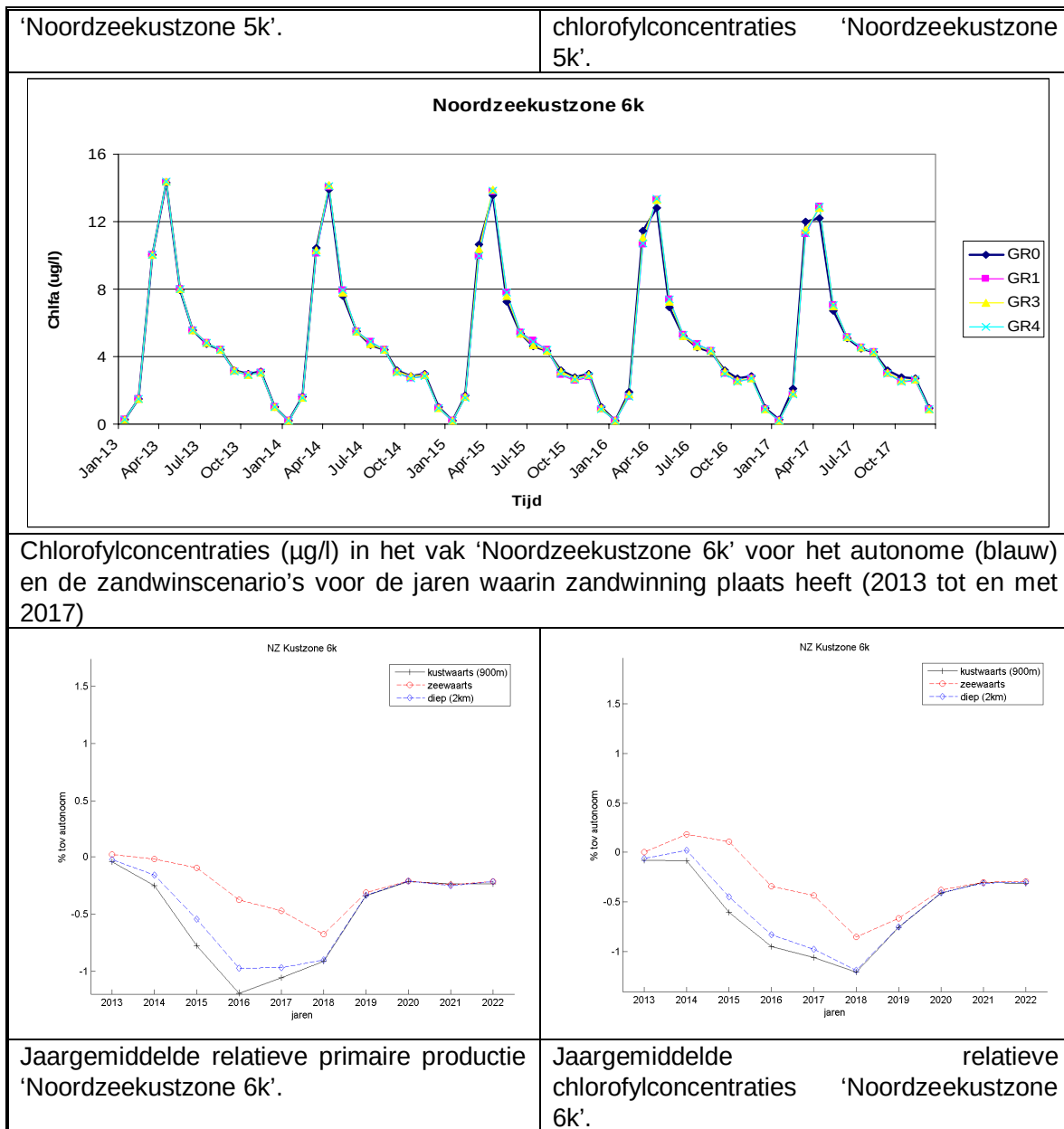


Chlorofylconcentraties ($\mu\text{g/l}$) in het vak 'Noordzeekustzone 4k' voor het autonome (blauw) en de zandwinstscenario's voor de jaren waarin zandwinning plaats heeft (2013 tot en met 2017)



Chlorofylconcentraties ($\mu\text{g/l}$) in het vak 'Noordzeekustzone 5k' voor het autonome (blauw) en de zandwinstscenario's voor de jaren waarin zandwinning plaats heeft (2013 tot en met 2017)





Figuur 4.23 Absolute chlorofylconcentraties (µg/l) tijdens de zandwinningsperiode en relatieve jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties voor de drie scenario's ten opzichte van autonoom voor Noordzeekustzone 4k, 5k en 6k.

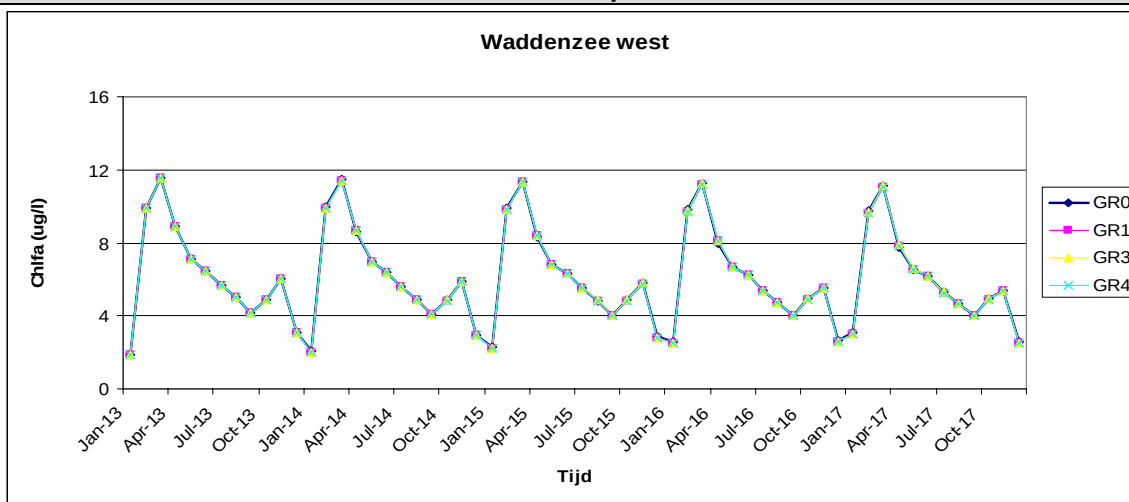
4.4.4.4 Waddenzee

In het westelijk gedeelte van de Waddenzee neemt de jaargemiddelde primaire productie gedurende de zandwinperiode geleidelijk meer af in vergelijking tot het autonome scenario. In 2013 bedraagt de reductie 0.1% en loopt op tot 0.6% in 2017 en 2018. Daarna neemt het effect van de zandwinning op de primaire productie geleidelijk af. Jaargemiddelde chlorofylconcentraties laten een vergelijkbare trend zien (Figuur 4.24, Tabel 4.4 en Bijlage C.1).

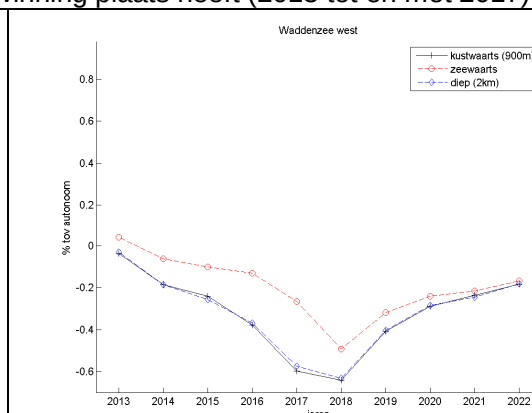
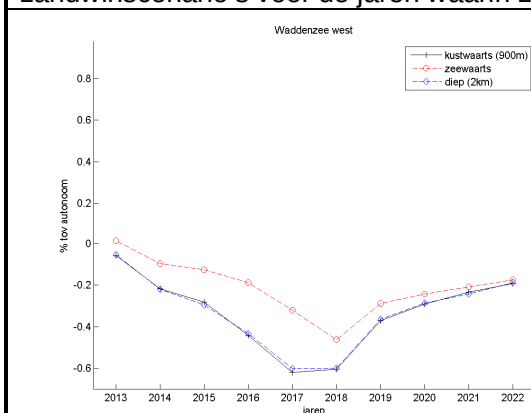
In het oostelijk gedeelte van de Waddenzee is met name in 2016 tot en met 2018 effecten van zandwinning op jaargemiddelde primaire productie zichtbaar: een afname van 0.3% in

2016 en verder afnemend tot 0.6% in 2018. Wederom tonen de jaargemiddelde chlorofylconcentraties dezelfde trend (Figuur 4.24, Tabel 4.4 en Bijlage C.1).

Relatieve veranderingen in jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties van de zandwinsten scenario's ten opzichte van het autonome scenario.

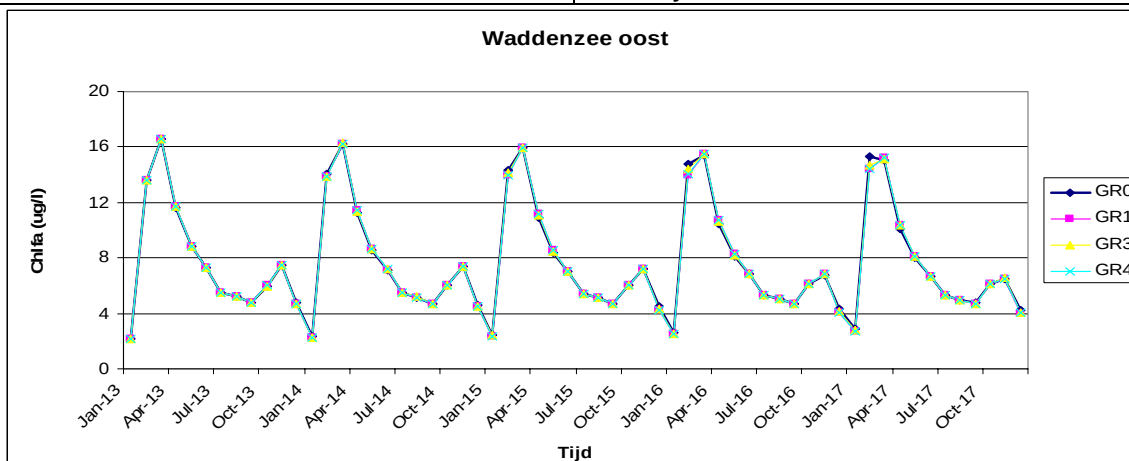


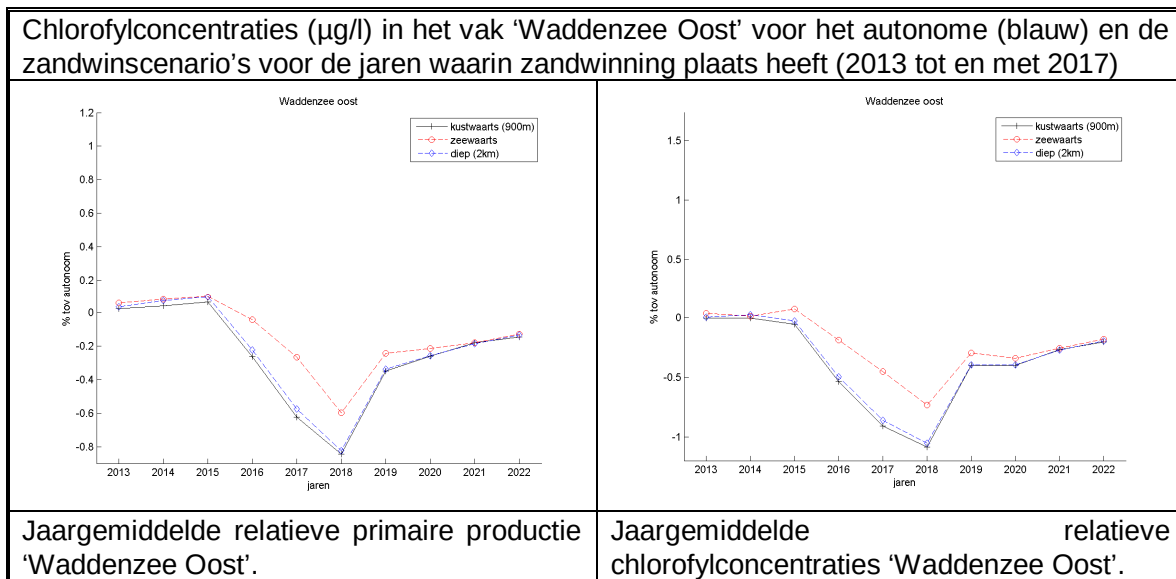
Chlorofylconcentraties ($\mu\text{g/l}$) in het vak 'Waddenzee West' voor het autonome (blauw) en de zandwinsten scenario's voor de jaren waarin zandwinning plaats heeft (2013 tot en met 2017)



Jaargemiddelde relatieve primaire productie 'Waddenzee West'.

Jaargemiddelde relatieve chlorofylconcentraties 'Waddenzee West 6k'.





Figuur 4.24 Absolute chlorofylconcentraties ($\mu\text{g/l}$) tijdens de zandwinningsperiode en relatieve jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties voor de drie scenario's ten opzichte van autonoom voor Waddenzee West en Oost.

4.4.5 Aanvullende scenario's

De aanvullende scenario's, in GEM gedoopt als GR1_12M (tot en met 2014 gelijk aan GR1) en GR3_12M (tot en met 2014 gelijk aan GR3), laten vanaf 2015 een gemiddeld minder grootte afname zien in jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties dan de originele scenario's. Dit is aannemelijk omdat er vanaf 2015 in de twee extra scenario's 8 miljoen m^3 zand per jaar minder wordt gewonnen. Opmerkelijk is wel dat in het jaar 2015 in de vakken Voordelta 2z en de Hollandse Kustbogen de jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties juist wat meer afnemen dan in de andere zandwinsten scenario's. Dit effect wordt veroorzaakt doordat in de meer zuidelijke vakken er in de scenario's GR1, GR3 en GR4 door zandwinning minder nutriënten worden opgenomen (lichtlimitatie) waardoor deze nutriënten beschikbaar zijn voor primaire productie in de meer noordelijke vakken.

Over het algemeen kan gezegd worden dat minder zandwinning in de scenario's GR1_12M en GR3_12M over de gehele zandwinning leidt tot zo'n 30 tot 35 % minder reductie in jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties in vergelijking met de andere scenario's. Hoe dit over de hele Nederlandse kust en de Waddenzee is, is met deze resultaten niet na te gaan omdat de gekozen vakken in grootte verschillen.

4.4.6 Samenvattende tabel en grafieken

Tabel 4.4 Procentuele veranderingen in jaargemiddelde primaire productie in de zandwinsten scenario's ten opzichte van het autonome scenario voor de opgestelde vakgebieden.

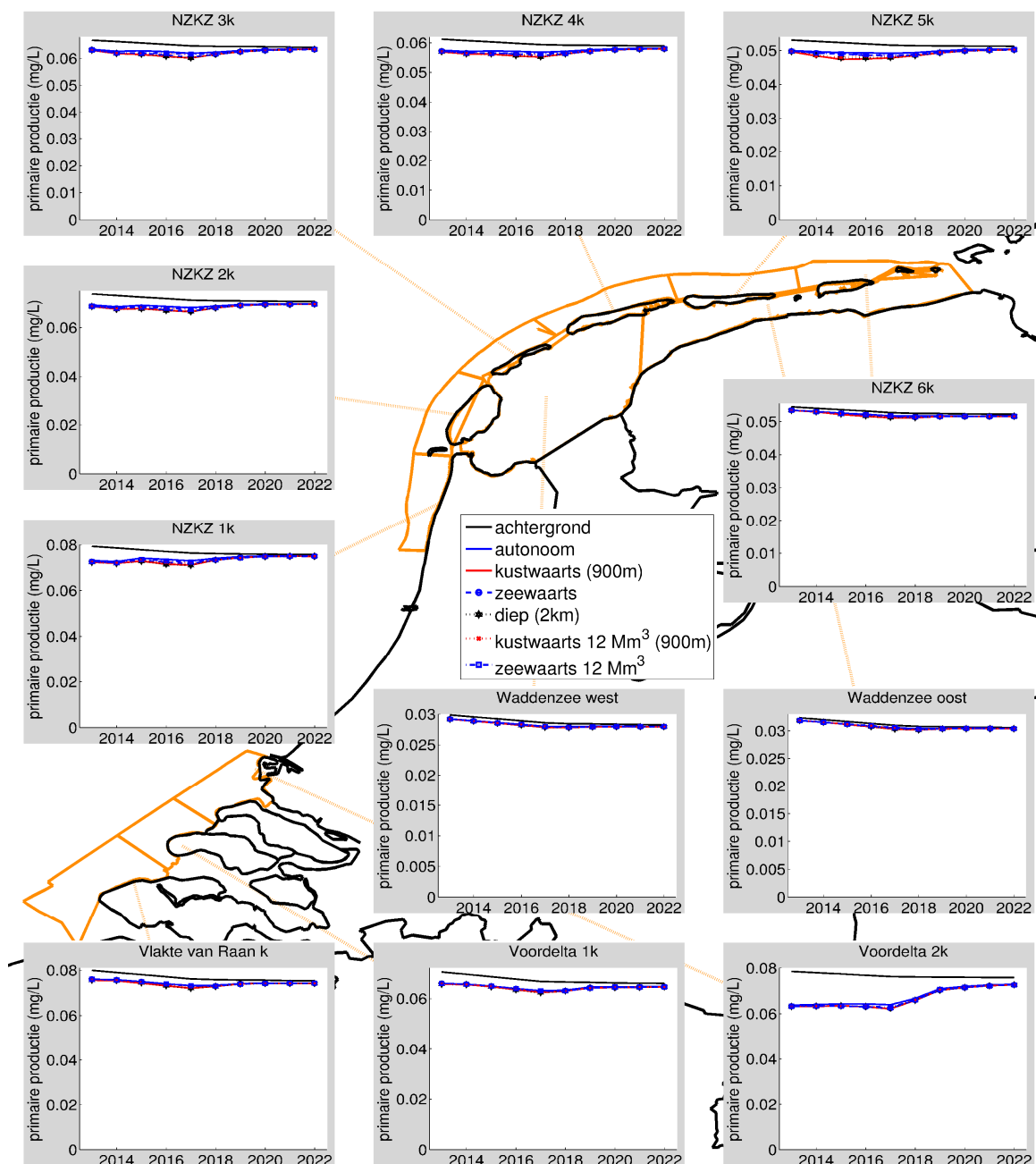
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Vlakte van Raan k										
GR1	-0.5	-0.6	-0.9	-1.2	-1.5	-0.6	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1
GR3	0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.4	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1
GR4	-0.5	-0.5	-0.7	-1.1	-1.5	-0.6	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1
GR1_12M	-0.5	-0.6	-0.7	-0.5	-0.6	-0.5	-0.5	-0.3	-0.1	-0.1

GR3_12M	0	-0.1	-0.1	0	0	-0.3	-0.4	-0.2	-0.1	-0.1
Vlakte van Raan z										
GR1	-2.7	-3.4	-7.1	-7.9	-6.7	-2.5	-1.3	-0.9	-0.6	-0.5
GR3	-3	-3.7	-8.1	-8.3	-6.8	-2	-1.1	-0.7	-0.5	-0.4
GR4	-2.3	-3.4	-7.5	-8.2	-6.5	-2.5	-1.3	-0.9	-0.6	-0.5
GR1_12M	-2.7	-3.4	-6.8	-5.2	-4.8	-1.8	-1	-0.7	-0.5	-0.3
GR3_12M	-3	-3.7	-7.1	-5.2	-4.9	-1.5	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2
Voordelta 1k										
GR1	-0.3	-0.3	-0.3	-0.7	-1.1	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2
GR3	0	-0.1	0.1	-0.1	-0.3	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2
GR4	-0.5	-0.3	-0.3	-0.7	-1.2	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2
GR1_12M	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.5	-0.6	-0.6	0	-0.1	-0.3
GR3_12M	0	-0.1	0.1	0	-0.1	-0.5	-0.5	0	-0.1	-0.3
Voordelta 1z										
GR1	-2	-2	-4.2	-5.1	-4.8	-1.7	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3
GR3	-3.9	-2.6	-6	-7.4	-7.4	-1.7	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3
GR4	-2.2	-2.1	-4.3	-5.4	-5.4	-1.7	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3
GR1_12M	-2	-2	-4.1	-3	-3	-1.3	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2
GR3_12M	-3.9	-2.6	-5.7	-4.6	-4.4	-1.3	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2
Voordelta 2k										
GR1	-0.9	-1.2	-1.1	-1.9	-2.6	-1.4	-0.9	-0.7	-0.5	-0.4
GR3	-0.8	-1	-1.3	-1.9	-2.3	-1.2	-0.8	-0.7	-0.5	-0.4
GR4	-0.9	-1.2	-1.2	-1.7	-2.3	-1.3	-0.9	-0.7	-0.5	-0.4
GR1_12M	-0.9	-1.2	-1.3	-1.5	-1.9	-1	-0.5	-0.5	-0.6	-0.4
GR3_12M	-0.8	-1	-1.4	-1.4	-1.7	-0.9	-0.4	-0.5	-0.6	-0.4
Voordelta 2z										
GR1	-0.1	-0.1	0	-0.2	-0.4	-0.1	-0.1	-0.1	0	0
GR3	-0.2	-0.2	-0.4	-0.9	-0.9	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0
GR4	-0.1	-0.1	0	-0.1	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0
GR1_12M	-0.1	-0.1	-0.3	0	0	-0.1	0	0	0	0
GR3_12M	-0.2	-0.2	-0.5	-0.5	-0.5	-0.1	0	0	0	0
Holl Kustboog 1k										
GR1	-1.7	-2.1	-1.1	-2.2	-4	-1.5	-0.8	-0.5	-0.4	-0.3
GR3	-1.3	-1.5	-1.3	-2.1	-3.2	-1.3	-0.8	-0.5	-0.4	-0.3
GR4	-1.6	-2	-1.1	-2.1	-3.6	-1.4	-0.8	-0.5	-0.4	-0.3
GR1_12M	-1.7	-2.1	-1.4	-1.3	-2.5	-1	-0.3	-0.4	-0.3	-0.1
GR3_12M	-1.3	-1.5	-1.4	-1.4	-2	-0.9	-0.3	-0.4	-0.3	-0.2
Holl Kustboog 1z										
GR1	-0.5	-0.6	-0.2	-0.5	-1	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1
GR3	-1	-1	-0.4	-1	-2	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
GR4	-0.6	-0.7	-0.2	-0.5	-1	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1
GR1_12M	-0.5	-0.6	-0.4	-0.3	-0.6	-0.2	0	-0.1	-0.1	0
GR3_12M	-1	-1	-0.5	-0.5	-1.1	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	0
Holl Kustboog 2k										
GR1	-1.6	-2.1	-0.7	-2.5	-4.3	-1.3	-0.6	-0.3	-0.2	-0.2
GR3	-1	-1.3	-0.7	-2	-3.1	-1.2	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2

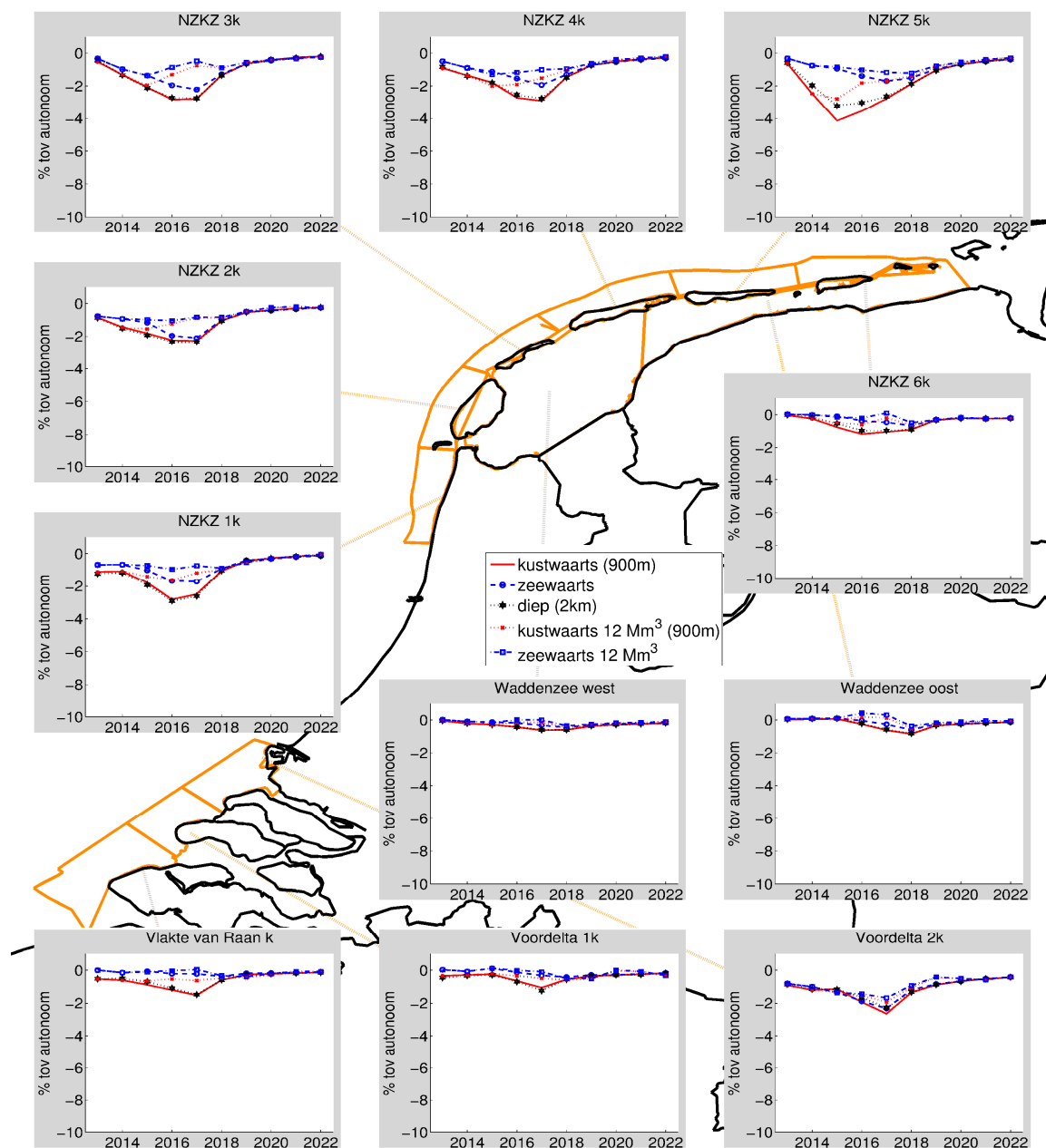
GR4	-1.4	-1.8	-0.7	-2.1	-3.7	-1.2	-0.6	-0.3	-0.2	-0.2
GR1_12M	-1.6	-2.1	-0.8	-1.3	-2.4	-0.8	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1
GR3_12M	-1	-1.3	-0.8	-1.2	-1.7	-0.7	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2
Holl Kustboog 2z										
GR1	-0.2	-0.3	0.1	-0.8	-1.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0
GR3	-1.1	-1.3	0.1	-1.7	-3.2	-0.5	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1
GR4	-0.5	-0.6	0.1	-1.1	-1.8	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	0
GR1_12M	-0.2	-0.3	-0.3	-0.6	-0.5	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	0
GR3_12M	-1.1	-1.3	-0.3	-0.9	-1.7	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	0
Holl Kustboog 3k										
GR1	-0.5	-0.8	-1.6	-3.8	-3.5	-1.1	-0.5	-0.4	-0.2	-0.2
GR3	-0.4	-0.7	-0.7	-1.8	-2.3	-1	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2
GR4	-0.7	-0.9	-1.3	-2.6	-2.8	-1.1	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2
GR1_12M	-0.5	-0.8	-1.6	-2.3	-1.8	-0.9	-0.4	-0.2	-0.2	-0.2
GR3_12M	-0.4	-0.7	-0.8	-1.1	-1.2	-0.8	-0.4	-0.1	-0.2	-0.2
Holl Kustboog 3z										
GR1	-0.1	-0.1	-0.3	-1.2	-1	-0.4	-0.2	-0.1	-0.1	0
GR3	-0.2	-0.3	-0.5	-2.2	-2	-0.6	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
GR4	-0.2	-0.2	-0.4	-1.6	-1.5	-0.4	-0.2	-0.1	-0.1	0
GR1_12M	-0.1	-0.1	-0.5	-0.9	-0.8	-0.6	-0.3	-0.2	-0.1	0
GR3_12M	-0.2	-0.3	-0.6	-1.4	-1.5	-0.7	-0.4	-0.2	-0.1	-0.1
Nrdzeekustzone 1k										
GR1	-1.1	-1.1	-1.8	-2.8	-2.5	-1.1	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1
GR3	-0.7	-0.7	-1	-1.7	-1.7	-0.9	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1
GR4	-1.2	-1.2	-1.9	-2.9	-2.6	-1.1	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1
GR1_12M	-1.1	-1.1	-1.4	-1.6	-1.2	-1	-0.6	-0.3	-0.2	0
GR3_12M	-0.7	-0.7	-0.7	-1	-0.7	-0.9	-0.5	-0.3	-0.2	0
Nrdzeekustzone 1z										
GR1	-1.2	-1	-1	-1.8	-2.2	-0.5	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1
GR3	-1.7	-1.4	-2	-3.1	-3	-0.7	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
GR4	-1	-0.9	-1.2	-2.1	-2.3	-0.5	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1
GR1_12M	-1.2	-1	-0.8	-1	-1.1	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0
GR3_12M	-1.7	-1.4	-1.6	-1.9	-1.6	-0.6	-0.4	-0.2	-0.1	0
Nrdzeekustzone 2k										
GR1	-0.9	-1.4	-1.8	-2.3	-2.3	-1.1	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2
GR3	-0.8	-0.9	-1.2	-2	-2.1	-1	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3
GR4	-0.9	-1.5	-1.9	-2.4	-2.4	-1.1	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2
GR1_12M	-0.9	-1.4	-1.6	-1.2	-0.9	-0.9	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2
GR3_12M	-0.8	-0.9	-1	-1.1	-0.8	-0.8	-0.5	-0.2	-0.2	-0.2
Nrdzeekustzone 2z										
GR1	-0.4	-1	-1.3	-1	-1	-0.3	-0.1	-0.1	0	0
GR3	-1	-1.6	-1.9	-2.1	-2	-0.4	-0.1	-0.1	-0.1	0
GR4	-0.5	-1	-1.3	-1.1	-1.1	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	0
GR1_12M	-0.4	-1	-1.3	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	0	0	0
GR3_12M	-1	-1.6	-1.7	-0.9	-0.6	-0.3	-0.2	0	0	0
Nrdzeekustzone 3k										

GR1	-0.5	-1.3	-2.1	-2.8	-2.8	-1.3	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2
GR3	-0.3	-1	-1.4	-2	-2.2	-1.3	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2
GR4	-0.4	-1.3	-2.1	-2.7	-2.8	-1.4	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2
GR1_12M	-0.5	-1.3	-2	-1.3	-0.8	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2
GR3_12M	-0.3	-1	-1.4	-0.9	-0.5	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2
Nrdzeekustzone 3z										
GR1	-0.3	-0.7	-1	-0.9	-0.8	-0.3	-0.1	-0.1	0	0
GR3	-0.6	-1.2	-1.7	-1.9	-1.6	-0.4	-0.1	-0.1	0	0
GR4	-0.4	-0.7	-1.1	-1.1	-0.9	-0.3	-0.1	-0.1	0	0
GR1_12M	-0.3	-0.7	-1.2	-0.9	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	0
GR3_12M	-0.6	-1.2	-1.8	-1.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	0	0
Nrdzeekustzone 4k										
GR1	-0.9	-1.4	-1.8	-2.7	-2.9	-1.5	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3
GR3	-0.5	-0.9	-1.1	-1.5	-1.9	-1.3	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3
GR4	-0.8	-1.4	-1.8	-2.5	-2.8	-1.5	-0.8	-0.5	-0.4	-0.3
GR1_12M	-0.9	-1.4	-2	-1.9	-1.5	-1	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2
GR3_12M	-0.5	-0.9	-1.3	-1.2	-1	-1	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2
Nrdzeekustzone 4z										
GR1	-0.6	-1.2	-1.6	-1.8	-1.7	-0.6	-0.2	-0.1	-0.1	0
GR3	-0.8	-1.5	-2	-2.5	-2.2	-0.7	-0.2	-0.1	-0.1	0
GR4	-0.6	-1.3	-1.7	-2	-1.8	-0.6	-0.2	-0.1	-0.1	0
GR1_12M	-0.6	-1.2	-1.5	-1.3	-1.1	-0.7	-0.2	-0.1	-0.1	0
GR3_12M	-0.8	-1.5	-1.9	-1.5	-1	-0.7	-0.2	-0.1	-0.1	0
Nrdzeekustzone 5k										
GR1	-0.6	-2.5	-4.1	-3.6	-2.8	-1.9	-1	-0.7	-0.5	-0.4
GR3	-0.3	-0.8	-0.9	-1.4	-1.7	-1.5	-1	-0.7	-0.5	-0.4
GR4	-0.6	-2	-3.2	-3	-2.6	-1.9	-1.1	-0.7	-0.5	-0.4
GR1_12M	-0.6	-2.5	-2.8	-1.8	-1.7	-1.4	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3
GR3_12M	-0.3	-0.8	-0.8	-1	-1.2	-1.2	-0.8	-0.5	-0.4	-0.3
Nrdzeekustzone 5z										
GR1	-1.2	-4	-5.6	-4.6	-3.6	-1.4	-0.6	-0.3	-0.2	-0.1
GR3	-1.1	-3.9	-5.7	-4.3	-3.2	-1.4	-0.6	-0.3	-0.2	-0.2
GR4	-1.2	-4.2	-6.1	-5	-3.7	-1.4	-0.6	-0.3	-0.2	-0.1
GR1_12M	-1.2	-4	-4.8	-2.6	-2	-1.3	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1
GR3_12M	-1.1	-3.9	-4.5	-2.2	-1.7	-1.2	-0.5	-0.2	-0.1	-0.1
Nrdzeekustzone 6k										
GR1	0	-0.3	-0.8	-1.2	-1.1	-0.9	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2
GR3	0	0	-0.1	-0.4	-0.5	-0.7	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2
GR4	0	-0.2	-0.5	-1	-1	-0.9	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2
GR1_12M	0	-0.3	-0.5	-0.6	-0.2	-0.6	-0.4	-0.2	-0.3	-0.2
GR3_12M	0	0	-0.1	-0.2	0.1	-0.5	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2
Nrdzeekustzone 6z										
GR1	-0.4	-1.6	-2.3	-2.1	-1.9	-1.3	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1
GR3	-0.4	-1.9	-2.7	-2.1	-1.8	-1.2	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1
GR4	-0.4	-1.6	-2.4	-2.2	-2	-1.3	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1
GR1_12M	-0.4	-1.6	-2	-1.4	-1.2	-1.1	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1

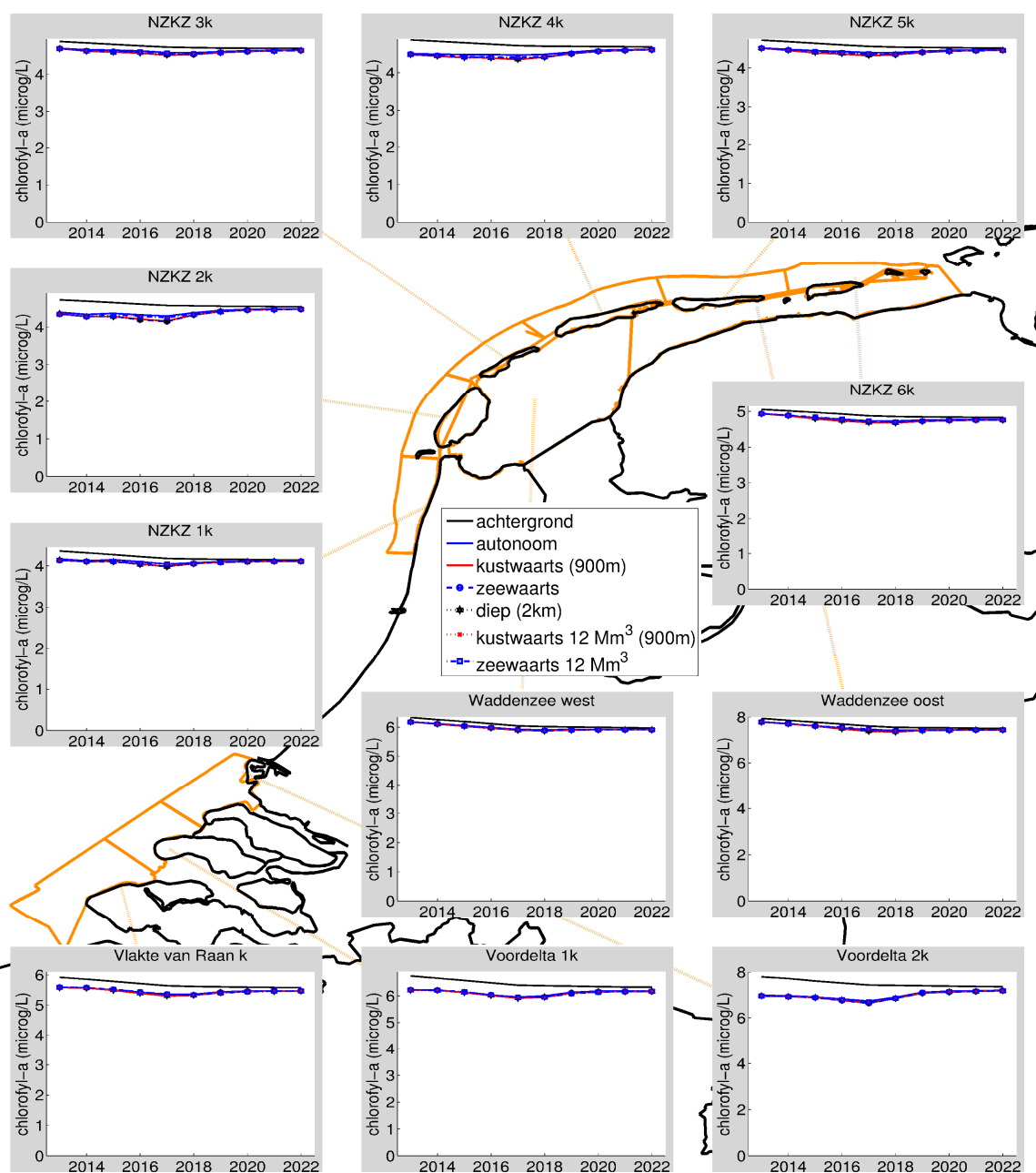
GR3_12M	-0.4	-1.9	-2.2	-1.3	-1	-1	-0.5	-0.2	-0.2	-0.1
Waddenzee west										
GR1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.6	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2
GR3	0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2
GR4	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.6	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2
GR1_12M	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1	-0.2	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1
GR3_12M	0	-0.1	-0.2	0	0	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
Waddenzee oost										
GR1	0	0	0.1	-0.3	-0.6	-0.8	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1
GR3	0.1	0.1	0.1	0	-0.3	-0.6	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1
GR4	0	0.1	0.1	-0.2	-0.6	-0.8	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1
GR1_12M	0	0	0	0.2	0.1	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
GR3_12M	0.1	0.1	0.1	0.4	0.3	-0.4	-0.2	-0.1	0	-0.1



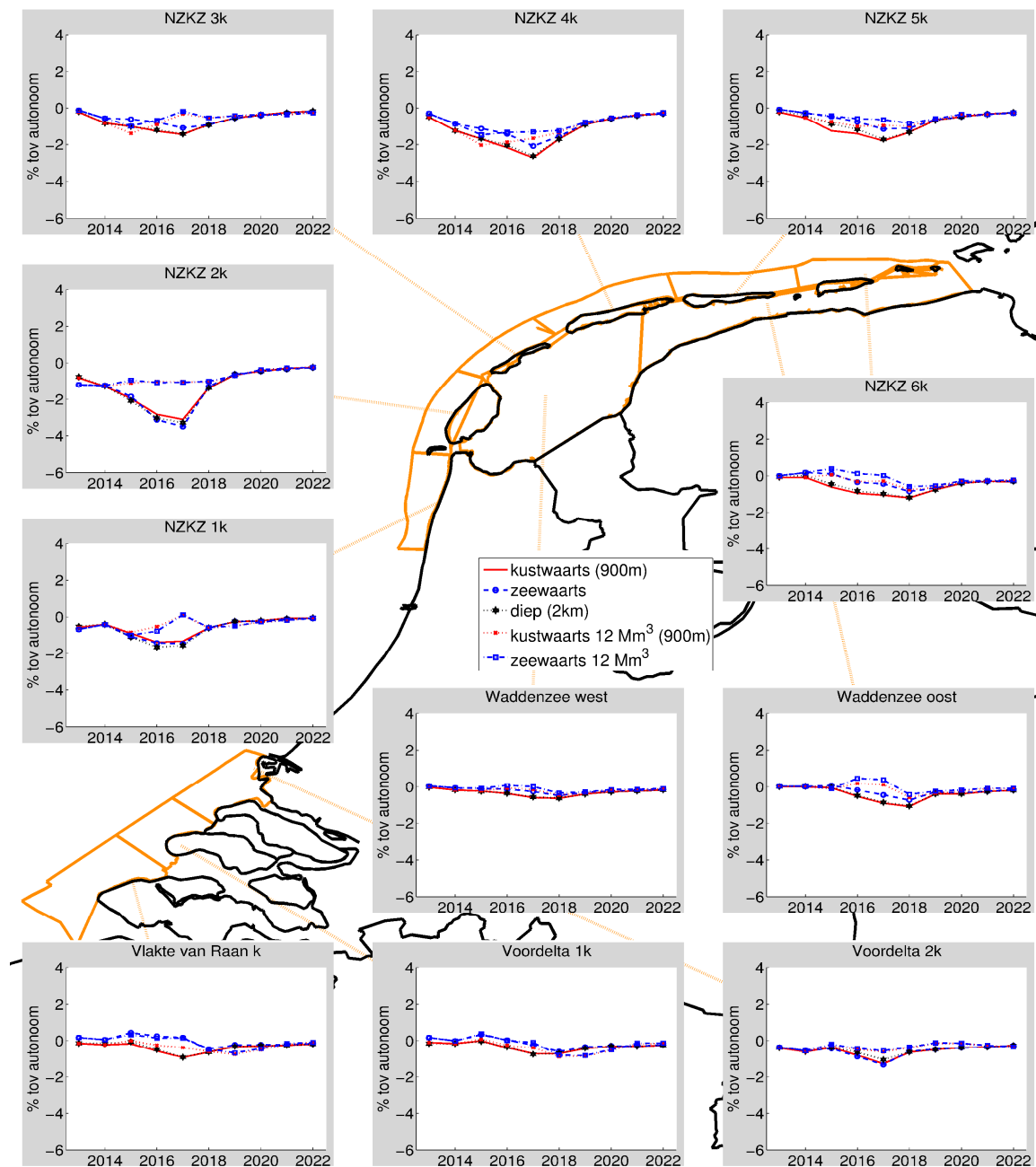
Figuur 4.25 Verloop van de jaargemiddelde primaire productie voor de zandwinsten scenario's voor de Natura 2000 vakken. De natuurlijke achtergrond wordt weergegeven door de zwarte lijn.



Figuur 4.26 Relatieve jaargemiddelde veranderingen in primaire productie in de zandwinsten scenario's ten opzichte van het autonome scenario voor de Natura 2000 vakken.



Figuur 4.27 Verloop van de jaargemiddelde chlorofylconcentraties voor de zandwinscenario's voor de Natura 2000 vakken. De natuurlijke achtergrond wordt weergegeven door de zwarte lijn.

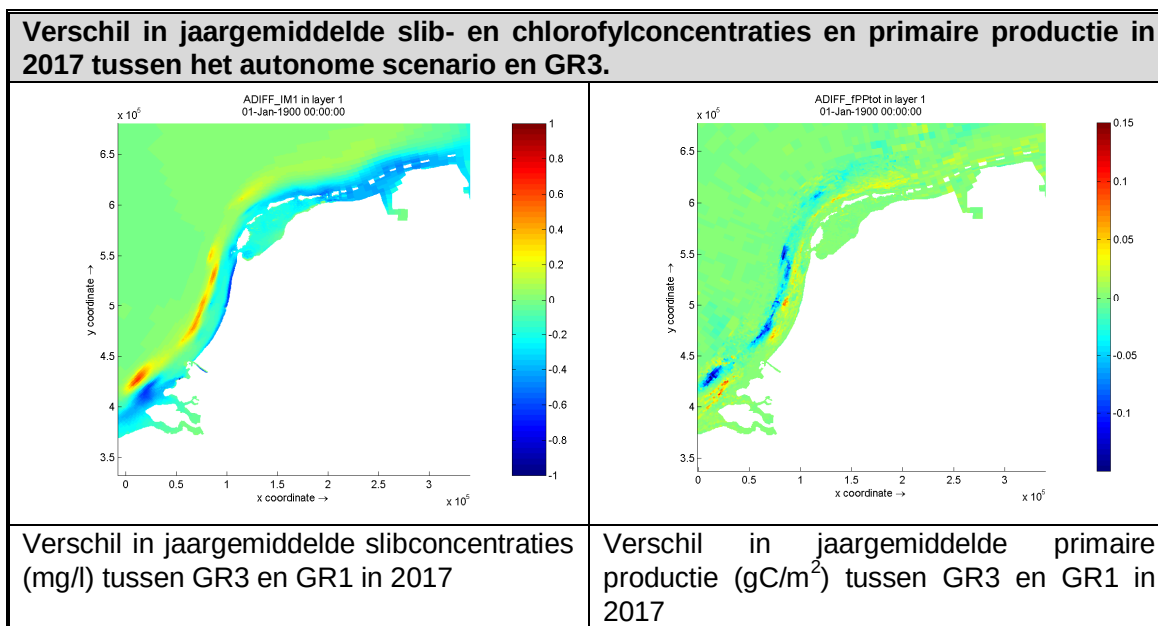


Figuur 4.28 Relatieve jaargemiddelde veranderingen in chlorofylconcentraties in de zandwinsten scenario's ten opzichte van het autonome scenario voor de Natura 2000 vakken.

De zeewaartse ligging van de zandwinlocaties in GR3 leiden tot hogere slibconcentraties verder van de kust af dan de locaties in GR1. Hierdoor zijn de effecten die GR3 sorteert op jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties ruimtelijk anders dan in GR1 (Figuur 4.29). Over het algemeen laat GR3 een grotere afname in jaargemiddelde chlorofylconcentraties en primaire productie zien meer zeewaarts en minder effect van de zandwinning meer kustwaarts dan GR1 (Figuur 4.18 tot en met Figuur 4.24, Tabel 4.4 en Bijlage C.1).

Echter, door de overheersende noordoostelijke stromingsrichting, waardoor het slib en de effecten van de zandwinningen in deze richting worden getransporteerd, zijn verschillen in de kustwaartse gebieden, zoals de Hollandse Kustbogen, nagenoeg gelijk aan de effecten die GR1 sorteert op de jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties.

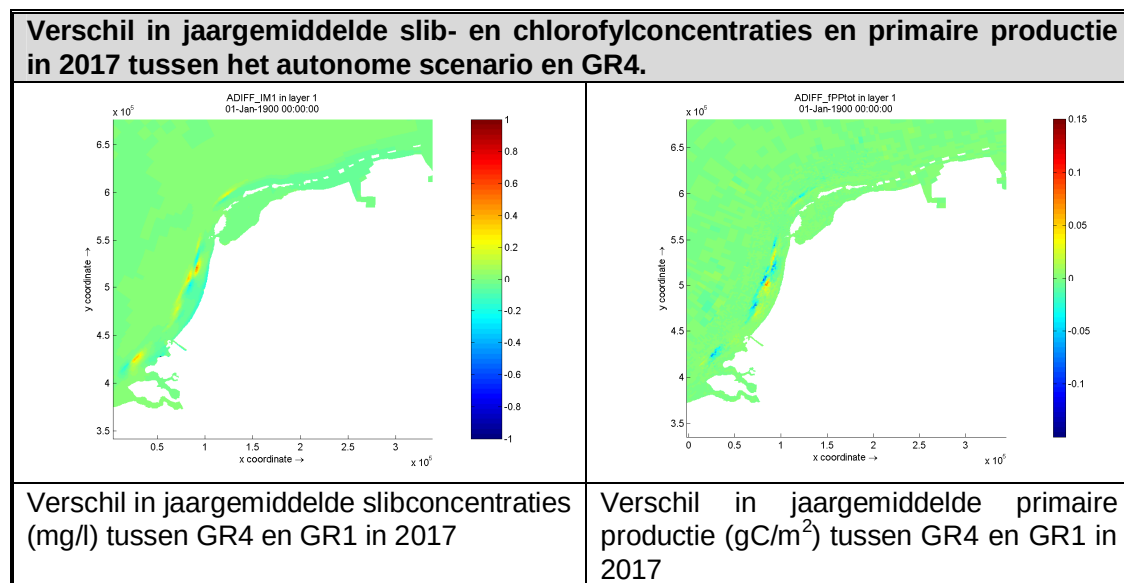
Ten noorden van de Waddeneilanden is ook een verschil te zien in de effecten van GR3 en GR1 op jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties ten opzichte van het autonome scenario. Het effectgebied van GR3 ligt meer noordwaarts dan dat van GR1. Dit wordt door een aantal vakken geïllustreerd. In Noordzeekustzone 4k resulteert de noordwaarts gerichte stroming in combinatie met de meer westelijke effecten van de zandwinning GR3 in een kleinere reductie in jaargemiddelde chlorofylconcentraties dan GR1, maar in 4z is dit juist omgekeerd. Verder zorgt het meer noordwaarts effect van de zandwinning in GR3 in Noordzeekustzone 5k en 5z en 6k en 6z voor een minder grote afname in jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties dan GR1 ten opzichte van autonoom.



Figuur 4.29 Verschil in jaargemiddelde slibconcentraties en primaire productie in 2017 tussen GR1 en GR3.

Geel en rode kleuren betekenen hogere slibconcentraties en lagere primaire productie in GR3 en blauwe kleuren betekenen lagere slibconcentraties en hogere primaire productie in GR1.

GR4 (diepe winning) laat vergelijkbare effectgrootte en trends als GR1 ten opzichte van het autonome scenario zien (Figuur 4.18 tot en met Figuur 4.24, Tabel 4.4 en Bijlage C.1). GR4 heeft min of meer dezelfde locaties voor zandwinning als GR1, alleen beslaan de winningen minder oppervlak doordat er meer zand uit een locatie wordt gewonnen. De slibpluim die door zandwinning ontstaat, is voor GR4 meer geconcentreerd en iets meer zeewaarts dan de slibpluim in GR1. Echter, deze verschillen leiden niet tot grote verschillen in jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties (Figuur 4.30). De verschillen in jaargemiddelde primaire productie tussen zandwinscenario GR4 en GR1 laten langs de Nederlandse kust een duidelijkere ruimtelijke differentiatie zien dan jaargemiddelde chlorofylconcentraties. De jaargemiddelde primaire productie is kustwaarts hoger in GR4 en zeewaarts hoger in GR1. Dit wordt veroorzaakt door het verschil in slibpluim.



Figuur 4.30 Verschil in jaargemiddelde slibconcentraties en primaire productie in 2017 tussen GR1 en GR4. Geel en rode kleuren betekenen hogere slibconcentraties en lagere primaire productie in GR4 en blauwe kleuren betekenen hogere slibconcentraties en lagere primaire productie in GR1.

4.5 Discussie

In de afgelopen ca. tien jaar is driemaal eerder model onderzoek gedaan naar de mogelijke effecten van grootschalige zandwinning op de slibhouding en primaire productie en wel in het kader van:

1. vliegveld in Zee: Flyland (Los et al., 2001),
2. aanleg Maasvlakte 2 (Van Prooijen et al., 2006),
3. MER winning suppletiezand 2008 t/m 2012 (Van Prooijen et al., 2007).

Op hoofdlijnen is hierbij steeds een vergelijkbare methodiek gevolgd waarbij een gekoppeld modelinstrumentarium is gebruikt voor de berekening van waterbeweging, de slib dynamiek en de primaire productie. De berekende veranderingen in deze systeemcomponenten ten gevolge van de ingrepen zijn vervolgens gebruikt voor een meer beschrijvende analyse van de gevolgen voor hogere trofische niveaus zoals vissen en vogels.

Tijdens al deze studies zijn veel stappen gezet om de betrouwbaarheid van de uitkomsten te verhogen c.q. de onzekerheid te reduceren. Daarbij zijn zowel inhoudelijke als modeltechnische verbeteringen bereikt. Inhoudelijk is het met name belangrijk dat nu een veel beter inzicht bestaat in de samenstelling van het sediment met name de fractie fijne deeltjes daarin en in de sediment buffering. Waar bij het voortijdig stoppen van Flyland de onzekerheidsmarges nog zo groot waren dat de bandbreedte in de effectbeoordeling varieerde van "gering" tot "zeer significant" of zelfs "onacceptabel" afhankelijk van de aannames, is op basis van de huidige inzichten de bandbreedte sterk gereduceerd. Belangrijke stappen in de modelontwikkeling zijn het inbouwen van sediment buffering in het slib model, de overgang naar (veel) fijnmaziger roosters, waarbij de ruimtelijke gradiënten beter beschreven kunnen worden en een formelere aanpak en onderbouwing van de modelvalidatie met name van GEM. Ook de consistentie van de modellen is verhoogd: tijdens de onderhavige MER zijn voor het eerst alle modellen op exact hetzelfde rooster (ZunoDD) en in 3D mode gedraaid. Dankzij deze verbeteringen is het modelgedrag in de westelijke

Waddenzee nu zover verbeterd, dat effecten in dit gebied met voldoende mate van nauwkeurigheid kunnen worden gesimuleerd (Keetels et al, 2012). Tijdens vorige studies zijn deze vooral gebaseerd op geprognostiseerde veranderingen in de zeegaten.

De verbeteringen in de gebruikte methodiek hebben overigens als resultaat, dat de voorspelde effecten van de diverse studies onderling slechts vrij globaal vergeleken kunnen worden. Een vergelijking wordt verder bemoeilijkt door verschillen in opzet: zo zijn bijvoorbeeld tijdens de Maasvlakte 2 studie acht meteorologisch verschillende jaren doorgerekend (1996 t/m 2003) en hier slechts één (2007). Omdat de nutriënten gehalten in 2007 lager zijn dan midden jaren 90 en omdat tevens een verdere reductie is aangenomen als gevolg van de implementatie van de kaderrichtlijn water, geldt tevens dat de patronen in limiterende factoren (licht vs nutriënten) in deze studie anders zijn dan tijdens vorige MER studies waardoor het ruimtelijk en temporele effect van zandwinnig niet gelijk is, zelfs niet als de slib input gelijk zou zijn.

4.6 Samenvatting en conclusies

De lijndiagrammen waarin de veranderingen in jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties en de tabel waarin de veranderingen in jaargemiddelde chlorofylconcentraties ten opzichte van het autonome scenario zijn weergegeven, laten zien dat de effecten op jaarbasis het grootst zijn in 2016 en 2017, de laatste twee jaar van de zandwinning. De onderlinge verschillen tussen de zandwinsten scenario's zijn het kleinst voor GR1 (kustwaarts, 900 meter vrijwaring) en GR4 (diepe winning). De verschillen tussen deze twee scenario's zijn nooit groter dan 0.4% per vak op jaarbasis. De diepe winning (GR4) leidt in het zuidelijk en noordelijk deel tot een geringere afname in jaargemiddelde chlorofylconcentraties dan GR1. Daar staat tegenover dat er een kleinere toename plaats vindt in de jaargemiddelde chlorofylconcentraties nabij het midden van de Nederlandse kust (Hollandse Kustboog gebieden) vergeleken met GR1.

De verschillen in jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties tussen GR3 (zeewaarts) en GR1 en GR4 zijn groter. In de kustgebieden zijn, vergeleken met het autonome scenario, de veranderingen in de jaargemiddelde chlorofylconcentraties kleiner in GR3 dan in GR1 en GR4. Verder zeewaarts zijn de effecten juist groter. Dit komt door de zeewaartse ligging van de zandwinplaatsen in dit scenario. Een ander verschil veroorzaakt door de ligging is dat het effect van de zandwinning op primaire productie en chlorofylconcentraties in GR3 kleiner is in het Waddengebied dan in GR1 en GR4. Opgemerkt dient te worden dat GR3 wel meer effect heeft op de primaire productie en chlorofylconcentratie buiten de gedefinieerde vakken.

De scenario's GR1_12M en GR3_12M laten dezelfde ruimtelijke patronen zien als GR1 en GR3, alleen leidt minder zandwinning vanaf 2015 voor een kleinere reductie in jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties. De verhoudingen tussen GR1_12M en GR3_12M zijn grofweg gelijk aan de die van GR1 en GR3.

Samenvattend:

- Er is nauwelijks verschil tussen GR1 (kustwaarts, 900 meter vrijwaring) en GR4 (diepe winning) zandwinsten scenario's
- De ligging van GR3 zorgt ervoor dat in de zeewaartse vakken er grotere afname in jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties plaats heeft dan in GR1 en GR4. In de kustwaartse vakken leidt GR3 over het algemeen tot kleinere veranderingen in deze parameters dan GR1 en GR4.

- GR1_12M en GR3_12M weerspiegelen de verhoudingen in reductie in jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties van GR1 en GR3.
- De veranderingen in primaire productie per vak over de hele zandwinperiode variëren van -6.0 tot + 0.2 procent.
- De veranderingen in chlorofylconcentraties per vak over de hele zandwinperiode variëren van -3.8 tot + 1.3 procent.
- In vrijwel alle vakken wordt een effect van zandwinning op primaire productie en chlorofylconcentraties berekend.
- Effecten van de zandwinning uiten zich overwegend in lagere jaargemiddelde chlorofylconcentraties dan in het autonome scenario, maar er zijn enkele uitzonderingen zoals de Voordelta 2Z.
- Ten gevolge van de zandwinning is in veel vakken de piek van de voorjaarsbloei lager, maar breder. Er is nauwelijks tot geen sprake van vertraging van de voorjaarsbloei als gevolg van de zandwinning.

Tabel 4.5 Gemiddelde verandering in primaire productie over de hele zandwinperiode (2013 tot en met 2017) per vak. Blauw betekent kleinste afname, oranje betekent grootste afname.

	GR1	GR3	GR4	GR1_12M	GR3_12M
Vlakte van Raan k	-0.9	-0.1	-0.9	-0.6	0.0
Vlakte van Raan z	-5.6	-6.0	-5.6	-4.6	-4.8
Voordelta 1k	-0.5	-0.1	-0.6	-0.3	0.0
Voordelta 1z	-3.6	-5.5	-3.9	-2.8	-4.2
Voordelta 2k	-1.5	-1.5	-1.5	-1.4	-1.3
Voordelta 2z	-0.2	-0.5	-0.1	-0.1	-0.4
Holl Kustboog 1k	-2.2	-1.9	-2.1	-1.8	-1.5
Holl Kustboog 1z	-0.6	-1.1	-0.6	-0.5	-0.8
Holl Kustboog 2k	-2.2	-1.6	-1.9	-1.6	-1.2
Holl Kustboog 2z	-0.5	-1.4	-0.8	-0.4	-1.1
Holl Kustboog 3k	-2.0	-1.2	-1.7	-1.4	-0.8
Holl Kustboog 3z	-0.5	-1.0	-0.8	-0.5	-0.8
Nrdzeekustzone 1k	-1.9	-1.2	-2.0	-1.3	-0.8
Nrdzeekustzone 1z	-1.4	-2.2	-1.5	-1.0	-1.6
Nrdzeekustzone 2k	-1.7	-1.4	-1.8	-1.2	-0.9
Nrdzeekustzone 2z	-0.9	-1.7	-1.0	-0.7	-1.2
Nrdzeekustzone 3k	-1.9	-1.4	-1.9	-1.2	-0.8
Nrdzeekustzone 3z	-0.7	-1.4	-0.8	-0.7	-1.1
Nrdzeekustzone 4k	-1.9	-1.2	-1.9	-1.5	-1.0
Nrdzeekustzone 4z	-1.4	-1.8	-1.5	-1.1	-1.3
Nrdzeekustzone 5k	-2.7	-1.0	-2.3	-1.9	-0.8
Nrdzeekust 5z	-3.8	-3.6	-4.0	-2.9	-2.7
Nrdzeekustzone 6k	-0.7	-0.2	-0.5	-0.3	0.0
Nrdzeekustzone 6z	-1.7	-1.8	-1.7	-1.3	-1.4
Waddenzee west	-0.3	-0.1	-0.3	-0.2	-0.1
Waddenzee oost	-0.2	0.0	-0.1	0.1	0.2

Tabel 4.6 Gemiddelde verandering in chlorofylconcentraties over de hele zandwinperiode (2013 tot en met 2017) per vak. Blauw betekent kleinste afname, oranje betekent grootste afname.

	GR1	GR3	GR4	GR1_12M	GR3_12M
Vlakte van Raan k	-0.4	0.2	-0.3	-0.2	0.2
Vlakte van Raan z	-3.6	-3.8	-3.6	-2.8	-2.9
Voordelta 1k	-0.3	0.1	-0.3	-0.2	0.1
Voordelta 1z	-1.6	-2.3	-1.7	-1.0	-1.6
Voordelta 2k	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4
Voordelta 2z	1.1	1.2	1.1	1.1	1.3
Holl Kustboog 1k	-0.9	-0.8	-0.8	-0.6	-0.5
Holl Kustboog 1z	0.1	-0.1	0.1	0.0	-0.1
Holl Kustboog 2k	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.2
Holl Kustboog 2z	0.3	-0.1	0.2	0.0	-0.3
Holl Kustboog 3k	0.2	0.1	0.1	-0.1	-0.1
Holl Kustboog 3z	-0.1	-0.4	-0.1	-0.3	-0.5
Nrdzeekustzone 1k	-0.9	-1.0	-1.1	-0.4	-0.6
Nrdzeekustzone 1z	-0.7	-2.0	-0.9	-0.6	-1.4
Nrdzeekustzone 2k	-2.0	-2.2	-2.1	-1.0	-1.1
Nrdzeekustzone 2z	-0.7	-1.6	-0.7	-0.5	-1.0
Nrdzeekustzone 3k	-0.9	-0.6	-0.9	-0.7	-0.5
Nrdzeekustzone 3z	-0.2	-0.5	-0.2	-0.3	-0.5
Nrdzeekustzone 4k	-1.7	-1.2	-1.6	-1.5	-1.1
Nrdzeekustzone 4z	-1.2	-2.0	-1.3	-1.2	-1.6
Nrdzeekustzone 5k	-1.0	-0.6	-0.9	-0.7	-0.4
Nrdzeekust 5z	-1.2	-1.6	-1.2	-1.1	-1.3
Nrdzeekustzone 6k	-0.6	-0.1	-0.5	-0.1	0.1
Nrdzeekustzone 6z	-0.4	-0.3	-0.4	-0.3	-0.3
Waddenzee west	-0.3	-0.1	-0.3	-0.1	0.0
Waddenzee oost	-0.3	-0.1	-0.3	0.0	0.2

5 Discussie en conclusies

5.1 Inleiding

Om een (hernieuwde) vergunning te verkrijgen voor de winning van suppletiezand in de Noordzee is een milieueffectrapportage (MER) vereist. Hoewel de ingrepen plaats vinden aan de basis van het ecosysteem (het fysische deel), zullen effecten zich mogelijk manifesteren in de biologische componenten van het ecosysteem. Daarom zijn in deze MER de mogelijke effecten van zandwinning op de slibconcentraties, doorzicht, nutriënttransport, primaire productie en de secundaire productie op enkele voorbeeldlocaties in de Noordzee en op de (gehele) westelijke Waddenzee beschreven. De aanpak en resultaten zijn uitgebreid beschreven in een serie zelfstandig leesbare rapporten. Deze discussiestek is bedoeld om de opstellers van de MER houvast te bieden bij de interpretatie van de resultaten van de basisrapporten.

5.2 Algemene methodiek: een effectketen model

Bij de opstelling van de MER is gebruik gemaakt van een keten van modelsystemen bestaande uit een aantal gekoppelde componenten:

1. Delft3D-Flow (waterbeweging),
2. Delft3D-Sed (slib dynamiek),
3. GEM: Generiek Ecologisch Model (nutriënten, primaire productie en lichtklimaat),
4. DEB: Dynamic Energy Budget model (schelpdieren met name *Ensis*) op zes karakteristieke locaties in de Noordzee,
5. ECOWASP (nutriënten, primaire productie en filtrerende schelpdieren) in de westelijke Waddenzee.

Gebruik van een dergelijke keten van modellen is niet nieuw. Tijdens het voortijdig beëindigde project Flyland, ruim tien jaar geleden, werd al een zelfde aanpak uitgewerkt. Een soortgelijke methodiek is ook toegepast ten behoeve de MER-zandwinning voor de aanleg van tweede Maasvlakte en voor de MER betreffende zandsuppleties. Ten gevolge van voortschrijdend inzicht en verbeterde technologieën is er wel een aantal verschillen tussen deze en de voorgaande (MER) studies:

1. De waterbeweging in de kustzone is met een veel hogere resolutie beschreven (Keetels e.a. 2012),
2. Het slib model is inhoudelijk verbeterd (Keetels e.a. 2012),
3. GEM is voor het eerst met dezelfde ruimtelijke detaillering doorgerekend als het slib model (Keetels e.a. 2012),
4. De effecten op schelpdieren in de Noordzee (DEB) worden voor het eerst tijdens een MER gekwantificeerd (Schellekens, 2012),
5. Hetzelfde geldt voor kwantificering van de effecten op schelpdieren in de Waddenzee (ECOWASP, Brinkman, 2012); ook dat was niet eerder in combinatie met alle andere modellen gedaan in een MER.

Samenvattend kan geconcludeerd worden dat de algemene aanpak diverse keren eerder is toegepast, maar dat de specifieke invulling van de effectketen ten behoeve van deze MER op (belangrijke) onderdelen is uitgebreid en verbeterd in vergelijking met voorgaande (MER) studies.

5.3 Koppeling van modules in keten

Karakteristiek voor de effectketenbenadering is dat de verschillende componenten (modellen) zelfstandig worden gedraaid en met elkaar communiceren via bestanden. Deze werkwijze heeft een groot aantal praktische voordelen met betrekking tot de rekentijd en complexiteit van de modellen. Nadeel is echter dat de datastromen in één richting plaats vinden. Soms is daar geen enkel bezwaar tegen: zo heeft de aanwezigheid van fytoplankton een verwaarloosbaar effect op de stroming in de Noordzee. In andere gevallen is deze vereenvoudiging minder vanzelfsprekend zoals bij de interactie tussen fytoplankton (onderdeel van het GEM model) en *Ensis* (onderdeel van het DEB model). Juist om dit laatste probleem te ondervangen is tijdens de uitvoering van deze MER als experiment een versie van GEM gebruikt waarin een DEB module voor *Ensis* is geïntegreerd. Echter, de resultaten hiervan waren (nog) niet bevredigend genoeg om voor de eigenlijke MER te worden gebruikt.

Doorgifte van informatie tussen de onderlinge modules is gestandaardiseerd voor een deel van de modellen zoals tussen de waterbeweging naar slib en GEM). Dit is niet het geval voor bijvoorbeeld de interactie tussen GEM en ECOWASP. Deze interactie is specifiek ten behoeve van deze MER ontwikkeld en kan dus ook niet als 'proven technology' worden beschouwd.

Van Delft3D-Flow naar Delft3D-Slib en GEM: De resultaten van het waterbewegingsmodel (Keetels e.a. 2012) worden met een hoge frequentie weggeschreven en om vervolgens door het slibmodel en GEM te worden ingelezen. Met behulp van een zogenaamde continuïteitsberekening is aangetoond dat deze koppeling massabehoudend is. Verder is met behulp van een vergelijking van de berekende saliniteit in Delft3D-Flow en in GEM getest hoe goed de transportpatronen in Delft3D-Flow worden gereproduceerd in GEM. Kleine afwijkingen ontstaan doordat (1) niet na elke rekentijdstap van het hydrodynamische model de resultaten kunnen worden weggeschreven en (2) de numerieke oplossingschema's niet precies gelijk zijn. De verschillen zijn echter dermate klein, dat we kunnen concluderen dat de berekende transportvelden in Delft3D-Flow inderdaad vrijwel geheel worden gereproduceerd in het slibmodel en in GEM.

Van Delft3D-Slib naar GEM: Het ligt voor de hand de resultaten van het slibmodel integraal over te nemen in GEM als stuurfactor voor het onderwaterlichtklimaat. Deze directe koppeling is onderzocht, maar uiteindelijk is besloten een andere koppeling tijdens deze MER te gebruiken. Bij de gekozen koppeling is het jaar-gemiddeldeslibveld van het slibmodel als basis gebruikt waarbij voor een aantal delen van de Noordzee waar het slib model (nog) niet goed presteert (zowel offshore als in zeer ondiepe gebieden, enkele decimeters water), het basisslibveld is aangevuld met een quasi-empirische methodiek om het verloop in slibconcentraties door de tijd beter te beschrijven. Deze wijze van koppeling is ook toegepast tijdens vorige vergelijkbare projecten en is gelijk voor de basisberekeningen en de scenario's.

De berekende slibconcentraties van de scenario's zijn aan GEM doorgegeven als tijd- en ruimte-afhankelijke schaalfactoren.

Van Delft3D-Slib en GEM naar DEB: Zoals eerder opgemerkt, is bij deze MER voor het eerst een kwantitatieve analyse gedaan naar de mogelijke gevolgen van de zandwinning op *Ensis* (zie ook Schellekens 2012). Hiertoe is een DEB-model toegepast op een zestal representatieve locaties in de Noordzee. Als aansturing ontvangt het DEB model anorganisch zwevend stof uit het slibmodel en chlorofyl en dood organisch materiaal uit GEM. De frequentie, waarmee deze informatie wordt doorgegeven, is hoog ten opzichte van de groeikarakteristieken van *Ensis*. Een vereenvoudiging die bij deze koppeling plaats heeft is dat het DEB model veronderstelt dat een bepaalde hoeveelheid chlorofyl een vaste

hoeveelheid voedsel betekent. Binnen GEM varieert de energieinhoud en dus voedselkwaliteit van het fytoplankton *wel* in ruimte en tijd. Gezien de betrekkelijk geringe verschillen tussen de (scenario-) berekeningen onderling is het redelijk te veronderstellen dat deze vereenvoudiging nauwelijks effect heeft als twee berekeningen onderling worden vergeleken.

Van Delft3D-Slib en GEM naar ECOWASP: Net als DEB is ook ECOWASP tijdens deze MER voor het eerst geïntegreerd met de anderen modellen (zie ook Brinkman 2012). De koppeling is echter gecompliceerder omdat ECOWASP veel meer informatie moet oppakken en zelf ook een ruimtelijke structuur en waterbeweging heeft. Een verdere complicatie ontstaat doordat veel van de grootheden die binnen GEM en ECOWASP worden gemodelleerd, weliswaar op elkaar lijken, maar vaak toch niet precies hetzelfde zijn. Zo onderscheidt GEM vier groepen van fytoplankton en ECOWASP slechts twee: voor dit en andere soortgelijke problemen zijn conversieregels vastgesteld.

De volgende informatie wordt vanuit het slibmodel dan wel GEM aan ECOWASP doorgegeven:

1. Het slibgehalte van Delft3D-Slib. Dit wordt echter niet direct overgenomen door ECOWASP, omdat binnen EcoWasp het slibgehalte in de waterkolom zelf wordt berekend (de berekening is afgeregeld aan de hand van gemeten slibgehalten). *Relatieve veranderingen* in slibgehalten, die zijn berekend met het slibmodel voor de scenario's, worden daarom vertaald in *relatieve* veranderingen in het lichtklimaat van ECOWASP.
2. Voor nutriënten en fytoplankton geldt hetzelfde: ECOWASP gebruikt alleen de veranderingen in concentraties zoals die door GEM worden berekend voor de randvoorwaarden (de concentraties in de Noordzeekustzone). Deze wijze van koppelen gaat er van uit dat de herverdeling van GEM-stoffen over ECOWASP-stoffen gelijk blijft voor alle scenario's. In voorkomende gevallen kunnen numerieke problemen ontstaan, bijvoorbeeld wanneer het gehalte van een bepaalde component laag (nagenoeg nul) is in GEM omdat in dat geval een kleine absolute verandering in concentratie, die is berekend voor een scenario, kan leiden tot een grote relatieve verandering. Om hiervoor te compenseren worden slechts maandgemiddelde GEM-uitvoerresultaten door ECOWASP gebruikt. Nadeel is dat variaties op kortere tijdschalen, die wel worden berekend door GEM, niet worden meegenomen door ECOWASP; er vindt dus enig verlies van informatie plaats.
3. Een andere complicaties in de koppeling tussen GEM en ECOWASP is dat ECOWASP zijn randvoorwaarden ontleent aan metingen op een paar locaties in de Noordzee. Bij de scenario's worden de op deze locaties door GEM (en het slibmodel) berekende relatieve veranderingen overgenomen. Echter, deze hoeven niet noodzakelijkerwijs gelijk te zijn aan de veranderingen bij de instroming van de Waddenzee. Impliciet is dus verondersteld dat de berekende veranderingen maatgevend zijn voor de veranderde invoer van de Waddenzee.
4. Anders dan in het slibmodel en GEM, die gebruik maken van actuele stromingsvelden, gebruikt ECOWASP een statisch transportveld. Omdat de door GEM berekende concentraties aan de randen van ECOWASP mede afhangen van de stroming, zal de nutriëntenimport van de Waddenzee volgens ECOWASP gedurende het jaar niet gelijk zijn aan de import van GEM. De jaarlijkse import zou wel ongeveer gelijk moeten zijn, maar dat is niet gecontroleerd.

Samenvattend: bij de koppeling tussen het slibmodel en GEM met ECOWASP doet zich een aantal complicaties voor dat te maken heeft met verschillen in de gemodelleerde toestandsgrootheden, transportvelden en randen. We veronderstellen dat deze consistentieproblemen geen invloed hebben op de interpretatie van de scenarioresultaten,

die immers allemaal hierdoor beïnvloed worden. Strikt genomen moet echter worden gesteld dat de mate waarin deze veronderstelling klopt, niet kan worden vastgesteld op basis van de informatie die nu beschikbaar is.

5.4 Beoordeling resultaten

Bij de beoordeling van de resultaten spelen veel factoren een rol, die echter in een paar hoofdcategorieën kunnen worden samengevat:

1. Het wettelijke kader,
2. De betrouwbaarheid van de simulatieresultaten,
3. De verhouding tussen de berekende effecten en de 'natuurlijke' variabiliteit,
4. De verhouding tussen de berekende effecten en de effecten veroorzaakt door 'andere' maatregelen (de autonome ontwikkeling).

Het wettelijke kader: In dit rapport wordt het wettelijke kader als zodanig niet inhoudelijk bediscussieerd. Wel wordt aangegeven wat de wetenschappelijke betekenis is van veranderingen, zoals die worden gesimuleerd met behulp van de modelketen. Daarbij wordt met name ingegaan op de resultaten voor de Waddenzee, omdat die vanuit het wettelijke kader gezien mogelijk de meeste kritisch zijn.

Betrouwbaarheid simulatieresultaten: De kwaliteit van een model hangt van veel factoren af zoals:

1. De mate waarin de gebruikte procesbeschrijvingen de werkelijkheid reproduceren,
2. De numerieke implementatie en verwerking tot computercode,
3. De gebruikte waarden voor procesparameters (kalibratie),
4. De kwantiteit en kwaliteit van de metingen (nauwkeurigheid; frequentie; ruimtelijke dekking; aantal gemeten stoffen) (validatie).

Ook van belang is een heldere omschrijving van de doelstelling van de modeltoepassing: een modelopzet, die voor een bepaalde vraag adequaat is, kan voor een andere vraag ontoereikend zijn. Een ander punt is dat wanneer (te) grote afwijkingen tussen model en waarnemingen worden gevonden, er een zorgvuldige analyse nodig is om de oorzaak vast te stellen en eventueel op te lossen. Uitdrukkingen als: "Het model is niet goed" of "De waarnemingen deugen niet" zijn daarbij niet specifiek genoeg en kunnen dus wel behulpzaam zijn bij het omschrijven van symptomen, maar niet bij het diagnosticeren van het feitelijke probleem. Specifiek voor studies zoals deze, waarbij simulaties onderling worden vergeleken, is overigens wel dat bepaalde afwijkingen acceptabel kunnen zijn, bijvoorbeeld als aannemelijk kan worden gemaakt dat het effect in verschillende berekeningen gelijk is zodat de afwijking wegvalt zodra de berekeningsresultaten van elkaar worden afgetrokken.

Omdat er in dit onderzoek gebruik is gemaakt van een keten van gekoppelde modellen, zou men kunnen veronderstellen dat de onzekerheden aan de basis van de effectketen *versterkt* doorwerken naarmate de keten verder wordt doorlopen. Dat leidt dan tot een redenering als: er zijn onzekerheden in de simulatie van de waterbeweging en van het slib, die gezamenlijk leiden tot nog grotere onzekerheden in de simulaties voor primaire productie en zo verder. Deze voorstelling van zaken is echter te simplistisch omdat binnen modellen ook *verzwakking* van onzekerheden in voorgaande schakels van de keten kan plaatsvinden bijvoorbeeld door terugkoppelingsmechanismen of verschillen in tijd- en ruimteschaal. Zo kunnen de gevolgen van een onjuiste berekening van de verspreiding van een slibpluim in GEM gering of zelfs afwezig zijn als nutriënten ter plekke een belangrijkere limitatie zijn dan slib. Ter illustratie,

Los & Blaas (2011) hebben aangetoond dat de Goodness of Fit (GOF) van chlorofyl zoals berekend door GEM voor heel verschillende ruimtelijke schematisaties van de Noordzee over de hele linie beter is dan de GOF van anorganisch slib of het saliniteit, die worden overgenomen uit de simulatieresultaten van andere modellen in de keten.

Versterking van effecten, waarbij betrekkelijk kleine veranderingen in de forcering van modellen leiden tot (onverwachts) grote veranderingen zijn kenmerkend voor predator-prooi modellen, waarvan een groot deel van de dynamiek wordt veroorzaakt door intrinsieke processen zoals de predator-prooi relaties. Binnen de keten van modellen in deze studie is ECOWASP een voorbeeld van een model waarbij versterking kan plaatsvinden met name in de relatie tussen fytoplankton en schelpdieren.

Behoudens het DEB-model voor *Ensis* in de Noordzee zijn de verschillende modellen, die tijdens deze studie zijn gebruikt, in het verleden al heel veel toegepast bij de voorspelling van soortgelijke scenario's. Met andere woorden, er is gebruik gemaakt van eerder gevalideerde en door auditcommissies bekeken modellen. Voor de Deltares modellen in de keten is ten behoeve van deze MER een apart validatierapport geschreven (Keetels e.a. 2012). Ook ECOWASP is een bestaand model met een lange geschiedenis, maar binnen deze MER is geen aanvullende validatie uitgevoerd. Het DEB-model daarentegen heeft een veel kortere geschiedenis. Bovendien is de aard van de beschikbare data anders dan voor GEM of ECOWASP, die met lange tijdreeksen van waarnemingen van verschillende grootheden op diverse plaatsen vergeleken kunnen worden. Dat leidt ertoe dat de uitkomsten van modellen als Delft3D-slib of GEM tijdens deze MER volgens formele goodness-of-fit-criteria zijn getoetst en gerapporteerd, maar dat de DEB-resultaten op de *logica* of *redelijkheid* moeten worden beoordeeld. Dat betekent niet dat dit model slechter is, wel dat er (veel) minder informatie beschikbaar is om de correctheid formeel aan te tonen.

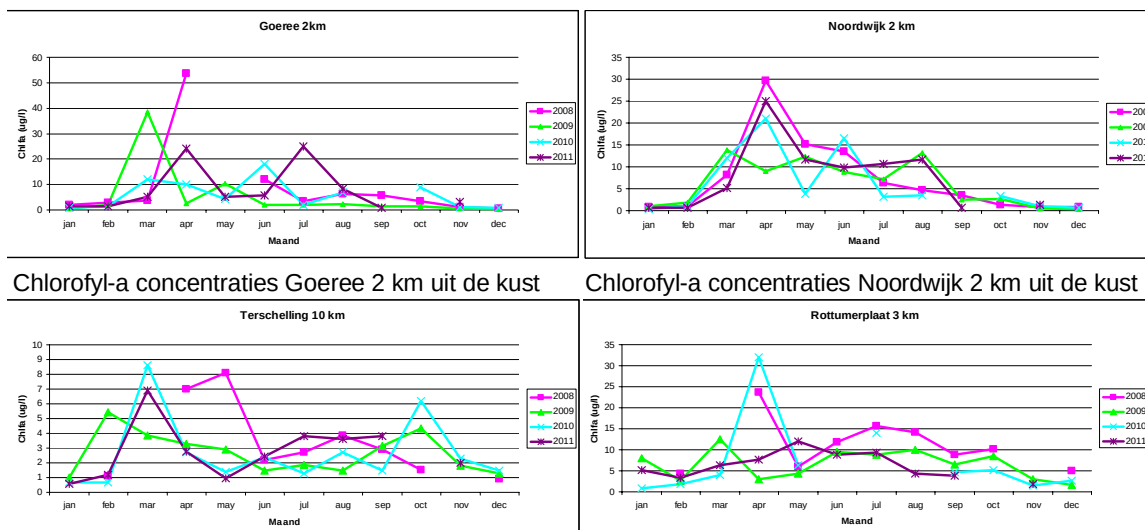
De verhouding tussen de berekende effecten en de 'natuurlijke' variabiliteit: Er is vaak een zekere mate van spanning tussen (wettelijke) normering, die uitgaat van een goed gedefinieerde status quo van ecosysteemcomponenten en de 'ecologische werkelijkheid', waarbij soms grote ruimtelijke of temporele variaties in aantallen of dichtheden voorkomen. In het kader van deze MER liggen de berekende effecten van de verschillende ecosysteem componenten meestal in de grootteorde van enkele procenten of minder. Bij de beoordeling hiervan is het daarom zinvol om te bekijken hoe deze veranderingen zich verhouden tot de natuurlijke variabiliteit van de betrokken ecosystemen.

Voor de waterbeweging van de Noordzee geldt dat de reststroomdebieten (op jaarbasis) de belangrijkste bron van natuurlijke variatie zijn met name omdat deze worden bepaald door de Kanaaldebieten. Het Kanaal is echter ook de belangrijkste nutriëntenbron van de zuidwestelijke Noordzee. Omdat het om een heel grote stroom gaat, die bovendien op korte termijn (uren) sterk varieert, worden de Kanaaldebieten meestal geschat op basis van modelsimulaties. De maximale variabiliteit daarin is in de orde van *100 procent* op jaarbasis. Als regel zijn de debietverschillen kleiner. Iets soortgelijks geldt voor de uitwisseling tussen Noordzee en Waddenzee. Ook hiervoor geven modellen en metingen in één van de zeegaten (Marsdiep) aan dat er grote variaties in de debieten en dus in de transporten van nutriënten zijn.

Ook voor het slibgehalte geldt dat er grote variaties voorkomen. De karakteristieke tijdschaal hiervan is echter korter dan van de waterbeweging, met name doordat variaties in windsterkte heel snel (grote) variaties veroorzaken in hoeveelheden slib in de waterkolom. Jaarlijkse variaties liggen in de orde van *tientallen procenten*, variaties op de tijdschaal van weken kunnen oplopen tot *een factor 5* of zelfs meer.

De jaarlijkse primaire productie hangt af van de beschikbaarheid van lichtenergie en nutriënten. Jaarlijkse variaties in instraling in het gebied van de Noordzee zijn klein: het verschil tussen een zonnig en een somber jaar ligt in de orde van *10 procent*. Variaties in verticale menging en in zwevend stof hebben een veel groter effect op de beschikbaarheid van licht voor de primaire productiviteit met name wat betreft de start van de voorjaarsbloei. De aanvoer van nutriënten wordt behalve door variaties in Kanaaldebieten en in de Kustzone en Waddenzee sterk bepaald door de aanvoer vanuit de rivieren, waarbij de Rijn en Maas (Nieuwe Waterweg + Haringvliet) overheersen. Ook hiervoor geldt dat op korte termijn (orde week tot maand) variaties tot orde *100 procent* voorkomen, maar de jaarlijkse variaties zijn in de orde van *tientallen procenten*. Behalve de productiviteit is ook de sterfte van fytoplankton door sterfte en graas aan variaties onderhevig, maar kwantificering hiervan is veel lastiger en feitelijk niet mogelijk.

Uit de metingen blijkt dat de jaarlijkse variatie in het chlorofylgehalte als maat voor de fytoplanktonbiomassa als regel orde 10 procent bedraagt met uitschieters tot 50 procent (zie Figuur 5.1). Gedurende het seizoen is de variabiliteit groter, met name tijdens de voorjaarsbloei waarbij variaties in de orde van *100 procent* niet uitzonderlijk zijn. Het moment waarop de voorjaarsbloei begint, kan variëren over een periode van enkele weken.



Figuur 5.1 Chlorofylconcentraties ($\mu\text{g/l}$) bij een aantal meetpunten voor de jaren 2008 tot en met 2011.

Variaties in hoeveelheden schelpdieren hangen enerzijds af van de al genoemde variaties in stroming (voedselaanvoer), slib (hinderlijk) en fytoplankton (voedsel), anderzijds van habitatkarakteristieken als de beschikbaarheid van geschikt substraat, verstoring (visserij) en succes van de broedval (o.a. beïnvloed door het weer, maar ook door allerlei biotische processen). Dit alles leidt ertoe dat de waargenomen jaarlijkse variaties in de hoeveelheden mosselen in de Waddenzee groot kunnen zijn. Binnen een jaar varieert de massa van een enkel schelpdier soms met een factor twee (veel vlees aan het begin, en weinig aan het einde van de winterperiode), en zorgt predatie vaak voor een afname in de schelpdierpopulatie van 30%. Dit leidt er toe dat de variatie binnen een jaar 50-70% kan bedragen. Door onregelmatige reproductie kan een dergelijke variatie (het verschil tussen het maximale en het minimale bestand) over een aantal jaren nog versterkt worden.

Tabel 5.1 Globale vergelijking (orde van grootte) van de berekende effecten van de scenario's met de natuurlijke variabiliteit voor enkele belangrijke toestandsgrootheden. De getallen zijn slechts indicatief.

Toestandsgrootheid	Natuurlijke variatie	Effect scenario's
Slib (per maand)	100%	10%
Slib (per jaar)	50%	5%
Chlorofyl (start voorjaarsbloei)	± 1 maand	0 tot - 5 dagen
Chlorofyl (hoogte voorjaarsbloei)	± 80%	- 5% - 0%
Chlorofyl (jaargemiddeld)	± 25%	- 5% tot +2%
Chlorofyl (Waddenzee GEM) (Keetels e.a. 2012)	± 25%	- 1% tot 0%
Chlorofyl (Waddenzee ECOWASP) (Brinkman 2012)	± 25%	-10 tot + 10%
Mosselen (Waddenzee) (Brinkman 2012)	± 500%	0 tot - 2%

Nota bene: het verschil in respons van berekend chlorofyl van GEM en ECOWASP in de Waddenzee wordt veroorzaakt door de eerder vermelde verschillen in procesformulering. In GEM is de sterfte afhankelijk van de limitatie en de temperatuur en evenredig met de biomassa. Doordat ten gevolge van de zandwinning de slibgehalten in de Waddenzee stijgen, daalt de primaire productie en dus ook de biomassa van fytoplankton. Dus er is per definitie een afname, ook al is deze klein. In ECOWASP is graas door mosselen een belangrijke sterfteoorzaak van het fytoplankton die wordt beschreven met behulp van een predator - prooi relatie tussen fytoplankton en mosselen. Van belang hierbij is dat de karakteristieke tijdschalen van fytoplankton (orde dagen) en mosselen (orde jaren) sterk verschillen. Dat leidt ertoe dat een aanvankelijke daling van de primaire productie door toename van het slibgehalte (net zoals in GEM) leidt tot een daling van de hoeveelheid mosselen, waardoor de graasdruk afneemt en het fytoplankton gehalte in volgende jaren periodiek zelfs kan stijgen in vergelijking tot de autonome situatie.

Dit verschil in interne dynamiek is tevens de belangrijkste verklaring voor het verschil in gedrag tussen GEM en ECOWASP gedurende de simulatieperiode. Omdat in GEM de sterfte direct gekoppeld is aan de biomassa en de karakteristieke tijdschaal van de traagste processen circa een tot twee jaar bedraagt, keren de modelresultaten na beëindiging van de zandwinning snel terug naar de waarden van de autonome ontwikkeling. Doordat in ECOWASP de interactie fytoplankton - mosselen een langere tijdschaal heeft, duurt het ook veel langer voor de scenario effecten volledig zijn uitgedoofd.

Samenvattend betekent dit dat de in deze MER berekende effecten van de verschillende scenario's klein, soms zelfs heel klein zijn ten opzichte van de waargenomen natuurlijke variabiliteit van slib, fytoplankton en mosselen. Toch moet worden benadrukt dat dit niet voldoende is om de effecten te verwaarlozen: zo zou bijvoorbeeld een stijging van de gemiddelde jaartemperatuur van twee graden relatief klein zijn ten opzichte van de natuurlijke variabiliteit, maar mogelijk tot dramatische gevolgen leiden. Daarbij moet wel opgemerkt worden dat al deze modellen deterministisch zijn en dus slechts één mogelijke nieuwe toestand berekenen. Dat leidt ertoe dat in de meeste modellen de veranderingen altijd in een bepaalde richting zijn (slib is groter of gelijk, chlorofyl is kleiner of gelijk, *Ensis* is kleiner of gelijk). In ECOWASP kunnen in bepaalde jaren de veranderingen soms van teken omslaan. Gezien de grootte van de natuurlijke variabiliteit kan de daadwerkelijk gerealiseerde verandering gerekend over een periode van bijvoorbeeld vijf of tien jaar flink afwijken van de gemiddeld door de modellen berekende verandering. De grootste natuurlijke variaties zijn waargenomen voor de hoeveelheden mosselen in de Waddenzee. Vermoedelijk worden deze veroorzaakt door eerder genoemde relevante factoren zoals de habitatgeschiktheid, broedval

en visserij, waarvan de laatste niet expliciet binnen ECOWASP wordt gemodelleerd, en de eerste weliswaar is gemodelleerd, maar niet geëffectueerd.

Gezien de nauwkeurigheid waarmee schelpdierbestanden kunnen worden bepaald, chlorofylgehaltenes of primaire producties kunnen worden gemeten betekent dat het op basis van toekomstige metingen niet mogelijk zal zijn om de in verhouding kleine met behulp van ECOWASP cq GEM berekende veranderingen in mosseldichtheden, chlorofylgehaltenes of primaire productie in het veld aan te tonen.

Additionele betekenis effecten MER ten opzichte van andere activiteiten: Naast de voorgenomen activiteiten in het kader van deze MER, vindt een aantal andere activiteiten plaats zoals de aanleg van de zandmotor voor de kust van Zuid-Holland, de aanleg van de tweede Maasvlakte, de reductie van rivierbelastingen in het kader van de KRW etc. Algemeen geldt dat dit soort maatregelen binnen een MER onderdeel uitmaken van 'autonome ontwikkeling' en dus niet expliciet zichtbaar worden gemaakt. Voor een aantal onderdelen van de autonome ontwikkeling zijn weliswaar aparte MER-studies uitgevoerd, maar vergelijking van resultaten is niet zondermeer mogelijk door verschillen in methodiek. De indicatie van de cumulatieve effecten van alle andere maatregelen kan wel worden afgeleid uit een vergelijking van autonome ontwikkeling met de huidige situatie. Hieruit blijkt dat met name

- de gecombineerde zandwinning ten behoeve van andere ingrepen (combinatie van de tweede Maasvlakte, ophoogzand, WCT, etc.) als
 - de nutriëntenreductie ten gevolge van de KRW,
- globaal gesproken grotere effecten teweeg brengen dan die van deze MER.

5.5 Conclusies m.b.t. slib, doorzicht, en primaire productie

In deze studie wordt het effect van de zandwinning op het troebelheid en de primaire productie in de gehele Nederlandse kustzone gekwantificeerd middels gedetailleerde numerieke modelberekeningen. Die berekeningen dienen als onderbouwing voor de milieueffect rapportage ten behoeven van de winning van suppletiezand voor het reguliere onderhoud van het kustfundament 2013-2017.

Vier verschillende zandwinscenario's zijn gesimuleerd met het ZUNO-DD model. Op basis van de resultaten kan worden geconcludeerd dat het slib zich netto in noordelijke richting verplaatst. Tijdens rustig weer heeft het slib tijd om zich in de bodem te settelen, terwijl het tijdens stormen wordt opgewoeld en in suspensie wordt gebracht. Wanneer het slib zich in de waterkolom, en dus niet in de bodem, begeeft wordt het door golf- en getijgedreven stromingen getransporteerd. Bij de simulaties zijn enkele aannamen gedaan die over het algemeen conservatief zijn.

In dit rapport zijn met name de effecten in de Natura 2000-gebieden (in de Voordelta, Noordzee Kustzone en Waddenzee) uitgebreid belicht. De modelresultaten laten zien een duidelijk effect van de zandwinactiviteiten wat betreft slibconcentraties. In vergelijking met de autonome situatie (bestaande uit de natuurlijke achtergrondconcentraties, de reeds gegunde zandwinningen en de voorkeursvariant van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier) leveren de zandwinscenario's over het algemeen een effect op van maximaal 1 à 8% toename in jaargemiddelde slibconcentraties in de Noordzee en Waddenzee.

Het effect op chlorofylconcentraties en primaire productie van drie van die zandwinscenario's is daarna gesimuleerd met ecologische module van het ZUNO-DD model. In dit rapport zijn met name de effecten in de Natura 2000-gebieden (in de Voordelta, Noordzee Kustzone en

Waddenzee) uitgebreid belicht. Uit de modelresultaten blijkt dat de te verwachten effecten van de zandwinactiviteiten wat betreft chlorofylconcentraties en primaire productie relatief klein zijn. In vergelijking met de autonome situatie (bestaande uit de natuurlijke achtergrondconcentraties, de reeds gegunde zandwinningen en de voorkeursvariant van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier) leveren de zandwinscenario's over het algemeen een effect op van enkele procenten.

In vrijwel alle vakken wordt een effect van zandwinning op primaire productie en chlorofylconcentraties gevonden. Die effecten uiten zich overwegend in lagere jaargemiddelde chlorofylconcentraties dan in het autonome scenario, maar er zijn enkele uitzonderingen zoals de Voordelta 2Z. De maximale jaargemiddelde afname in chlorofylconcentraties bereikt is maximaal 5.5% (Vlakte van Raan z, 2016, scenario GR3). Ten gevolge van de zandwinning is in veel vakken de piek van de voorjaarsbloei lager, maar breder.

6 Referenties

- Aarninkhof, S.G.J., J.R. Spearman, A.F.M. de Heer, M. van Koningsveld, 2010. "Dredging-induced turbidity in a natural context status and future perspective of the TASS program". WODCON conferentie, 09-2010 Shanghai
- Brinkman, A. G., 2012. "Zandwinning in de Nederlandse kustzone 2013-2017 en productie in de westelijke Waddenzee, een modelstudie". IMARES.
- Harezlak, V., A. van Rooijen, Y. Friocourt, T. van Kessel, en H. Los, 2012. "Winning suppletiezand voor herstel zwakke schakels Noord-Holland. Scenariostudies m.b.t. slibtransport, nutriënttransport en primaire productie voor de periode 2013-2014." Deltares, 1204963.
- Hitchcock, D. R. en S. Bell, 2004. "Physical impacts of marine aggregate dredging on seabed resources in coastal deposits", *Journal of Coastal Research*, 20(1), 101-114, doi:10.2112/1551-5036(2004)20[101:PIOMAD]2.0.CO;2.
- Keetels, G., V. Harezlak, T. van Kessel, Y. Friocourt, A. van Rooijen, T. van der Kaaij, en H. Los, 2012. "Winning suppletiezand Noordzee 2013-2017. Validatierapport". Deltares, 1204963.
- Kooijman, S. A. L. M., 2010. "Dynamic Energy Budget theory for metabolic organisation, 3rd edition", Cambridge University Press, Cambridge.
- Los, F.J., en M. Blaas, 2010. "Complexity, accuracy and practical applicability of different biogeochemical model versions", *Journal of Marine Systems*, 81(1-2), 44-74, doi:10.1016/j.jmarsys.2009.12.011.
- Los, F.J., M. T. Villars, en M. W. M. Van der Tol, 2008. "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*, 74(1-2), 259-294, doi:10.1016/j.jmarsys.2008.01.002.
- Schellekens, T., 2012. "Groei en conditie van zwaardschede (*Ensis directus*, Conrad) voor, tijdens en na geplande zandwinning in 2013-2017". IMARES.
- Spearman, J.R., A.F.M. de Heer, S.G.F. Aarninkhof, M. van Koningsveld, 2011. "Validation of the Tass System for Predicting the Environmental Effects of Trailing Suction Hopper Dredgers". *Terra et Aqua* 125: 14-22
- Van Heteren, S., P. Kiden en J.M.M. Hettelaar, 2006. "Inventarisatie slibgehalte Noordzeebodem tussen Hoek van Holland en Den Helder". TNO Bouw en Ondergrond. TNO-rapport 2006-U-R0192/C.
- Van Kessel, T., H. Winterwerp, B. van Prooijen, M. van Ledden, W. Borst, 2010. "Modelling the seasonal dynamics of SPM with a simple algorithm for the buffering of fines in a sandy seabed". *Continental Shelf Research*, doi:10.1016/j.csr.2010.04.008

- Van Kessel, T., M.C. van Oeveren-Theeuwes, en A.A. van Rooijen, 2012. "Kalibratie slibtransportmodel aan de hand van Cadmium-metingen, Voortgangsverslag Fase 2". Deltares, Report 1203191-000.
- Van Ledden, 2006. "Impact sand extraction Maasvlakte 2. Mud transport, nutrients and primary production". Royal Haskoning report 9P7008.O9.
- Van Oeveren-Theeuwes, M.C., 2011. "Validation of the mud buffer model for mud transport in the North Sea coastal zone, on the basis of long-term measurements of Cd concentrations". Deltares, Report 1203191-000.
- Van Prooijen, B., B. Blik, H. Los, en X. Desmit, 2007. "Winning suppletiezand Noordzee 2008-2012. Slibtransport, nutriëntentransport en primaire productie". Svašek en WL | Delft Hydraulics, BvP/1414/07376C.
- Van Prooijen B., M. van Ledden, T. van Kessel, A. Nolte, F. Los, J. Boon, W. de Jong, 2006. "Impact sand extraction Maasvlakte 2", Royal Haskoning, Svasek Hydraulics and WL | Delft Hydraulics
- Witteveen+Bos, 2008. "Analyse van de effecten van de KRW-maatregelen op de waterkwaliteit in de Rijkswater", W+B rapport, Deventer.

A Definitie van de scenario's

Op de volgende pagina's zijn alle zandwinningen behorende bij de vier scenario's weergegeven per zandwinlocatie voor de periode 2013 tot en met 2017.

Tabel A.1 Overzicht van de zandwinactiviteiten (Mm³ per jaar) behorende bij scenario SR1 (kustwaarts 900m).

	Wingebied	voor 1/1/2013	2013	2014	2015	2016	2017	vanaf 1/1/2018
Delta	Zeeuws Vlaanderen	0.00	0.00	0.75	0.75	0.50	0.50	0.00
	Walcheren	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	0.00
	Walcheren NW	0.00	0.00	0.75	1.75	1.00	0.00	0.00
	Noord-Beveland	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	2.00	0.00
	Schouwen	0.00	2.00	0.00	1.33	2.33	2.33	0.00
	Goeree	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00
	Voorne	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00
Zuid-Holland	Delfland Zuid (HvH-Scheveningen)	0.00	1.00	1.00	0.00	0.50	1.50	0.00
	Rijnland Zuid (Scheveningen-K'wijk/Nwijk)	0.00	1.33	1.33	0.00	0.50	1.83	0.00
	Zandvoort	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1.50	0.00
Noord-Holland	Heemskerk	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1.50	0.00
	Bergen-Edmond	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	0.00
	Petten (zonder versterking)	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00
	Callantsoog	0.00	1.33	1.33	0.00	0.50	1.83	0.00
	Julianadorp	0.00	0.00	0.00	0.75	0.75	0.00	0.00
	Den Helder	0.00	1.33	1.33	1.33	2.00	2.00	0.00
Wadden	Texel ZW	0.00	0.66	0.00	0.00	0.66	0.66	0.00
	Texel Midden	0.00	0.00	3.00	3.50	0.50	0.00	0.00
	Texel Noord	0.00	0.00	0.00	1.00	1.50	0.50	0.00
	Vlieland Oost	0.00	1.00	0.00	0.00	1.50	1.50	0.00
	Ameland West	0.00	0.00	1.50	1.50	0.00	0.00	0.00
	Ameland Midden	0.00	0.00	2.50	4.50	2.00	0.00	0.00
TOTAAL		0.00	10.15	14.49	20.91	22.24	18.65	0.00

Tabel A.2 Overzicht van de zandwinactiviteiten (Mm³ per jaar) behorende bij scenario SR2 (kustwaarts 100m).

	Wingebied	voor 1/1/2013	2013	2014	2015	2016	2017	vanaf 1/1/2018
Delta	Zeeuws Vlaanderen	0.00	0.00	0.75	0.75	0.50	0.50	0.00
	Walcheren	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	0.00
	Walcheren NW	0.00	0.00	0.75	1.75	1.00	0.00	0.00
	Noord-Beveland	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	2.00	0.00
	Schouwen	0.00	2.00	0.00	1.33	2.33	2.33	0.00
	Goeree	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00
	Voorne	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00
Zuid-Holland	Delfland Zuid (HVH-Scheveningen)	0.00	1.00	1.00	0.00	0.50	1.50	0.00
	Rijnland Zuid (Scheveningen-K'wijk/N'wijk)	0.00	1.33	1.33	0.00	0.50	1.83	0.00
	Zandvoort	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1.50	0.00
Noord-Holland	Heemskerk	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1.50	0.00
	Bergen-Edmond	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	0.00
	Petten (zonder versterking)	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00
	Callantsoog	0.00	1.33	1.33	0.00	0.50	1.83	0.00
	Julianadorp	0.00	0.00	0.00	0.75	0.75	0.00	0.00
	Den Helder	0.00	1.33	1.33	1.33	2.00	2.00	0.00
	Texel ZW	0.00	0.66	0.00	0.00	0.66	0.66	0.00
	Texel Midden	0.00	0.00	3.00	3.50	0.50	0.00	0.00
	Texel Noord	0.00	0.00	0.00	1.00	1.50	0.50	0.00
	Vlieland Oost	0.00	1.00	0.00	0.00	1.50	1.50	0.00
	Ameland West	0.00	0.00	1.50	1.50	0.00	0.00	0.00
	Ameland Midden	0.00	0.00	2.50	4.50	2.00	0.00	0.00
TOTAAL		0.00	10.15	14.49	20.91	22.24	18.65	0.00

Tabel A.3 Overzicht van de zandwinactiviteiten (Mm³ per jaar) behorende bij scenario SR3 (zeewaarts).

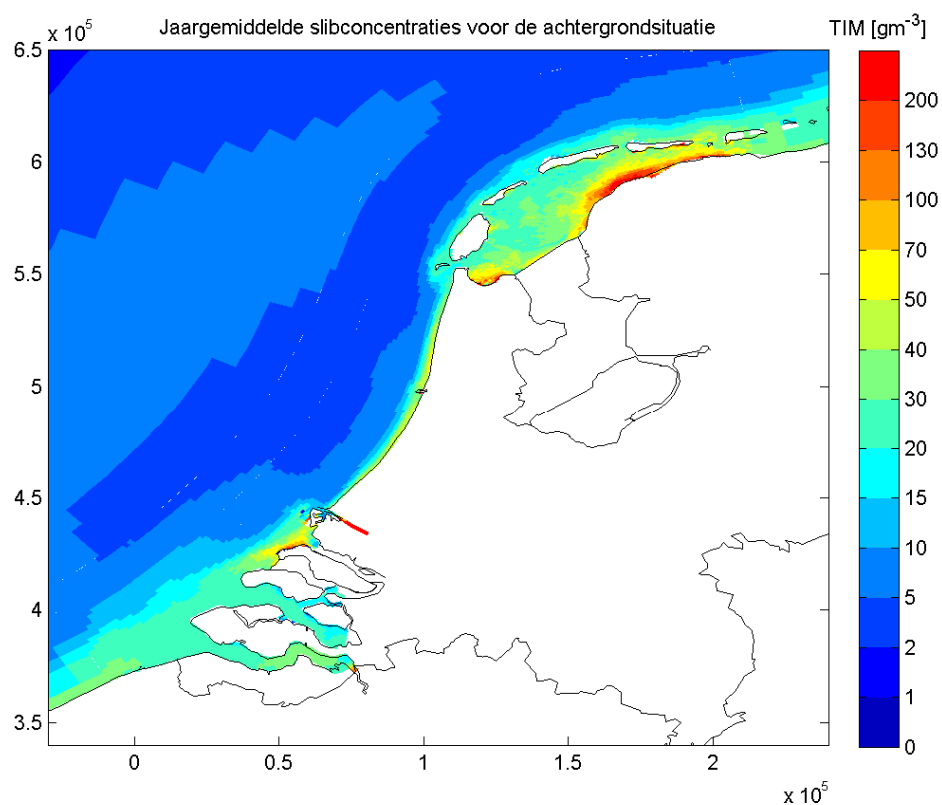
	Wingebied	voor 1/1/2013	2013	2014	2015	2016	2017	vanaf 1/1/2018
Delta	Zeeuws Vlaanderen	0.00	0.00	0.75	0.75	0.50	0.50	0.00
	Walcheren	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	0.00
	Walcheren NW	0.00	0.00	0.75	1.75	1.00	0.00	0.00
	Noord-Beveland	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	2.00	0.00
	Schouwen	0.00	2.00	0.00	1.33	2.33	2.33	0.00
	Goeree	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00
	Voorne	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00
Zuid-Holland	Delfland Zuid (HvH-Scheveningen)	0.00	1.00	1.00	0.00	0.50	1.50	0.00
	Rijnland Zuid (Scheveningen-K'wijk/N'wijk)	0.00	1.33	1.33	0.00	0.50	1.83	0.00
	Zandvoort	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1.50	0.00
	Heemskerk	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1.50	0.00
Noord-Holland	Bergen-Edmond	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	0.00
	Petten (zonder versterking)	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00
	Callantsoog	0.00	1.33	1.33	0.00	0.50	1.83	0.00
	Julianadorp	0.00	0.00	0.00	0.75	0.75	0.00	0.00
	Den Helder	0.00	1.33	1.33	1.33	2.00	2.00	0.00
Wadden	Texel ZW	0.00	0.66	0.00	0.00	0.66	0.66	0.00
	Texel Midden	0.00	0.00	3.00	3.50	0.50	0.00	0.00
	Texel Noord	0.00	0.00	0.00	1.00	1.50	0.50	0.00
	Vlieland Oost	0.00	1.00	0.00	0.00	1.50	1.50	0.00
	Ameland West	0.00	0.00	1.50	1.50	0.00	0.00	0.00
	Ameland Midden	0.00	0.00	2.50	4.50	2.00	0.00	0.00
TOTAAL		0.00	10.15	14.49	20.91	22.24	18.65	0.00

Tabel A.4 Overzicht van de zandwinactiviteiten (Mm³ per jaar) behorende bij scenario SR4 (diepe winning).

	Wingebied	voor 1/1/2013	2013	2014	2015	2016	2017	vanaf 1/1/2018
Delta	Zeeuws Vlaanderen	0.00	0.00	0.75	0.75	0.50	0.50	0.00
	Walcheren	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	0.00
	Walcheren NW	0.00	0.00	0.75	1.75	1.00	0.00	0.00
	Noord-Beveland	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	2.00	0.00
	Schouwen	0.00	2.00	0.00	1.33	2.33	2.33	0.00
	Goeree	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00
	Voorne	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00
Zuid-Holland	Delfland Zuid (HVH-Scheveningen)	0.00	1.00	1.00	0.00	0.50	1.50	0.00
	Rijnland Zuid (Scheveningen-K'wijk/N'wijk)	0.00	1.33	1.33	0.00	0.50	1.83	0.00
	Zandvoort	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1.50	0.00
Noord-Holland	Heemskerk	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1.50	0.00
	Bergen-Emond	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	0.00
	Petten (zonder versterking)	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00
	Callantsoog	0.00	1.33	1.33	0.00	0.50	1.83	0.00
	Julianadorp	0.00	0.00	0.00	0.75	0.75	0.00	0.00
	Den Helder	0.00	1.33	1.33	1.33	2.00	2.00	0.00
Wadden	Texel ZW	0.00	0.66	0.00	0.00	0.66	0.66	0.00
	Texel Midden	0.00	0.00	3.00	3.50	0.50	0.00	0.00
	Texel Noord	0.00	0.00	0.00	1.00	1.50	0.50	0.00
	Vlieland Oost	0.00	1.00	0.00	0.00	1.50	1.50	0.00
	Ameland West	0.00	0.00	1.50	1.50	0.00	0.00	0.00
	Ameland Midden	0.00	0.00	2.50	4.50	2.00	0.00	0.00
TOTAAL		0.00	10.15	14.49	20.91	22.24	18.65	0.00

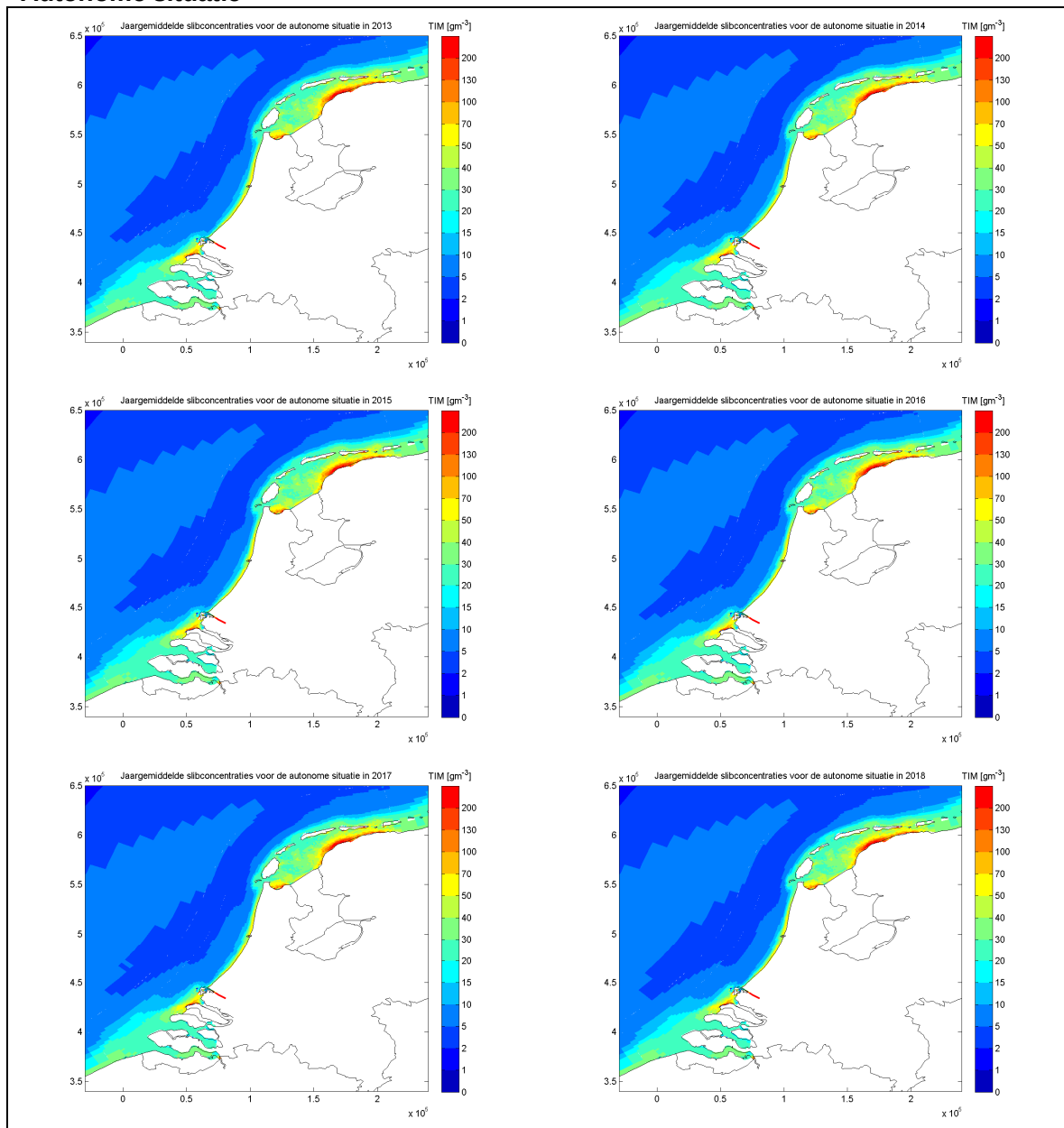
B Bijlage slibmodellering

B.1 Achtergrondconcentraties slib

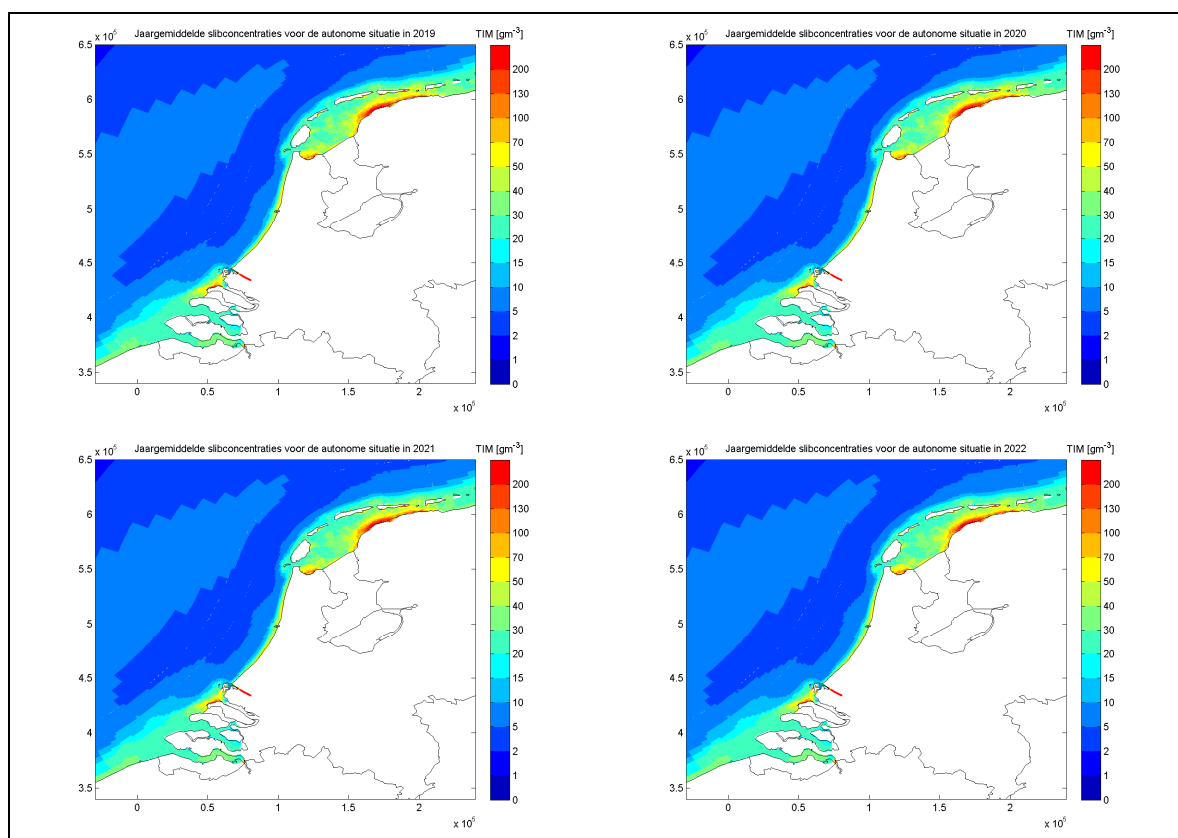


Figuur B.1 Jaargemiddelde natuurlijke (achtergrond) slibconcentraties in de oppervlaktelaag.

B.2 Autonome situatie



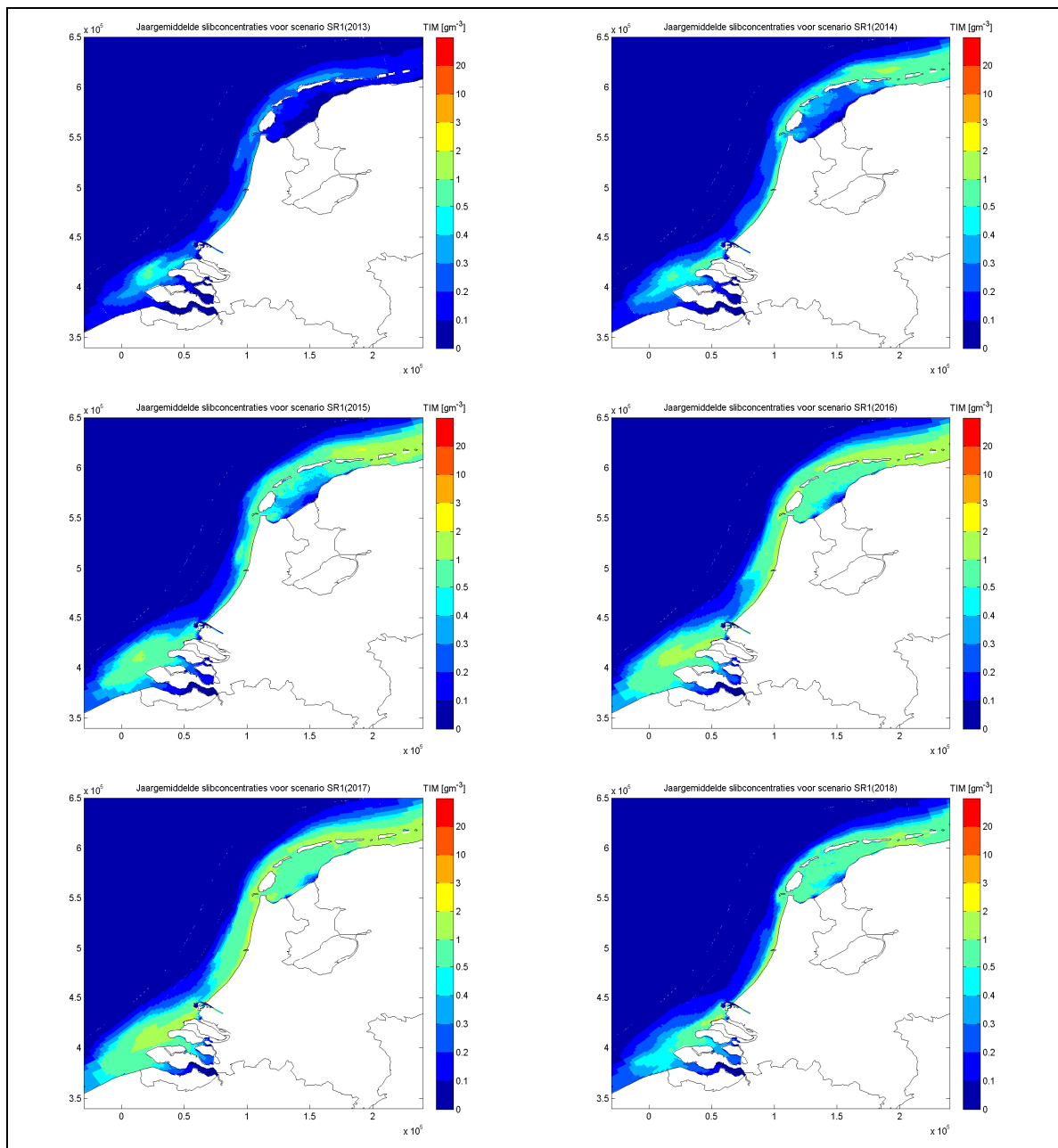
Figuur B.2 Jaargemiddelde slibconcentraties in de oppervlaktelaag voor de autonome situatie (bestaande uit de natuurlijke achtergrond, reeds gegunde zandwinactiviteiten en het voorkeurscenario van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier) voor de periode 2013-2018.



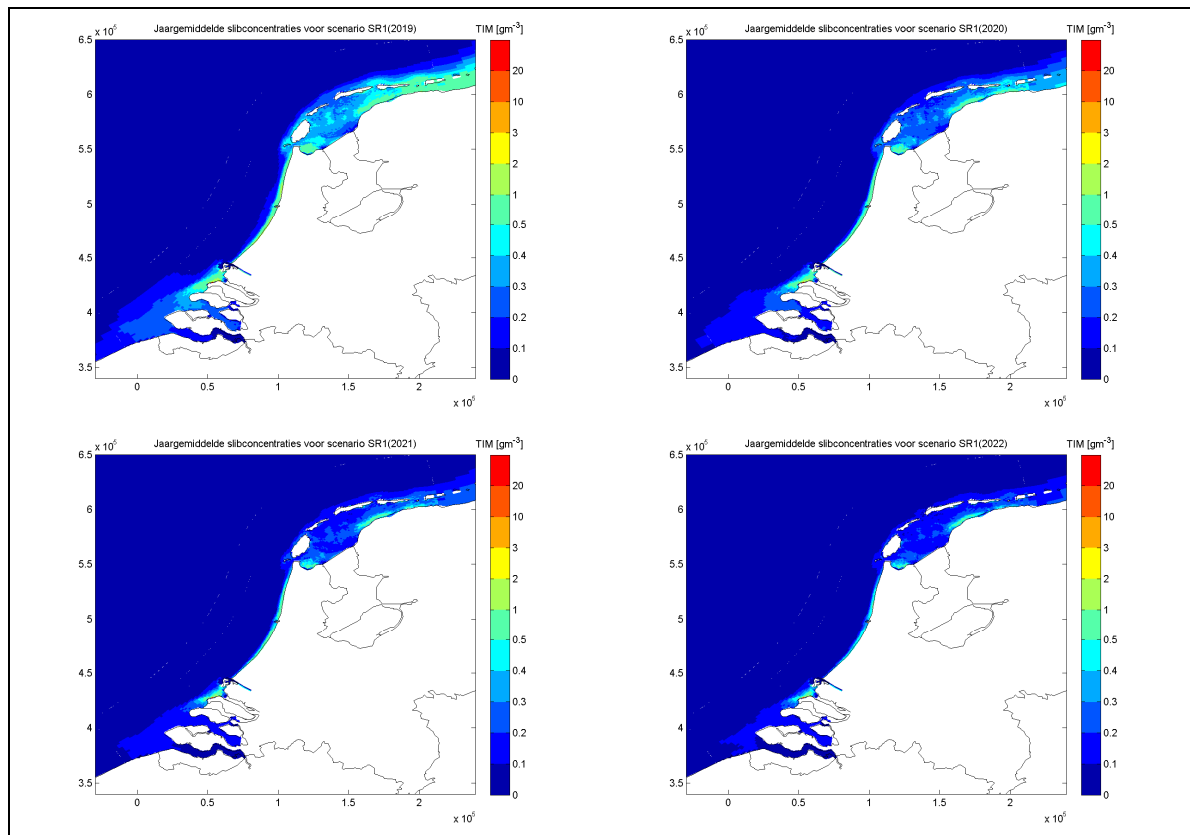
Figuur B.3 Jaargemiddelde slibconcentraties in de oppervlaktelaag voor de autonome situatie (bestaande uit de natuurlijke achtergrond, reeds gegunde zandwinactiviteiten en het voorkeursscenario van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier) voor de periode 2019-2022.

B.3 Effecten zandwinscenario SR1 (kustwaarts 900m)

B.3.1 Absolute slibconcentraties

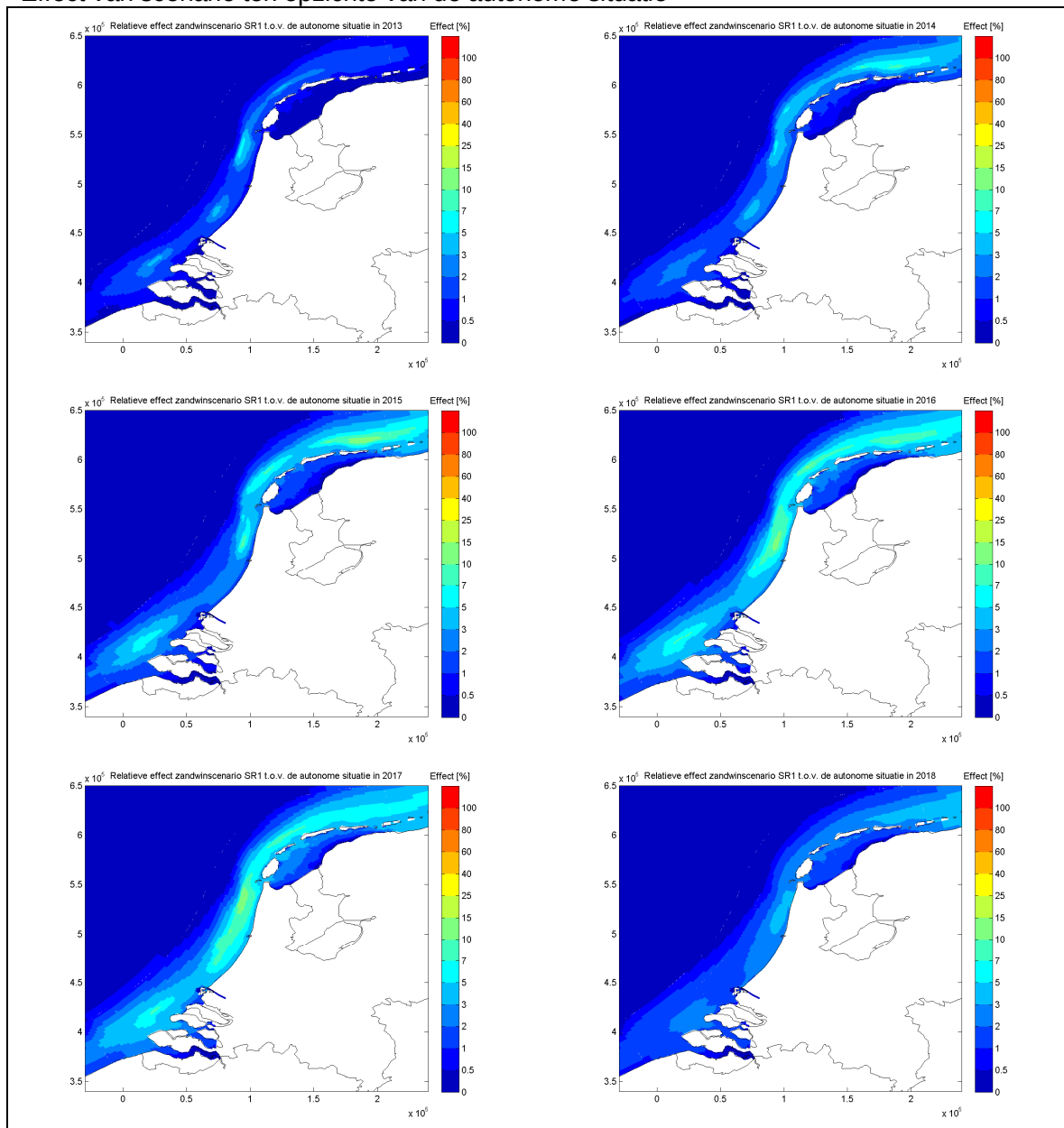


Figuur B.4 Jaargemiddelde slibconcentraties in de oppervlaktelaag als gevolg van scenario SR1 (kustwaarts 900m) voor de periode 2013-2018.

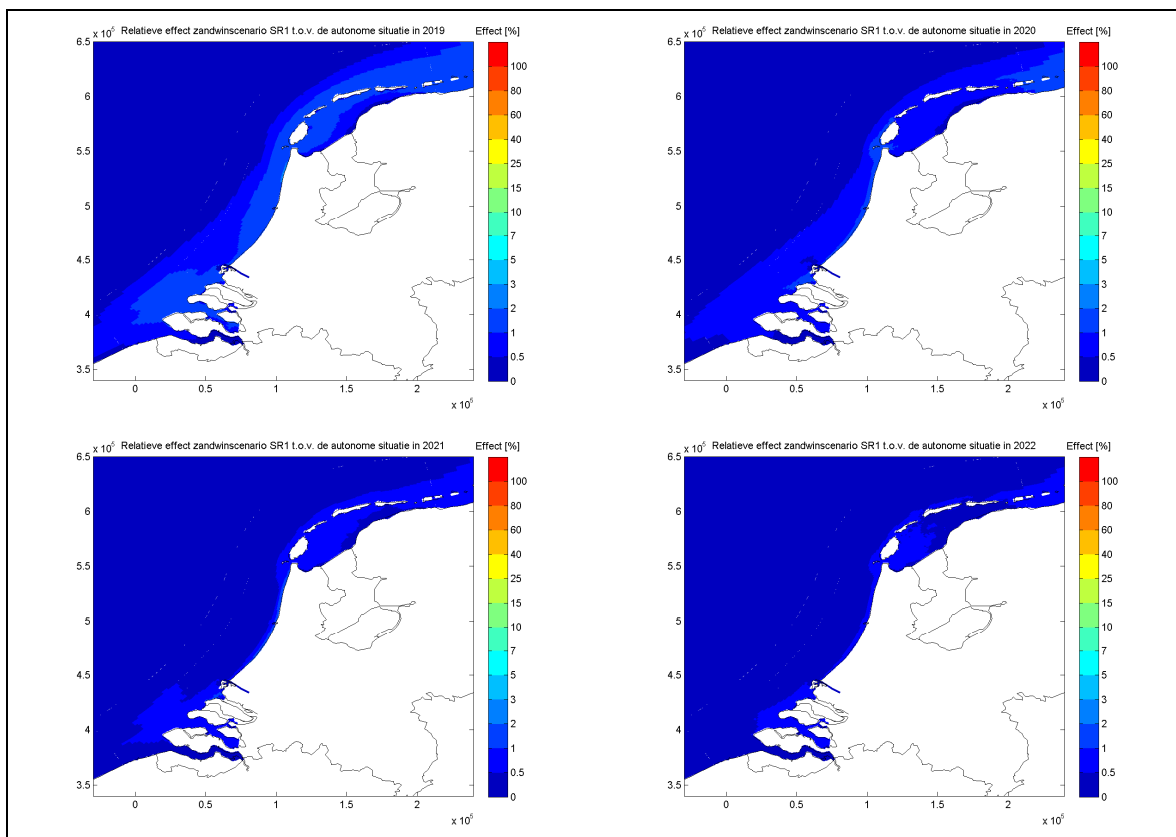


Figuur B.5 Jaargemiddelde slibconcentraties in de oppervlaktelaag als gevolg van scenario SR1 (kustwaarts 900m) voor de periode 2019-2022.

B.3.2 Effect van scenario ten opzichte van de autonome situatie



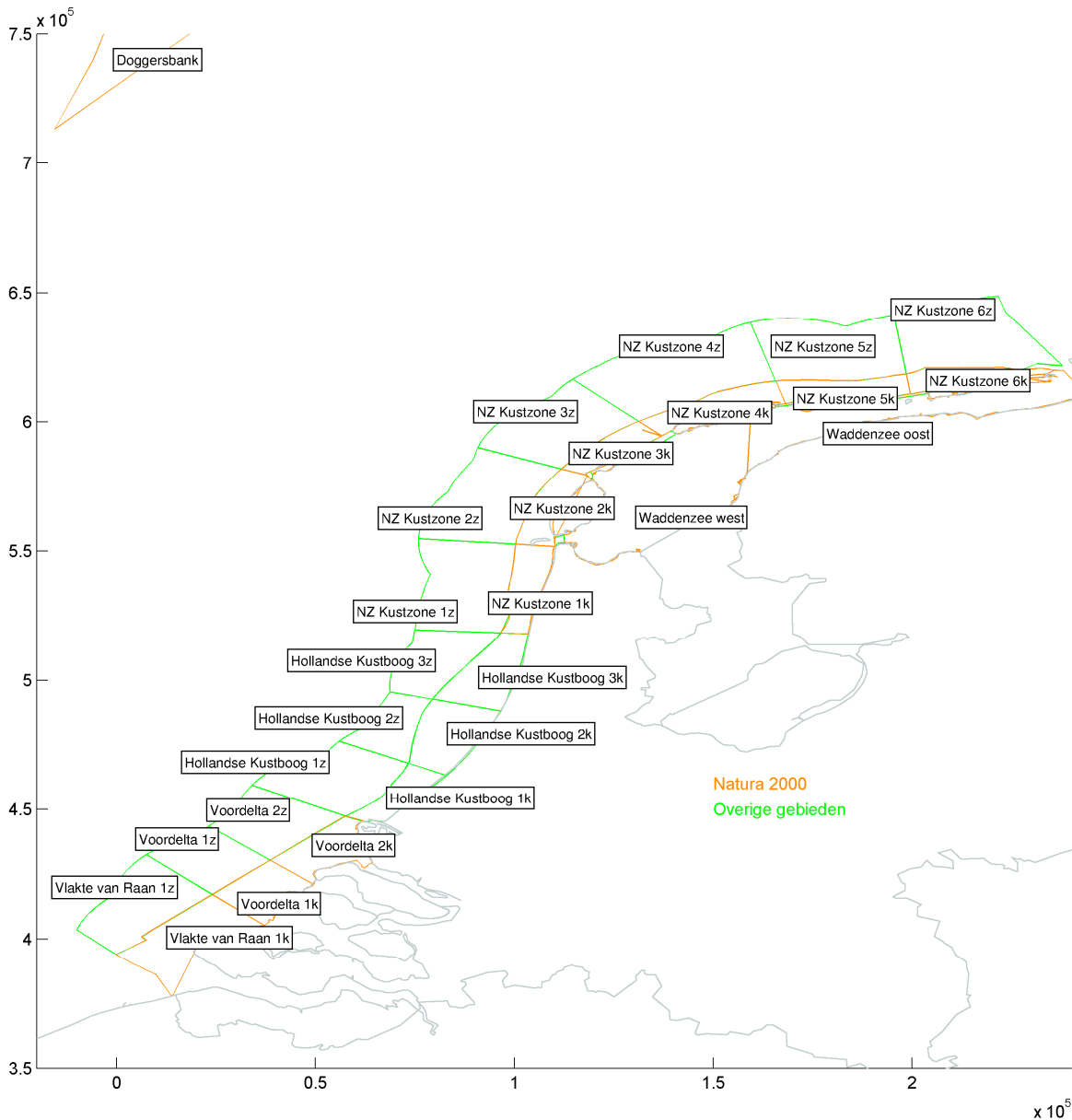
Figuur B.6 Relatief effect van zandwinsten scenario SR1 (kustwaarts 900m) ten opzichte van de autonome situatie (bestaande uit de natuurlijke achtergrond, eerder gegunde zandwinningen en het voorkeurscenario van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier) in de oppervlaktelaag voor de periode 2013-2018.



Figuur B.7 Relatief effect van zandwinsten scenario SR1 (kustwaarts 900m) ten opzichte van de autonome situatie (bestaande uit de natuurlijke achtergrond, eerder gegunde zandwinningen en het voorkeurscenario van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier) in de oppervlaktelaag voor de periode 2019-2022.

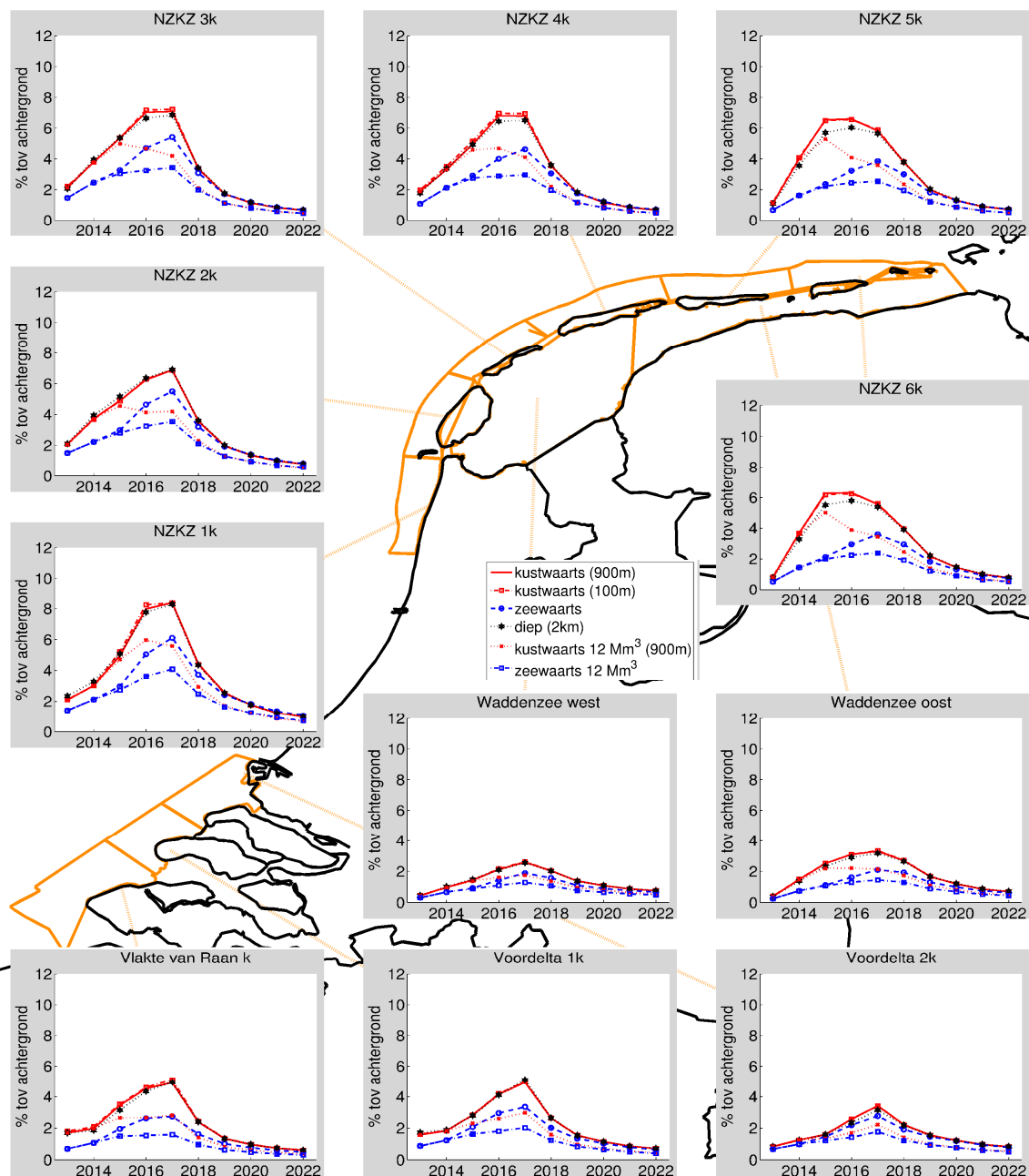
B.4 Vergelijking tussen de verschillende scenario's (figuren)

Om een uitspraak te kunnen doen over het verschil tussen de effecten voor alle vier scenario's, worden de effecten onderling vergeleken waarbij het onderzoeksgebied is opgedeeld in een aantal kleinere gebieden. Deze gebieden bevatten onder andere tien Natura 2000-gebieden. Figuur B.8 geeft een overzicht van de beschouwde gebieden.



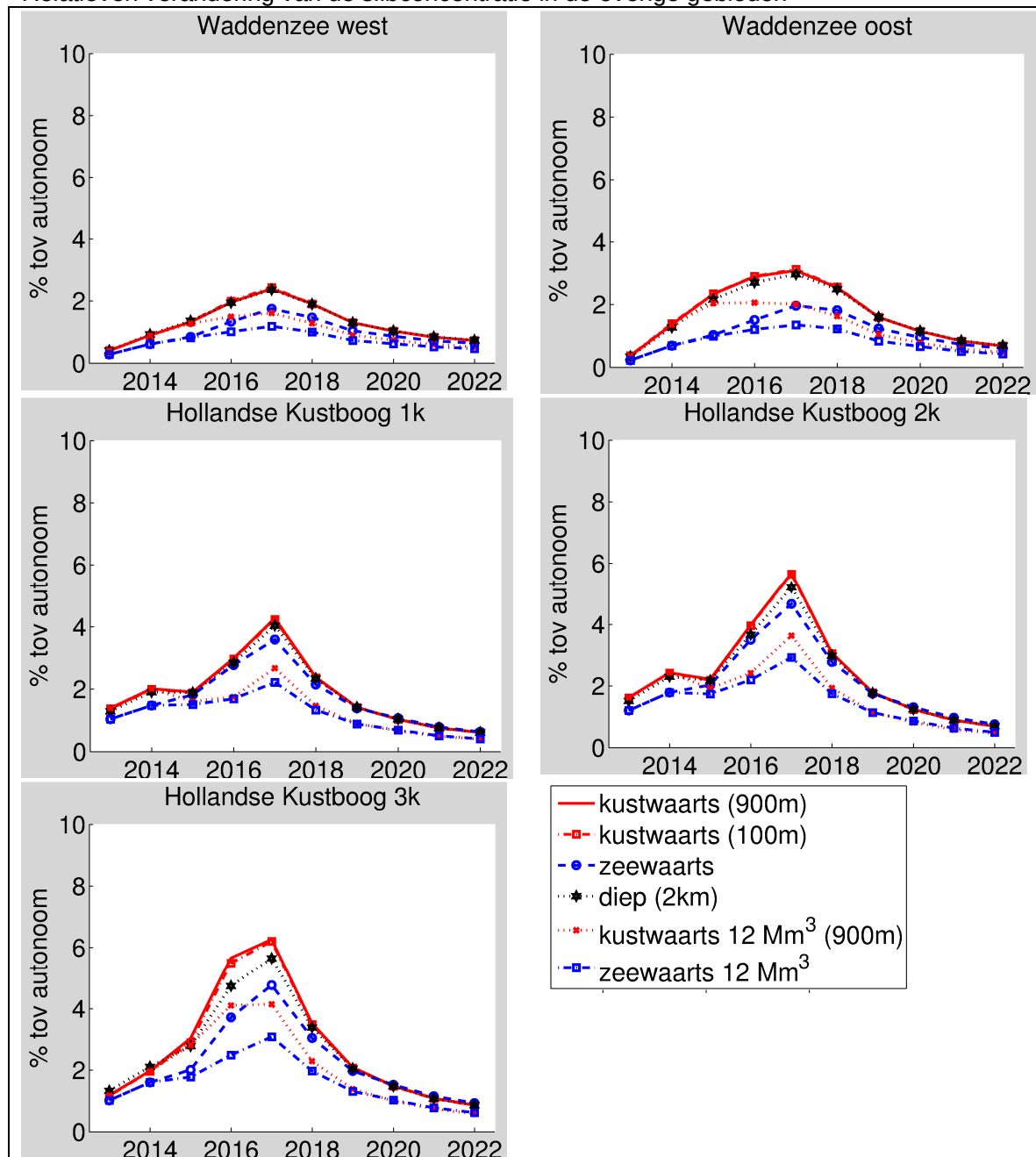
Figuur B.8 Vakindeling Noordzee en Waddenzee

B.4.1 Relatieve slibconcentraties in de Natura 2000-gebieden

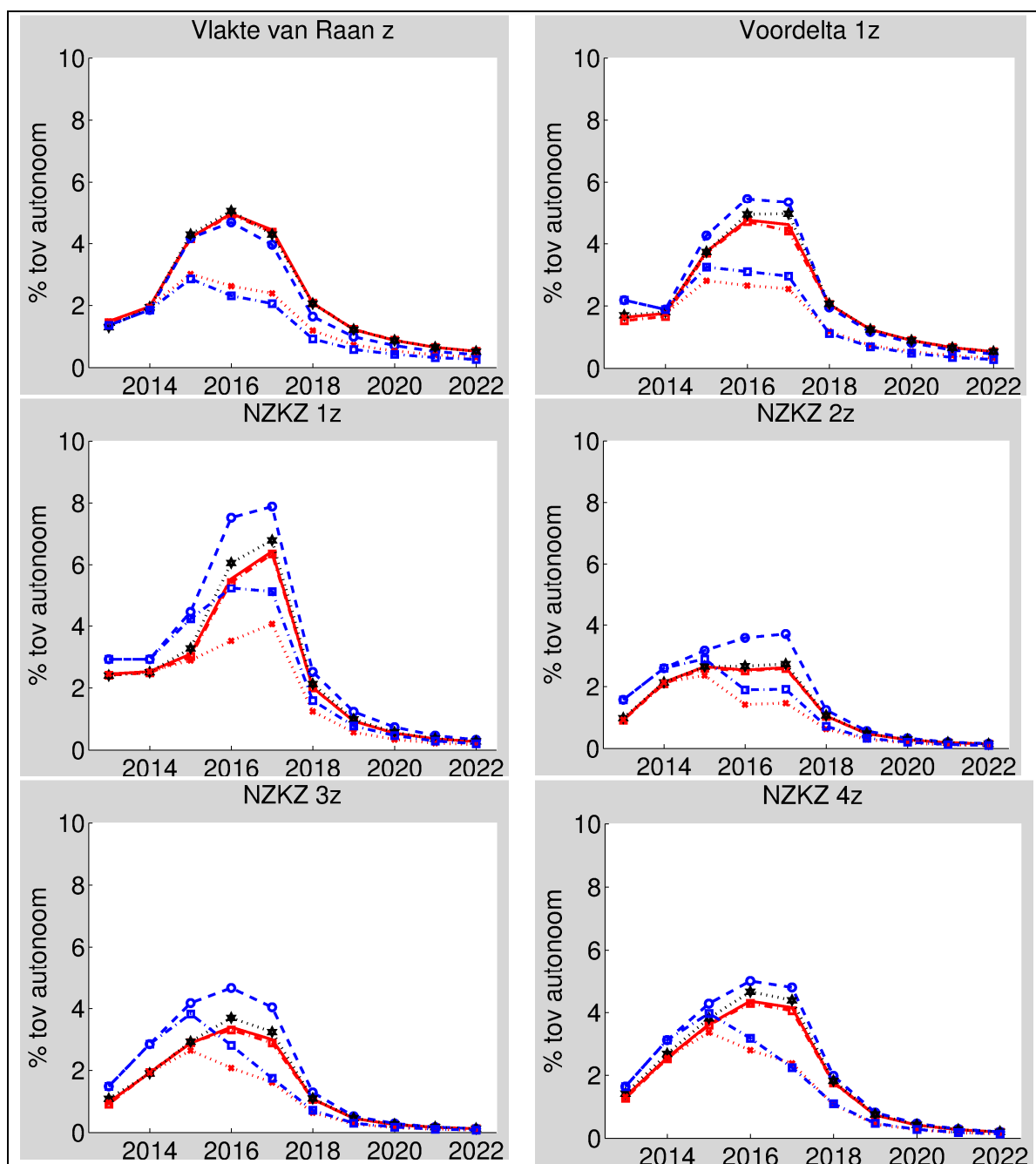


Figuur B.9 Relatieve verandering van de slibconcentraties in de Natura 2000-gebieden als gevolg van de scenario's kustwaarts 900m, kustwaarts 100m, zeewaarts, diep, en de twee beperkte varianten kustwaarts zeewaarts 12 Mm³ ten opzichte van de natuurlijke achtergrond (exclusief autonoom).

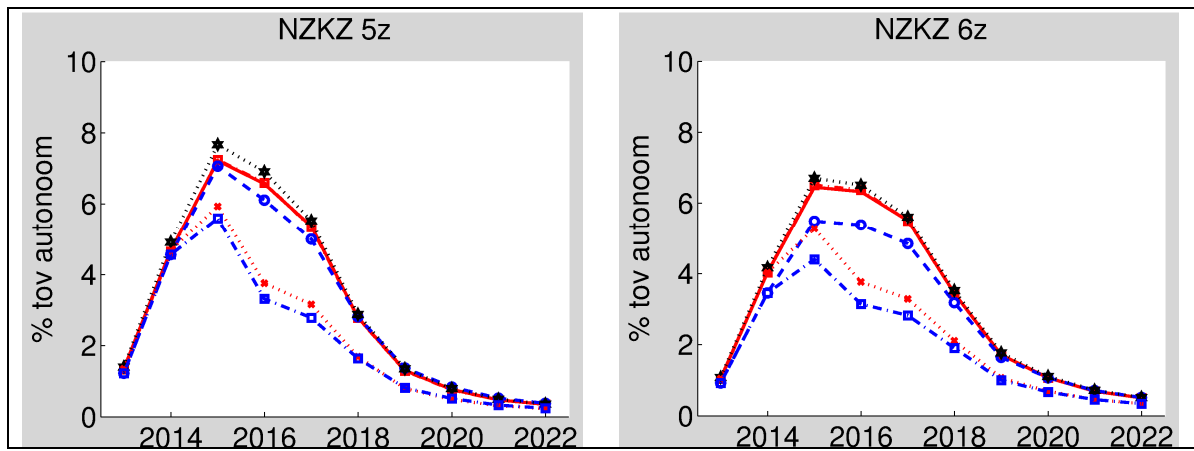
B.4.2 Relatieve verandering van de slibconcentratie in de overige gebieden



Figuur B.10 Relatieve verandering in de tijd van de verschillende scenario's ten opzichte van de autonome situatie (bestaande uit de natuurlijke achtergrond, eerder gegunde zandwinningen en het voorkeursscenario van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier) voor de overige gebieden (1/3).



Figuur B.11 Relatieve verandering in de tijd van de verschillende scenario's ten opzichte van de autonome situatie (bestaande uit de natuurlijke achtergrond, eerder gegunde zandwinningen en het voorkeursscenario van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier) voor de overige gebieden (2/3).



Figuur B.12 Relatieve verandering in de tijd van de verschillende scenario's ten opzichte van de autonome situatie (bestaande uit de natuurlijke achtergrond, eerder gegunde zandwinningen en het voorkeursscenario van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier) voor de overige gebieden (3/3).

B.5 Vergelijking tussen de verschillende scenario's (tabellen)

B.5.1 Relatief effect ten opzichte van de natuurlijke achtergrond

Tabel B.1 Relatieve verandering in slibconcentraties als gevolg van de zandwinscenario's ten opzichte van de natuurlijke achtergrond (in procenten) voor de verschillende gebieden (1/7).

Hollandse Kustboog 2k											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	2.1	3.1	2.8	4.9	6.9	3.6	2.0	1.3	0.9	0.7	
SR1_12M	2.1	3.1	2.4	3.0	4.4	2.2	1.3	0.9	0.6	0.5	
SR2	2.1	3.0	2.7	4.9	6.9	3.5	2.0	1.3	0.9	0.7	
SR3	1.5	2.2	2.5	4.3	5.7	3.2	1.9	1.4	1.0	0.8	
SR3_12M	1.5	2.2	2.2	2.7	3.6	2.0	1.3	0.9	0.7	0.5	
SR4	1.9	2.9	2.7	4.5	6.4	3.5	1.9	1.3	0.9	0.7	
Hollandse Kustboog 1k											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.8	2.5	2.3	3.6	5.2	2.8	1.6	1.1	0.8	0.6	
SR1_12M	1.8	2.5	2.0	2.1	3.2	1.7	1.0	0.7	0.5	0.4	
SR2	1.7	2.5	2.3	3.6	5.1	2.7	1.5	1.1	0.8	0.6	
SR3	1.3	1.8	2.2	3.4	4.4	2.5	1.5	1.1	0.8	0.7	
SR3_12M	1.3	1.8	1.9	2.1	2.7	1.5	1.0	0.7	0.5	0.4	
SR4	1.6	2.4	2.3	3.5	4.9	2.7	1.6	1.1	0.8	0.6	
Hollandse Kustboog 3k											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.5	2.5	3.8	7.0	7.7	4.1	2.3	1.6	1.2	0.9	
SR1_12M	1.5	2.5	3.5	5.1	5.1	2.7	1.5	1.1	0.8	0.6	
SR2	1.5	2.5	3.6	6.8	7.7	4.1	2.3	1.6	1.1	0.9	
SR3	1.3	2.0	2.5	4.6	5.9	3.6	2.2	1.6	1.2	1.0	
SR3_12M	1.3	2.0	2.2	3.1	3.8	2.3	1.5	1.1	0.8	0.7	
SR4	1.7	2.7	3.5	5.9	7.0	4.0	2.3	1.6	1.1	0.9	
Doggersbank											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
SR1_12M	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
SR2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
SR3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
SR3_12M	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
SR4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

Tabel B.2 Relatieve verandering in slibconcentraties als gevolg van de zandwinstscenario's ten opzichte van de natuurlijke achtergrond (in procenten) voor de verschillende gebieden (2/7).

NZ Kustzone 5k											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.1	4.0	6.5	6.6	5.8	3.8	2.0	1.3	0.9	0.7	
SR1_12M	1.1	4.0	5.3	4.1	3.6	2.4	1.3	0.9	0.6	0.5	
SR2	1.2	4.1	6.5	6.5	5.9	3.8	2.0	1.3	0.9	0.7	
SR3	0.7	1.6	2.3	3.2	3.9	3.0	1.8	1.3	0.9	0.7	
SR3_12M	0.7	1.6	2.2	2.4	2.5	2.0	1.2	0.9	0.6	0.5	
SR4	1.1	3.6	5.7	6.0	5.6	3.8	2.0	1.3	0.9	0.7	
NZ Kustzone 4k											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.0	2.3	3.5	4.6	4.9	3.2	1.7	1.2	0.8	0.7	
SR1_12M	1.0	2.3	3.2	3.3	3.0	2.0	1.1	0.8	0.6	0.5	
SR2	1.1	2.3	3.5	4.7	5.0	3.2	1.7	1.2	0.8	0.7	
SR3	0.6	1.4	1.9	2.7	3.3	2.6	1.6	1.1	0.8	0.7	
SR3_12M	0.6	1.4	1.8	2.0	2.2	1.7	1.0	0.8	0.6	0.5	
SR4	1.0	2.3	3.4	4.4	4.7	3.2	1.8	1.2	0.9	0.7	
Vlakte van Raan 1k											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.7	2.0	3.5	4.5	4.9	2.4	1.3	1.0	0.7	0.6	
SR1_12M	1.7	2.0	2.7	2.7	2.8	1.4	0.8	0.6	0.5	0.4	
SR2	1.8	2.1	3.5	4.6	5.1	2.4	1.3	1.0	0.7	0.6	
SR3	0.7	1.1	2.0	2.6	2.7	1.6	1.0	0.8	0.6	0.5	
SR3_12M	0.7	1.1	1.5	1.5	1.6	1.0	0.6	0.5	0.4	0.3	
SR4	1.7	1.9	3.1	4.3	4.9	2.4	1.3	1.0	0.7	0.6	
Voordelta 2k											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	0.8	1.3	1.6	2.6	3.4	2.2	1.6	1.2	1.0	0.8	
SR1_12M	0.8	1.3	1.3	1.7	2.2	1.4	1.0	0.8	0.6	0.5	
SR2	0.8	1.2	1.6	2.6	3.4	2.2	1.5	1.2	1.0	0.8	
SR3	0.7	1.0	1.5	2.2	2.8	1.9	1.5	1.2	0.9	0.8	
SR3_12M	0.7	1.0	1.2	1.4	1.8	1.2	0.9	0.8	0.6	0.5	
SR4	0.8	1.2	1.6	2.3	3.1	2.2	1.5	1.2	1.0	0.8	

Tabel B.3 Relatieve verandering in slibconcentraties als gevolg van de zandwinstscenario's ten opzichte van de natuurlijke achtergrond (in procenten) voor de verschillende gebieden (3/7).

Voordelta 1k											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.6	1.8	2.8	4.1	4.9	2.6	1.5	1.1	0.9	0.7	
SR1_12M	1.6	1.8	2.3	2.6	3.0	1.6	1.0	0.7	0.5	0.5	
SR2	1.6	1.8	2.8	4.2	5.0	2.6	1.5	1.1	0.9	0.7	
SR3	0.9	1.2	2.1	3.0	3.3	2.0	1.3	1.0	0.8	0.6	
SR3_12M	0.9	1.2	1.6	1.8	2.0	1.2	0.8	0.7	0.5	0.4	
SR4	1.7	1.9	2.8	4.1	5.1	2.6	1.5	1.1	0.9	0.7	
NZ Kustzone 1k											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	2.1	3.0	5.0	8.0	8.4	4.4	2.6	1.8	1.2	1.0	
SR1_12M	2.1	3.0	4.7	6.0	5.6	2.9	1.7	1.2	0.8	0.7	
SR2	2.1	3.0	5.2	8.2	8.4	4.4	2.5	1.8	1.2	1.0	
SR3	1.4	2.1	3.0	5.0	6.1	3.7	2.4	1.8	1.4	1.1	
SR3_12M	1.4	2.1	2.7	3.6	4.1	2.5	1.6	1.3	0.9	0.7	
SR4	2.3	3.3	5.1	7.8	8.3	4.4	2.5	1.8	1.2	1.0	
NZ Kustzone 2k											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	2.1	3.7	4.9	6.2	6.9	3.6	2.0	1.4	1.0	0.8	
SR1_12M	2.1	3.7	4.6	4.1	4.2	2.3	1.3	0.9	0.7	0.6	
SR2	2.1	3.7	4.9	6.3	6.9	3.6	2.0	1.4	1.0	0.8	
SR3	1.5	2.2	3.0	4.6	5.5	3.2	1.9	1.4	1.1	0.8	
SR3_12M	1.5	2.2	2.8	3.3	3.5	2.1	1.3	1.0	0.7	0.6	
SR4	2.1	3.9	5.2	6.3	6.9	3.6	2.0	1.4	1.0	0.8	
NZ Kustzone 3k											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	2.1	3.8	5.3	7.0	7.1	3.4	1.7	1.1	0.8	0.7	
SR1_12M	2.1	3.8	5.0	4.7	4.2	2.1	1.1	0.8	0.6	0.5	
SR2	2.2	3.8	5.4	7.2	7.2	3.4	1.7	1.1	0.8	0.7	
SR3	1.5	2.5	3.3	4.7	5.4	3.1	1.7	1.2	0.9	0.7	
SR3_12M	1.5	2.5	3.1	3.3	3.4	2.0	1.1	0.8	0.6	0.5	
SR4	2.1	4.0	5.4	6.6	6.9	3.4	1.8	1.2	0.8	0.7	

Tabel B.4 Relatieve verandering in slibconcentraties als gevolg van de zandwinscenario's ten opzichte van de natuurlijke achtergrond (in procenten) voor de verschillende gebieden (4/7).

NZ Kustzone 4k											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.9	3.3	4.9	6.8	6.8	3.6	1.8	1.2	0.8	0.7	
SR1_12M	1.9	3.3	4.6	4.7	4.1	2.2	1.2	0.8	0.6	0.5	
SR2	2.0	3.5	5.2	7.0	6.9	3.6	1.8	1.2	0.8	0.7	
SR3	1.1	2.1	2.9	4.0	4.6	3.1	1.8	1.2	0.9	0.7	
SR3_12M	1.1	2.1	2.8	2.9	3.0	2.0	1.2	0.8	0.6	0.5	
SR4	1.8	3.4	4.9	6.4	6.5	3.6	1.8	1.2	0.9	0.7	
NZ Kustzone 6k											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	0.8	3.7	6.3	6.3	5.6	3.9	2.2	1.4	1.0	0.8	
SR1_12M	0.8	3.7	5.0	3.9	3.4	2.5	1.4	1.0	0.7	0.5	
SR2	0.8	3.7	6.2	6.2	5.6	4.0	2.2	1.4	1.0	0.8	
SR3	0.5	1.4	2.1	2.9	3.6	2.9	1.8	1.3	0.9	0.7	
SR3_12M	0.5	1.4	2.0	2.2	2.4	1.9	1.2	0.9	0.6	0.5	
SR4	0.8	3.3	5.5	5.8	5.4	3.9	2.2	1.5	1.0	0.8	
NZ Kustzone 5z											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.6	5.4	8.1	7.3	5.9	3.0	1.4	0.8	0.5	0.4	
SR1_12M	1.6	5.4	6.7	4.2	3.5	1.8	0.8	0.5	0.3	0.2	
SR2	1.5	5.3	8.1	7.3	5.9	3.0	1.4	0.8	0.5	0.4	
SR3	1.4	5.2	7.9	6.8	5.5	3.0	1.4	0.9	0.5	0.4	
SR3_12M	1.4	5.2	6.3	3.7	3.1	1.8	0.9	0.5	0.3	0.2	
SR4	1.6	5.6	8.6	7.7	6.1	3.1	1.4	0.8	0.5	0.4	
Waddenzee west											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	0.4	1.0	1.4	2.1	2.6	2.0	1.4	1.1	0.9	0.8	
SR1_12M	0.4	1.0	1.4	1.6	1.7	1.4	1.0	0.8	0.6	0.5	
SR2	0.4	1.0	1.4	2.2	2.6	2.0	1.4	1.1	0.9	0.7	
SR3	0.3	0.7	0.9	1.4	1.9	1.6	1.1	0.9	0.7	0.7	
SR3_12M	0.3	0.7	0.9	1.1	1.3	1.1	0.8	0.6	0.5	0.5	
SR4	0.4	1.0	1.5	2.1	2.6	2.0	1.4	1.1	0.9	0.8	

Tabel B.5 Relatieve verandering in slibconcentraties als gevolg van de zandwinstscenario's ten opzichte van de natuurlijke achtergrond (in procenten) voor de verschillende gebieden (5/7).

Vlakte van Raan 1z											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.8	2.3	4.9	5.8	5.1	2.3	1.3	0.9	0.7	0.5	
SR1_12M	1.8	2.3	3.5	3.0	2.8	1.3	0.8	0.6	0.4	0.3	
SR2	1.7	2.3	4.9	5.7	5.0	2.3	1.3	0.9	0.7	0.5	
SR3	1.6	2.2	4.9	5.4	4.6	1.8	1.1	0.7	0.5	0.4	
SR3_12M	1.6	2.2	3.4	2.7	2.4	1.0	0.6	0.4	0.3	0.3	
SR4	1.5	2.3	5.1	5.9	4.9	2.3	1.3	0.9	0.7	0.5	
Voordelta 1z											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.9	2.1	4.4	5.5	5.3	2.3	1.3	0.9	0.7	0.5	
SR1_12M	1.9	2.1	3.3	3.1	2.9	1.3	0.8	0.6	0.4	0.3	
SR2	1.8	2.0	4.3	5.4	5.0	2.3	1.3	0.9	0.7	0.6	
SR3	2.6	2.2	5.0	6.3	6.1	2.1	1.2	0.9	0.6	0.5	
SR3_12M	2.6	2.2	3.8	3.6	3.4	1.2	0.7	0.5	0.4	0.3	
SR4	2.0	2.1	4.4	5.7	5.7	2.3	1.3	0.9	0.7	0.5	
Voordelta 2z											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.3	1.7	3.0	4.1	4.3	2.1	1.2	0.9	0.6	0.5	
SR1_12M	1.3	1.7	2.3	2.4	2.5	1.2	0.7	0.5	0.4	0.3	
SR2	1.2	1.6	3.0	4.1	4.2	2.1	1.2	0.9	0.6	0.5	
SR3	1.7	1.9	3.6	5.1	5.3	2.2	1.3	0.9	0.6	0.5	
SR3_12M	1.7	1.9	2.8	3.1	3.2	1.3	0.8	0.5	0.4	0.3	
SR4	1.3	1.7	3.0	4.1	4.3	2.1	1.2	0.9	0.6	0.5	
Hollandse Kustboog 1z											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.6	2.1	2.4	3.6	4.6	2.0	1.1	0.8	0.5	0.4	
SR1_12M	1.6	2.1	1.9	2.0	2.7	1.2	0.7	0.5	0.3	0.3	
SR2	1.6	2.0	2.4	3.6	4.5	2.0	1.1	0.8	0.6	0.4	
SR3	2.4	2.7	3.1	4.7	6.1	2.4	1.3	0.9	0.6	0.4	
SR3_12M	2.4	2.7	2.4	2.6	3.7	1.4	0.8	0.5	0.4	0.3	
SR4	1.6	2.2	2.5	3.7	4.7	2.1	1.1	0.8	0.6	0.4	

Tabel B.6 Relatieve verandering in slibconcentraties als gevolg van de zandwinstscenario's ten opzichte van de natuurlijke achtergrond (in procenten) voor de verschillende gebieden (6/7).

Hollandse Kustboog 2z											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.7	2.3	2.2	4.9	6.3	2.3	1.1	0.7	0.5	0.4	
SR1_12M	1.7	2.3	1.8	2.8	3.9	1.4	0.7	0.4	0.3	0.2	
SR2	1.7	2.3	2.2	4.8	6.2	2.3	1.1	0.7	0.5	0.4	
SR3	3.8	4.4	3.0	7.3	10.6	3.1	1.5	0.9	0.6	0.4	
SR3_12M	3.8	4.4	2.5	4.0	6.8	1.9	0.9	0.6	0.4	0.3	
SR4	2.2	2.8	2.3	5.4	7.3	2.4	1.2	0.8	0.5	0.4	
Hollandse Kustboog 3z											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.5	2.1	2.9	6.9	7.6	2.6	1.2	0.7	0.5	0.3	
SR1_12M	1.5	2.1	2.6	4.6	4.9	1.6	0.7	0.4	0.3	0.2	
SR2	1.5	2.1	2.7	6.7	7.5	2.5	1.2	0.7	0.5	0.3	
SR3	2.3	2.9	3.7	9.0	10.2	3.3	1.6	0.9	0.6	0.4	
SR3_12M	2.3	2.9	3.3	6.0	6.6	2.1	1.0	0.6	0.4	0.3	
SR4	2.0	2.6	3.1	7.7	8.8	2.7	1.2	0.7	0.5	0.4	
NZ Kustzone 1z											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	3.0	3.1	3.6	6.4	7.4	2.2	1.0	0.6	0.4	0.3	
SR1_12M	3.0	3.1	3.4	4.1	4.7	1.3	0.6	0.3	0.2	0.2	
SR2	3.0	3.1	3.5	6.3	7.3	2.2	1.0	0.6	0.4	0.3	
SR3	3.6	3.6	5.2	8.7	9.0	2.7	1.3	0.8	0.5	0.3	
SR3_12M	3.6	3.6	5.0	6.0	5.9	1.7	0.8	0.5	0.3	0.2	
SR4	2.9	3.1	3.8	7.0	7.8	2.3	1.0	0.6	0.4	0.3	
NZ Kustzone 2z											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.0	2.3	2.8	2.7	2.8	1.1	0.5	0.3	0.2	0.1	
SR1_12M	1.0	2.3	2.5	1.5	1.6	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1	
SR2	1.0	2.3	2.8	2.7	2.7	1.1	0.5	0.3	0.2	0.1	
SR3	1.7	2.8	3.4	3.8	3.9	1.3	0.6	0.3	0.2	0.1	
SR3_12M	1.7	2.8	3.1	2.0	2.0	0.7	0.3	0.2	0.1	0.1	
SR4	1.1	2.3	2.8	2.8	2.9	1.1	0.5	0.3	0.2	0.1	

Tabel B.7 Relatieve verandering in slibconcentraties als gevolg van de zandwinstscenario's ten opzichte van de natuurlijke achtergrond (in procenten) voor de verschillende gebieden (7/7).

NZ Kustzone 3z											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.1	2.1	3.1	3.6	3.2	1.1	0.5	0.3	0.2	0.1	
SR1_12M	1.1	2.1	2.8	2.2	1.7	0.7	0.3	0.2	0.1	0.1	
SR2	1.0	2.1	3.1	3.5	3.1	1.1	0.5	0.3	0.2	0.1	
SR3	1.6	3.1	4.5	5.0	4.3	1.3	0.5	0.3	0.2	0.1	
SR3_12M	1.6	3.1	4.1	3.0	1.8	0.7	0.3	0.2	0.1	0.1	
SR4	1.2	2.1	3.1	3.9	3.4	1.1	0.5	0.3	0.2	0.1	
NZ Kustzone 4z											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.5	2.8	4.0	4.7	4.5	1.9	0.8	0.4	0.3	0.2	
SR1_12M	1.5	2.8	3.7	3.0	2.6	1.1	0.5	0.3	0.2	0.1	
SR2	1.4	2.8	3.9	4.6	4.4	1.9	0.8	0.4	0.3	0.2	
SR3	1.8	3.5	4.7	5.4	5.2	2.1	0.8	0.5	0.3	0.2	
SR3_12M	1.8	3.5	4.3	3.4	2.4	1.2	0.5	0.3	0.2	0.1	
SR4	1.6	3.0	4.2	5.1	4.7	1.9	0.8	0.4	0.3	0.2	
NZ Kustzone 6z											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.2	4.6	7.3	7.1	6.1	3.7	1.8	1.1	0.7	0.5	
SR1_12M	1.2	4.6	6.0	4.2	3.7	2.3	1.1	0.7	0.5	0.3	
SR2	1.2	4.6	7.4	7.1	6.1	3.7	1.8	1.1	0.7	0.5	
SR3	1.1	4.0	6.2	6.0	5.4	3.4	1.7	1.1	0.7	0.5	
SR3_12M	1.1	4.0	5.0	3.5	3.1	2.1	1.1	0.7	0.5	0.3	
SR4	1.2	4.8	7.6	7.3	6.2	3.8	1.9	1.1	0.7	0.5	
Waddenzee oost											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	0.4	1.5	2.5	3.1	3.3	2.7	1.7	1.2	0.9	0.7	
SR1_12M	0.4	1.5	2.2	2.2	2.1	1.7	1.1	0.8	0.6	0.5	
SR2	0.4	1.5	2.5	3.1	3.3	2.7	1.7	1.2	0.9	0.7	
SR3	0.2	0.7	1.1	1.6	2.1	1.9	1.3	1.0	0.7	0.6	
SR3_12M	0.2	0.7	1.1	1.3	1.4	1.3	0.9	0.7	0.5	0.4	
SR4	0.4	1.4	2.3	2.9	3.2	2.6	1.7	1.2	0.9	0.7	

B.5.2 Relatieve verandering in slibconcentraties ten opzichte van de autonome situatie

Tabel B.8 Relatieve verandering in slibconcentraties als gevolg van de zandwinstscenario's ten opzichte van de autonome situatie (in procenten) voor de verschillende gebieden (1/7).

Hollandse Kustboog 2k											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.6	2.4	2.2	4.0	5.7	3.1	1.8	1.2	0.9	0.7	
SR1_12M	1.6	2.4	1.9	2.4	3.6	1.9	1.1	0.8	0.6	0.5	
SR2	1.6	2.4	2.2	4.0	5.6	3.1	1.8	1.2	0.9	0.7	
SR3	1.2	1.8	2.0	3.5	4.7	2.8	1.8	1.3	1.0	0.8	
SR3_12M	1.2	1.8	1.7	2.2	2.9	1.7	1.1	0.9	0.6	0.5	
SR4	1.5	2.3	2.2	3.7	5.2	3.0	1.8	1.2	0.9	0.7	
Hollandse Kustboog 1k											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.4	2.0	1.9	3.0	4.3	2.4	1.4	1.0	0.8	0.6	
SR1_12M	1.4	2.0	1.6	1.7	2.7	1.5	0.9	0.7	0.5	0.4	
SR2	1.4	2.0	1.9	3.0	4.2	2.4	1.4	1.0	0.7	0.6	
SR3	1.0	1.5	1.8	2.8	3.6	2.2	1.4	1.1	0.8	0.6	
SR3_12M	1.0	1.5	1.5	1.7	2.2	1.3	0.9	0.7	0.5	0.4	
SR4	1.3	1.9	1.9	2.9	4.0	2.3	1.4	1.0	0.8	0.6	
Hollandse Kustboog 3k											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.2	2.0	3.0	5.7	6.3	3.5	2.1	1.5	1.1	0.9	
SR1_12M	1.2	2.0	2.8	4.1	4.1	2.3	1.4	1.0	0.7	0.6	
SR2	1.2	2.0	2.9	5.5	6.2	3.5	2.1	1.5	1.1	0.9	
SR3	1.0	1.6	2.0	3.7	4.8	3.0	2.0	1.5	1.2	0.9	
SR3_12M	1.0	1.6	1.8	2.5	3.1	2.0	1.3	1.0	0.8	0.6	
SR4	1.3	2.1	2.8	4.7	5.7	3.4	2.0	1.5	1.1	0.9	
Doggersbank											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
SR1_12M	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
SR2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
SR3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
SR3_12M	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
SR4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

Tabel B.9 Relatieve verandering in slibconcentraties als gevolg van de zandwinstscenario's ten opzichte van de autonome situatie (in procenten) voor de verschillende gebieden (2/7).

NZ Kustzone 5k											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.0	3.5	5.8	5.9	5.3	3.5	1.9	1.2	0.9	0.7	
SR1_12M	1.0	3.5	4.7	3.7	3.3	2.2	1.2	0.8	0.6	0.5	
SR2	1.0	3.6	5.8	5.9	5.3	3.5	1.9	1.2	0.9	0.7	
SR3	0.6	1.4	2.1	2.9	3.5	2.8	1.7	1.2	0.9	0.7	
SR3_12M	0.6	1.4	2.0	2.2	2.3	1.8	1.1	0.8	0.6	0.5	
SR4	0.9	3.1	5.1	5.4	5.1	3.5	1.9	1.3	0.9	0.7	
NZ Kustzone 4k											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	0.9	2.0	3.1	4.2	4.4	2.9	1.6	1.1	0.8	0.7	
SR1_12M	0.9	2.0	2.9	3.0	2.8	1.9	1.1	0.8	0.6	0.5	
SR2	1.0	2.1	3.2	4.3	4.5	3.0	1.6	1.1	0.8	0.7	
SR3	0.5	1.2	1.7	2.5	3.0	2.4	1.5	1.1	0.8	0.6	
SR3_12M	0.5	1.2	1.7	1.9	2.0	1.5	1.0	0.7	0.6	0.5	
SR4	0.9	2.0	3.1	4.0	4.3	2.9	1.7	1.1	0.8	0.7	
Vlakte van Raan 1k											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.4	1.7	3.0	3.9	4.2	2.1	1.2	0.9	0.7	0.6	
SR1_12M	1.4	1.7	2.3	2.3	2.4	1.3	0.8	0.6	0.4	0.4	
SR2	1.5	1.8	3.0	4.0	4.4	2.2	1.2	0.9	0.7	0.6	
SR3	0.6	0.9	1.7	2.3	2.4	1.4	0.9	0.7	0.6	0.5	
SR3_12M	0.6	0.9	1.3	1.3	1.4	0.9	0.6	0.4	0.4	0.3	
SR4	1.4	1.6	2.7	3.8	4.3	2.1	1.2	0.9	0.7	0.6	
Voordelta 2k											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	0.6	1.0	1.3	2.1	2.8	1.9	1.4	1.1	0.9	0.8	
SR1_12M	0.6	1.0	1.1	1.4	1.8	1.2	0.9	0.7	0.6	0.5	
SR2	0.6	1.0	1.3	2.1	2.8	1.9	1.4	1.1	0.9	0.8	
SR3	0.5	0.8	1.2	1.8	2.2	1.6	1.3	1.1	0.9	0.7	
SR3_12M	0.5	0.8	1.0	1.1	1.4	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5	
SR4	0.6	1.0	1.3	1.9	2.5	1.8	1.4	1.1	0.9	0.8	

Tabel B.10 Relatieve verandering in slibconcentraties als gevolg van de zandwinstscenario's ten opzichte van de autonome situatie (in procenten) voor de verschillende gebieden (3/7).

Voordelta 1k											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.3	1.5	2.3	3.4	4.1	2.3	1.4	1.0	0.8	0.7	
SR1_12M	1.3	1.5	1.9	2.1	2.5	1.4	0.9	0.7	0.5	0.4	
SR2	1.3	1.5	2.3	3.4	4.1	2.3	1.4	1.0	0.8	0.7	
SR3	0.7	1.0	1.7	2.4	2.8	1.7	1.2	1.0	0.7	0.6	
SR3_12M	0.7	1.0	1.3	1.5	1.7	1.1	0.7	0.6	0.5	0.4	
SR4	1.4	1.5	2.3	3.4	4.2	2.3	1.4	1.0	0.8	0.7	
NZ Kustzone 1k											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.6	2.3	3.9	6.5	6.9	3.8	2.3	1.6	1.2	0.9	
SR1_12M	1.6	2.3	3.8	4.8	4.6	2.5	1.5	1.1	0.8	0.6	
SR2	1.6	2.3	4.1	6.7	6.8	3.8	2.3	1.6	1.2	0.9	
SR3	1.1	1.6	2.4	4.1	5.0	3.2	2.2	1.7	1.3	1.0	
SR3_12M	1.1	1.6	2.2	2.9	3.3	2.1	1.5	1.2	0.9	0.7	
SR4	1.8	2.5	4.0	6.3	6.8	3.7	2.3	1.6	1.2	0.9	
NZ Kustzone 2k											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.7	3.1	4.1	5.4	6.0	3.2	1.8	1.3	1.0	0.8	
SR1_12M	1.7	3.1	3.9	3.6	3.7	2.1	1.2	0.9	0.7	0.5	
SR2	1.7	3.0	4.1	5.4	6.0	3.2	1.8	1.3	1.0	0.8	
SR3	1.2	1.8	2.5	4.0	4.8	2.9	1.8	1.3	1.0	0.8	
SR3_12M	1.2	1.8	2.4	2.8	3.1	1.9	1.2	0.9	0.7	0.5	
SR4	1.7	3.2	4.4	5.5	6.0	3.2	1.9	1.3	1.0	0.8	
NZ Kustzone 3k											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.8	3.2	4.6	6.1	6.2	3.1	1.6	1.1	0.8	0.6	
SR1_12M	1.8	3.2	4.3	4.1	3.7	1.9	1.1	0.7	0.5	0.4	
SR2	1.9	3.2	4.6	6.3	6.3	3.0	1.6	1.1	0.8	0.6	
SR3	1.2	2.1	2.8	4.1	4.8	2.8	1.6	1.1	0.8	0.7	
SR3_12M	1.2	2.1	2.6	2.8	3.0	1.8	1.1	0.8	0.6	0.4	
SR4	1.7	3.3	4.6	5.8	6.0	3.1	1.6	1.1	0.8	0.7	

Tabel B.11 Relatieve verandering in slibconcentraties als gevolg van de zandwinscenario's ten opzichte van de autonome situatie (in procenten) voor de verschillende gebieden (4/7).

NZ Kustzone 4k											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.6	2.8	4.3	6.0	6.1	3.3	1.7	1.1	0.8	0.6	
SR1_12M	1.6	2.8	4.0	4.2	3.7	2.0	1.1	0.8	0.6	0.5	
SR2	1.7	3.0	4.5	6.2	6.2	3.3	1.7	1.1	0.8	0.6	
SR3	0.9	1.8	2.6	3.6	4.1	2.8	1.6	1.2	0.8	0.7	
SR3_12M	0.9	1.8	2.4	2.6	2.6	1.8	1.1	0.8	0.6	0.5	
SR4	1.5	2.9	4.3	5.7	5.8	3.3	1.7	1.1	0.8	0.7	
NZ Kustzone 6k											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	0.7	3.3	5.6	5.7	5.0	3.6	2.0	1.4	1.0	0.7	
SR1_12M	0.7	3.3	4.5	3.5	3.1	2.3	1.3	0.9	0.7	0.5	
SR2	0.7	3.3	5.5	5.6	5.1	3.6	2.0	1.4	1.0	0.7	
SR3	0.5	1.3	1.9	2.7	3.3	2.7	1.7	1.3	0.9	0.7	
SR3_12M	0.5	1.3	1.8	2.0	2.2	1.8	1.1	0.8	0.6	0.5	
SR4	0.7	2.9	4.9	5.2	4.9	3.6	2.1	1.4	1.0	0.8	
NZ Kustzone 5z											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.3	4.7	7.2	6.6	5.4	2.8	1.3	0.8	0.5	0.3	
SR1_12M	1.3	4.7	5.9	3.8	3.2	1.7	0.8	0.5	0.3	0.2	
SR2	1.3	4.6	7.2	6.6	5.3	2.8	1.3	0.8	0.5	0.3	
SR3	1.2	4.6	7.1	6.1	5.0	2.8	1.4	0.8	0.5	0.4	
SR3_12M	1.2	4.6	5.6	3.3	2.8	1.6	0.8	0.5	0.3	0.2	
SR4	1.4	4.9	7.7	6.9	5.5	2.9	1.3	0.8	0.5	0.4	
Waddenzee west											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	0.4	0.9	1.3	2.0	2.4	1.9	1.3	1.0	0.8	0.7	
SR1_12M	0.4	0.9	1.3	1.5	1.6	1.3	0.9	0.7	0.6	0.5	
SR2	0.4	0.9	1.3	2.0	2.4	1.9	1.3	1.0	0.8	0.7	
SR3	0.3	0.6	0.8	1.3	1.7	1.5	1.0	0.9	0.7	0.6	
SR3_12M	0.3	0.6	0.8	1.0	1.2	1.0	0.7	0.6	0.5	0.5	
SR4	0.4	0.9	1.4	1.9	2.4	1.9	1.3	1.0	0.8	0.7	

Tabel B.12 Relatieve verandering in slibconcentraties als gevolg van de zandwinstscenario's ten opzichte van de autonome situatie (in procenten) voor de verschillende gebieden (5/7).

Vlakte van Raan 1z											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.5	2.0	4.2	5.0	4.4	2.1	1.2	0.9	0.6	0.5	
SR1_12M	1.5	2.0	3.0	2.6	2.4	1.2	0.7	0.5	0.4	0.3	
SR2	1.4	1.9	4.2	4.9	4.4	2.1	1.2	0.9	0.7	0.5	
SR3	1.4	1.9	4.2	4.7	4.0	1.6	1.0	0.7	0.5	0.4	
SR3_12M	1.4	1.9	2.9	2.3	2.1	0.9	0.6	0.4	0.3	0.3	
SR4	1.3	1.9	4.3	5.0	4.3	2.1	1.2	0.9	0.6	0.5	
Voordelta 1z											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.6	1.8	3.7	4.8	4.6	2.1	1.2	0.9	0.7	0.5	
SR1_12M	1.6	1.8	2.8	2.7	2.5	1.2	0.7	0.5	0.4	0.3	
SR2	1.5	1.7	3.7	4.7	4.4	2.0	1.2	0.9	0.7	0.5	
SR3	2.2	1.9	4.3	5.5	5.3	2.0	1.2	0.8	0.6	0.4	
SR3_12M	2.2	1.9	3.2	3.1	3.0	1.1	0.7	0.5	0.3	0.3	
SR4	1.7	1.8	3.7	4.9	5.0	2.1	1.2	0.9	0.7	0.5	
Voordelta 2z											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.1	1.4	2.5	3.5	3.7	1.9	1.2	0.8	0.6	0.5	
SR1_12M	1.1	1.4	1.9	2.0	2.1	1.1	0.7	0.5	0.4	0.3	
SR2	1.0	1.3	2.5	3.4	3.6	1.9	1.2	0.8	0.6	0.5	
SR3	1.4	1.5	3.0	4.3	4.5	2.0	1.2	0.8	0.6	0.4	
SR3_12M	1.4	1.5	2.3	2.6	2.7	1.2	0.7	0.5	0.4	0.3	
SR4	1.0	1.4	2.5	3.5	3.7	1.9	1.2	0.8	0.6	0.5	
Hollandse Kustboog 1z											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.3	1.7	2.0	3.1	3.9	1.8	1.1	0.7	0.5	0.4	
SR1_12M	1.3	1.7	1.6	1.7	2.3	1.1	0.6	0.4	0.3	0.3	
SR2	1.3	1.7	2.0	3.0	3.8	1.8	1.1	0.7	0.5	0.4	
SR3	2.0	2.2	2.5	4.0	5.1	2.1	1.2	0.8	0.6	0.4	
SR3_12M	2.0	2.2	2.0	2.2	3.1	1.3	0.7	0.5	0.3	0.3	
SR4	1.3	1.8	2.0	3.1	3.9	1.9	1.1	0.7	0.5	0.4	

Tabel B.13 Relatieve verandering in slibconcentraties als gevolg van de zandwinscenario's ten opzichte van de autonome situatie (in procenten) voor de verschillende gebieden (6/7).

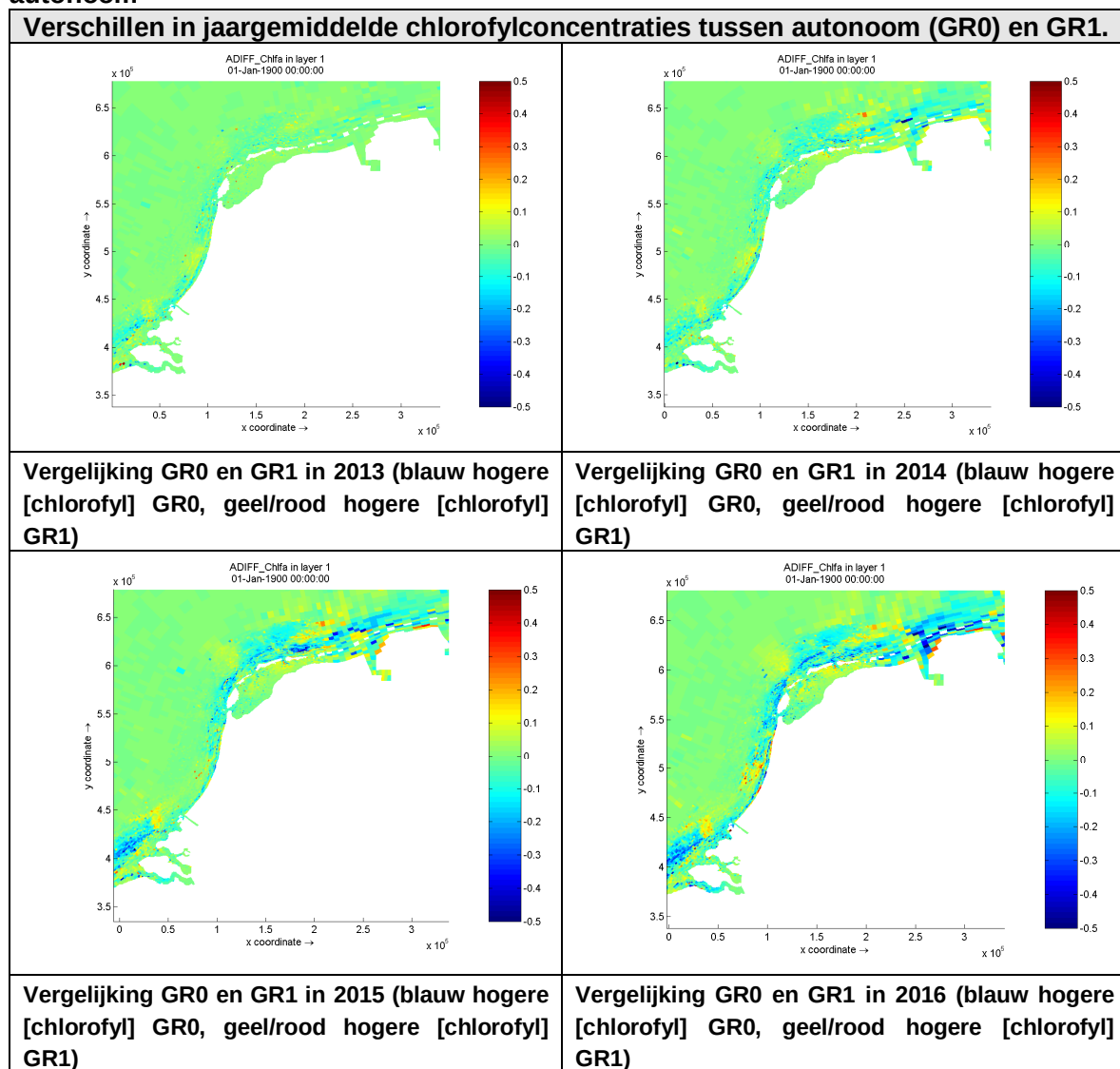
Hollandse Kustboog 2z											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.4	1.9	1.8	4.1	5.3	2.1	1.1	0.7	0.5	0.4	
SR1_12M	1.4	1.9	1.5	2.4	3.3	1.2	0.6	0.4	0.3	0.2	
SR2	1.4	1.8	1.8	4.0	5.2	2.1	1.1	0.7	0.5	0.4	
SR3	3.1	3.6	2.5	6.1	8.9	2.8	1.4	0.9	0.6	0.4	
SR3_12M	3.1	3.6	2.1	3.4	5.7	1.7	0.9	0.6	0.4	0.3	
SR4	1.8	2.3	1.9	4.5	6.2	2.2	1.1	0.7	0.5	0.4	
Hollandse Kustboog 3z											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.2	1.6	2.3	5.5	6.1	2.3	1.1	0.7	0.4	0.3	
SR1_12M	1.2	1.6	2.0	3.7	3.9	1.4	0.7	0.4	0.3	0.2	
SR2	1.2	1.6	2.1	5.3	6.1	2.3	1.1	0.7	0.4	0.3	
SR3	1.8	2.2	2.9	7.2	8.2	3.0	1.5	0.9	0.6	0.4	
SR3_12M	1.8	2.2	2.6	4.8	5.4	1.9	0.9	0.6	0.3	0.2	
SR4	1.6	2.0	2.5	6.1	7.1	2.5	1.2	0.7	0.5	0.3	
NZ Kustzone 1z											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	2.4	2.5	3.1	5.5	6.4	2.0	0.9	0.5	0.4	0.3	
SR1_12M	2.4	2.5	2.9	3.5	4.1	1.2	0.6	0.3	0.2	0.2	
SR2	2.4	2.5	3.0	5.4	6.4	2.0	0.9	0.5	0.4	0.3	
SR3	2.9	2.9	4.5	7.5	7.9	2.5	1.2	0.7	0.5	0.3	
SR3_12M	2.9	2.9	4.2	5.2	5.1	1.6	0.8	0.5	0.3	0.2	
SR4	2.4	2.5	3.3	6.1	6.8	2.1	1.0	0.6	0.4	0.3	
NZ Kustzone 2z											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	0.9	2.1	2.6	2.5	2.6	1.0	0.5	0.3	0.2	0.1	
SR1_12M	0.9	2.1	2.4	1.4	1.5	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1	
SR2	0.9	2.1	2.6	2.5	2.6	1.0	0.5	0.3	0.2	0.1	
SR3	1.6	2.6	3.2	3.6	3.7	1.2	0.6	0.3	0.2	0.1	
SR3_12M	1.6	2.6	2.9	1.9	1.9	0.7	0.3	0.2	0.1	0.1	
SR4	1.0	2.1	2.6	2.7	2.7	1.1	0.5	0.3	0.2	0.1	

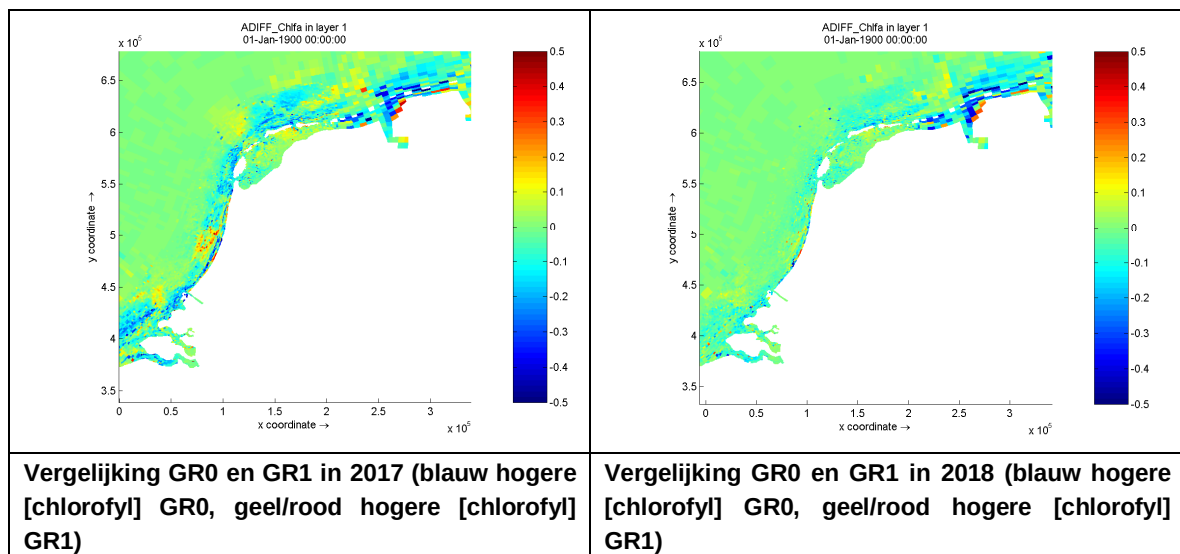
Tabel B.14 Relatieve verandering in slibconcentraties als gevolg van de zandwinscenario's ten opzichte van de autonome situatie (in procenten) voor de verschillende gebieden (7/7).

NZ Kustzone 3z											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.0	1.9	2.9	3.4	3.0	1.1	0.4	0.3	0.2	0.1	
SR1_12M	1.0	1.9	2.6	2.1	1.6	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1	
SR2	0.9	1.9	2.9	3.3	2.9	1.1	0.5	0.3	0.2	0.1	
SR3	1.5	2.8	4.2	4.7	4.0	1.3	0.5	0.3	0.2	0.1	
SR3_12M	1.5	2.8	3.8	2.8	1.7	0.7	0.3	0.2	0.1	0.1	
SR4	1.1	1.9	2.9	3.7	3.2	1.1	0.5	0.3	0.2	0.1	
NZ Kustzone 4z											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.3	2.6	3.6	4.4	4.1	1.8	0.7	0.4	0.3	0.2	
SR1_12M	1.3	2.6	3.4	2.8	2.4	1.1	0.4	0.3	0.2	0.1	
SR2	1.3	2.5	3.6	4.3	4.1	1.8	0.7	0.4	0.3	0.2	
SR3	1.6	3.1	4.3	5.0	4.8	2.0	0.8	0.5	0.3	0.2	
SR3_12M	1.6	3.1	4.0	3.2	2.2	1.1	0.5	0.3	0.2	0.1	
SR4	1.4	2.7	3.8	4.7	4.4	1.8	0.8	0.4	0.3	0.2	
NZ Kustzone 6z											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	1.0	4.0	6.5	6.3	5.5	3.4	1.7	1.1	0.7	0.5	
SR1_12M	1.0	4.0	5.3	3.8	3.3	2.1	1.1	0.7	0.5	0.3	
SR2	1.0	4.0	6.5	6.4	5.5	3.4	1.7	1.1	0.7	0.5	
SR3	0.9	3.5	5.5	5.4	4.8	3.2	1.6	1.1	0.7	0.5	
SR3_12M	0.9	3.5	4.4	3.1	2.8	1.9	1.0	0.7	0.5	0.3	
SR4	1.1	4.2	6.7	6.5	5.6	3.5	1.8	1.1	0.7	0.5	
Waddenzee oost											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
SR1	0.4	1.4	2.3	2.9	3.1	2.5	1.6	1.1	0.8	0.7	
SR1_12M	0.4	1.4	2.0	2.1	2.0	1.6	1.0	0.8	0.6	0.5	
SR2	0.4	1.4	2.3	2.9	3.1	2.6	1.6	1.1	0.8	0.7	
SR3	0.2	0.7	1.0	1.5	2.0	1.8	1.2	1.0	0.7	0.6	
SR3_12M	0.2	0.7	1.0	1.2	1.3	1.2	0.8	0.7	0.5	0.4	
SR4	0.3	1.3	2.2	2.7	3.0	2.5	1.6	1.2	0.8	0.7	

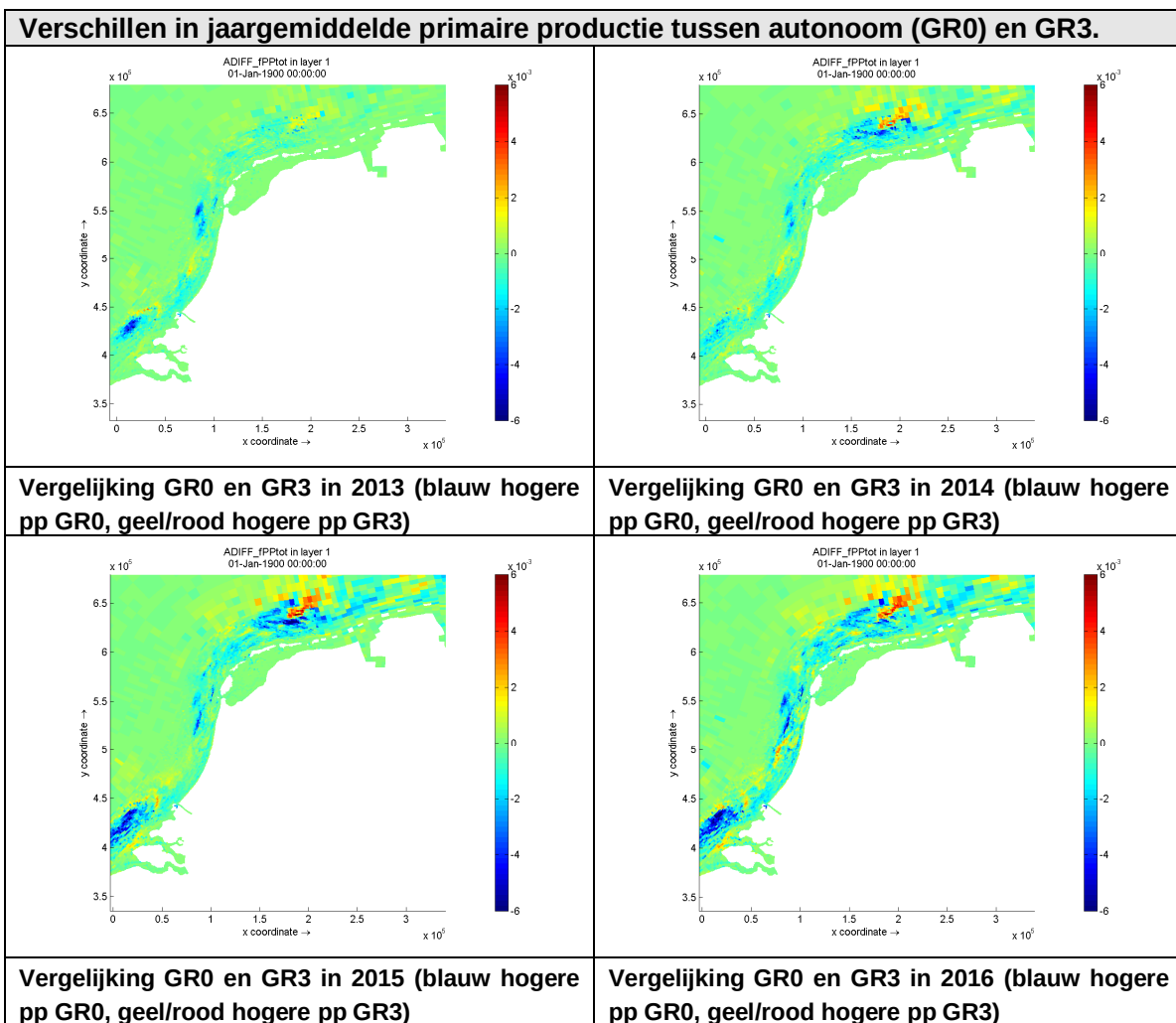
C Bijlage GEM

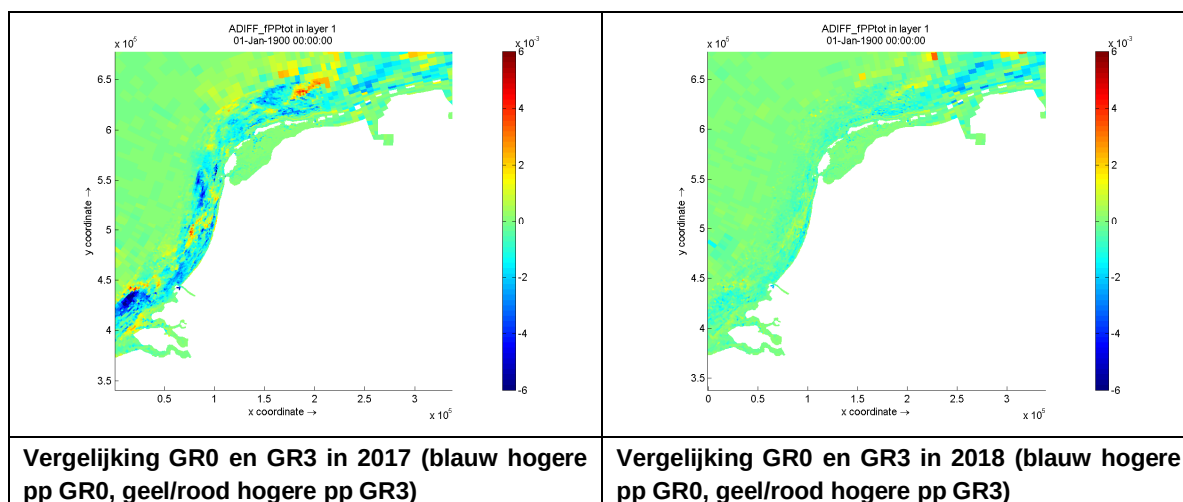
C.1 Jaargemiddelde primaire productie en chlorofylconcentraties zandwinscenario's tov autonoom



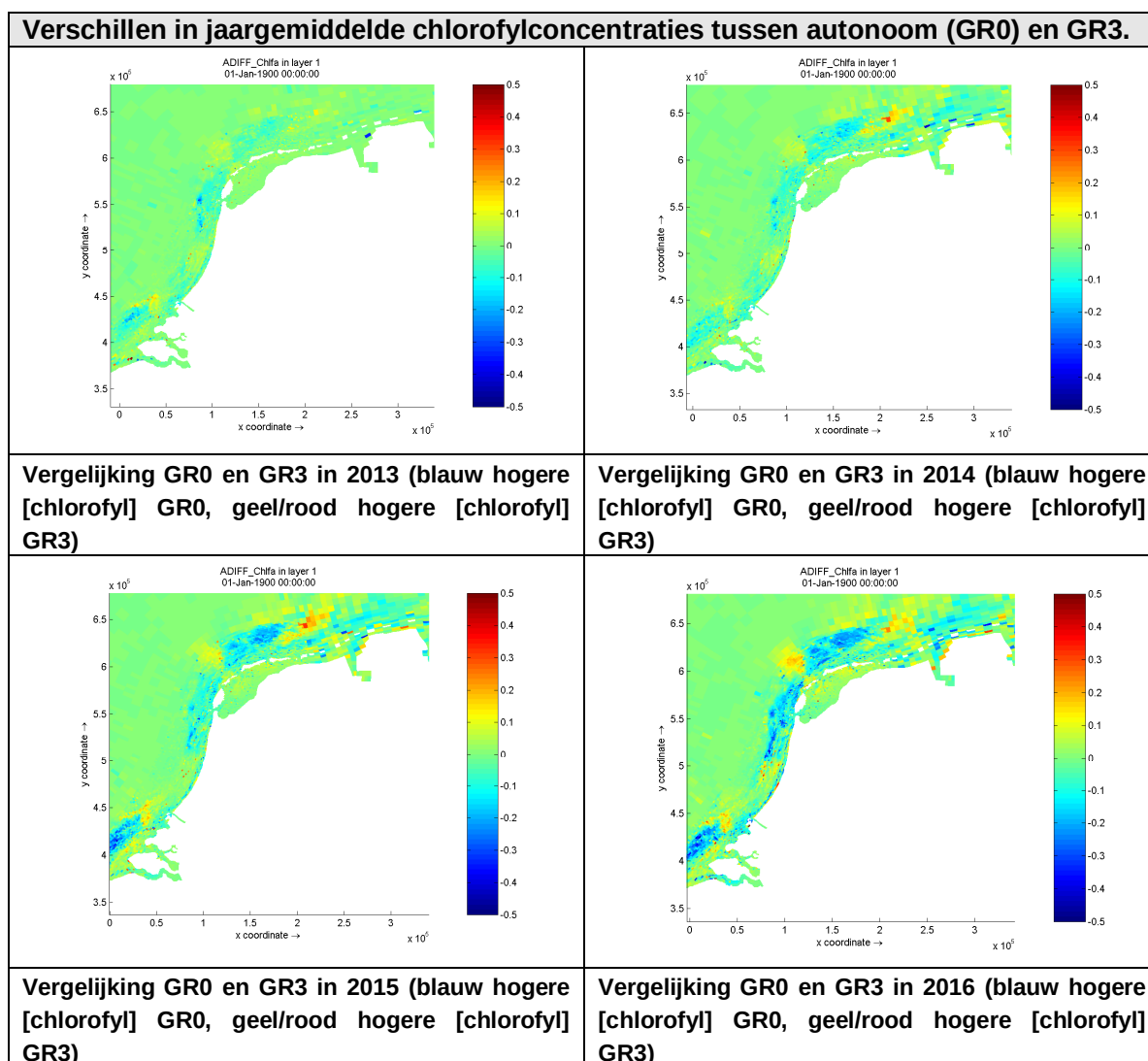


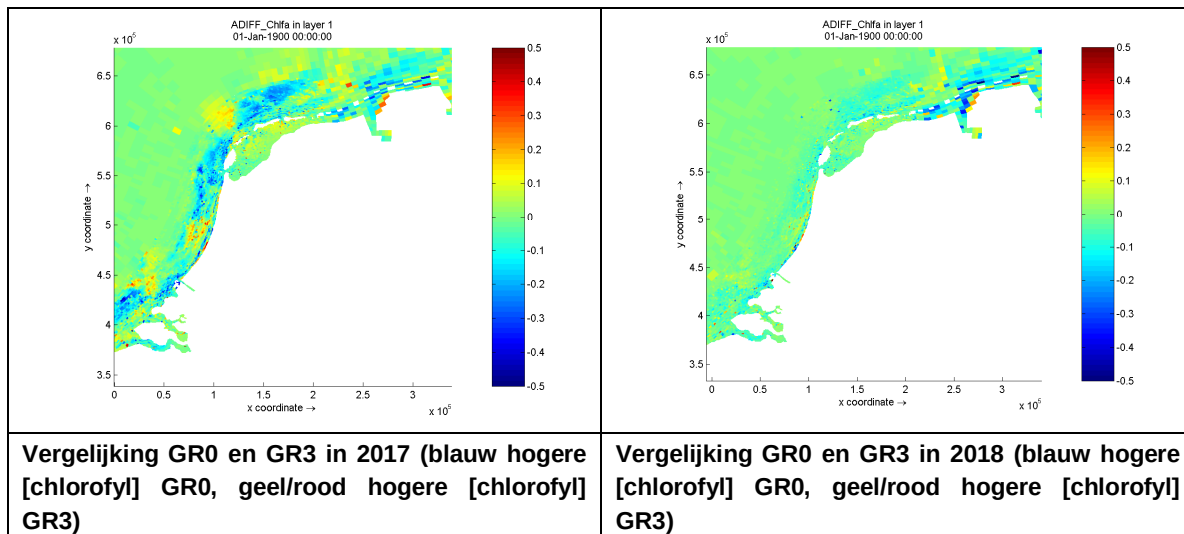
Figuur C.1 Verschillen in jaargemiddelde chlorofylconcentraties tussen GR0 en GR1 voor de zandwinjaren 2013 tot en met 2017 en een jaar erna (2018).



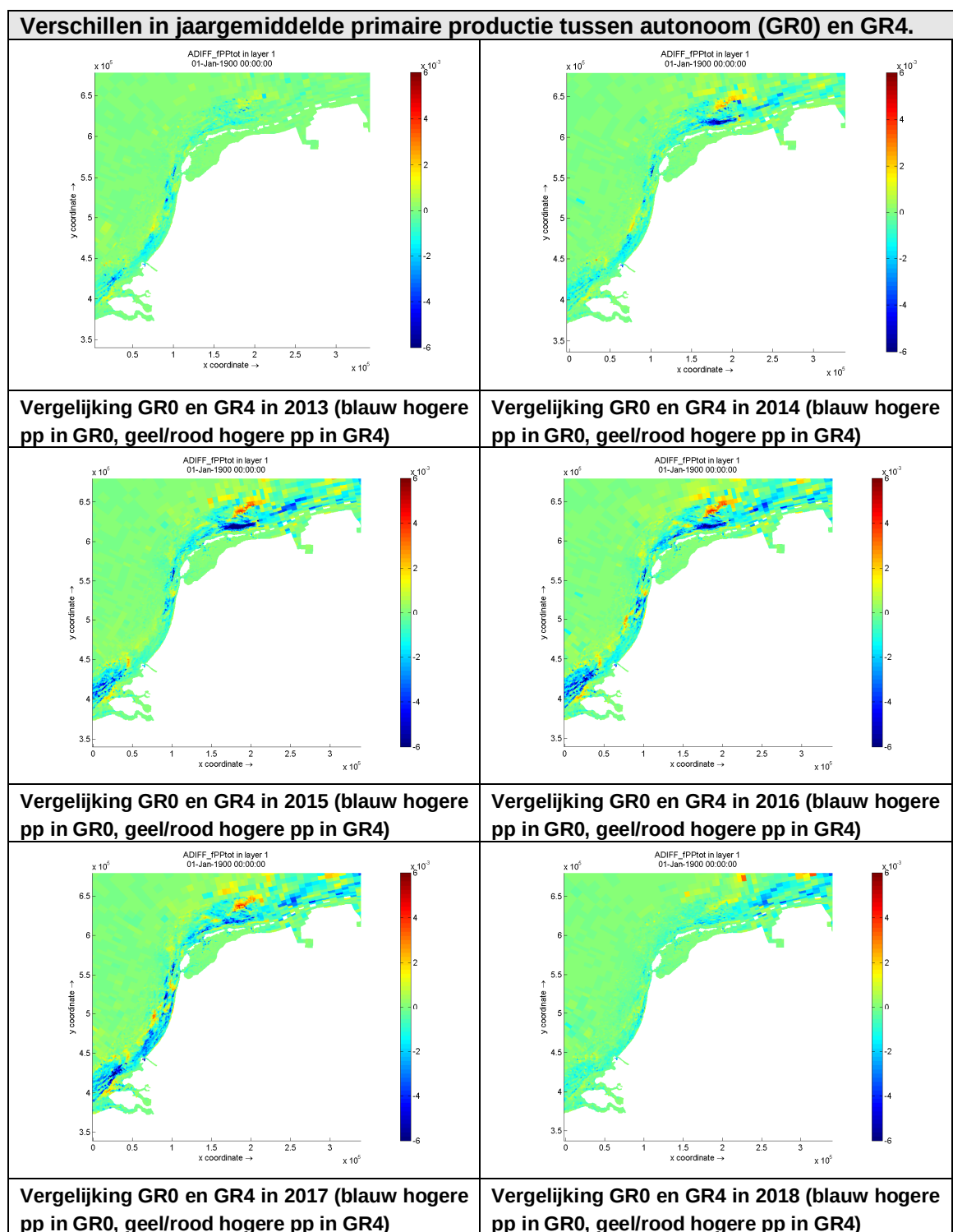


Figuur C.2 Verschillen in jaargemiddelde primaire productie tussen GR0 en GR2 voor de zandwinjaren 2013 tot en met 2017 en een jaar erna (2018).



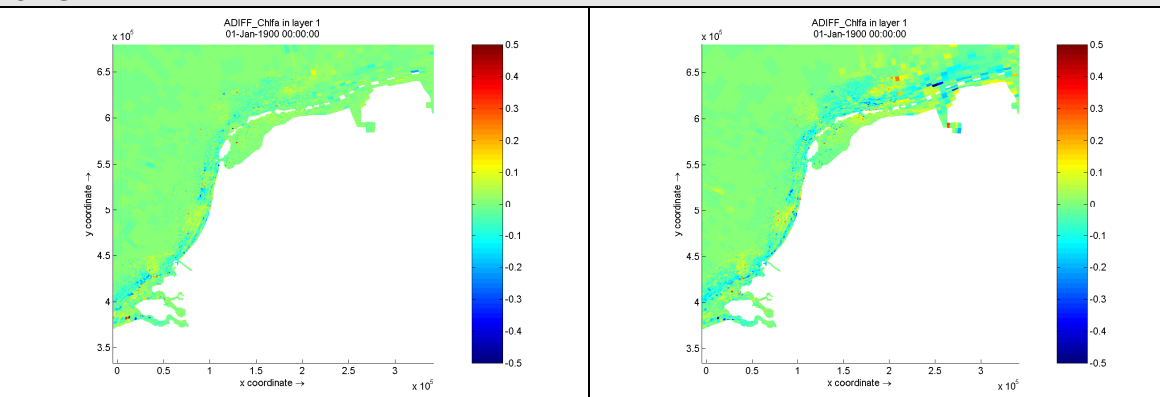


Figuur C.3 Verschillen in jaargemiddelde chlorofylconcentraties tussen GR0 en GR3 voor de zandwinjaren 2013 tot en met 2017 en een jaar erna (2018).

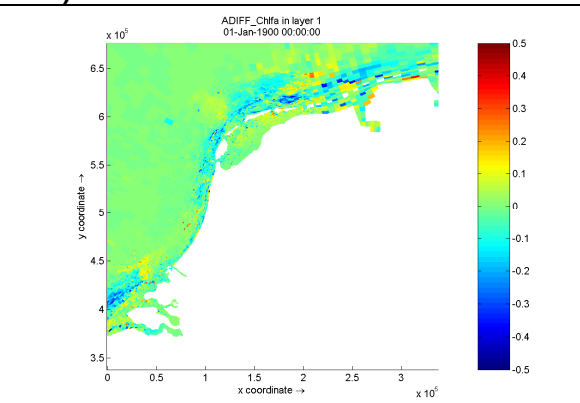


Figuur C.4 Verschillen in jaargemiddelde primaire productie tussen GR0 en GR1 voor de zandwinjaren 2013 tot en met 2017 en een jaar erna (2018).

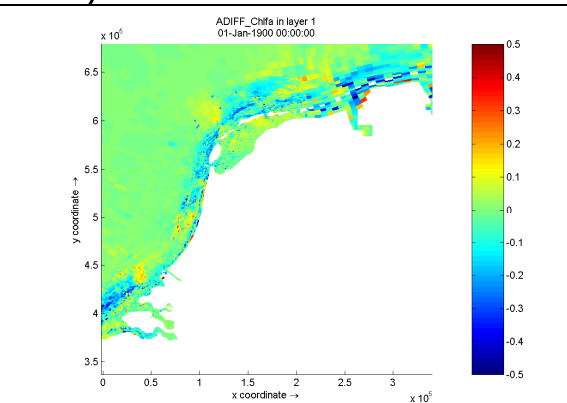
Verschillen in jaargemiddelde chlorofylconcentraties tussen het autonome scenario en GR4.



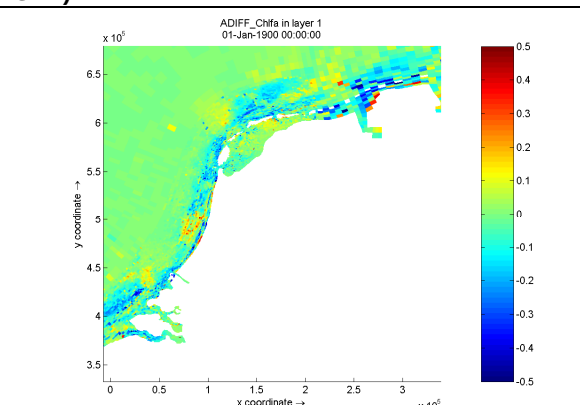
Vergelijking GR0 en GR4 in 2013 (blauw hogere [chlorofyl] in GR0, geel/rood hogere [chlorofyl] in GR4)



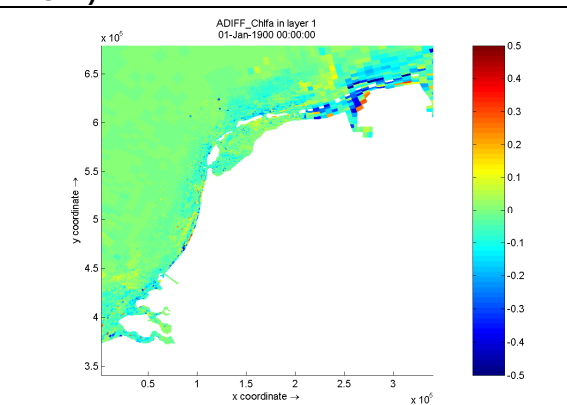
Vergelijking GR0 en GR4 in 2014 (blauw hogere [chlorofyl] in GR0, geel/rood hogere [chlorofyl] in GR4)



Vergelijking GR0 en GR4 in 2015 (blauw hogere [chlorofyl] in GR0, geel/rood hogere [chlorofyl] in GR4)



Vergelijking GR0 en GR4 in 2016 (blauw hogere [chlorofyl] in GR0, geel/rood hogere [chlorofyl] in GR4)



Vergelijking GR0 en GR4 in 2017 (blauw hogere [chlorofyl] in GR0, geel/rood hogere [chlorofyl] in GR4)

Figuur C.5 Verschillen in jaargemiddelde chlorofylconcentraties tussen GR0 en GR1 voor de zandwinjaren 2013 tot en met 2017 en een jaar erna (2018).

Vergelijking GR0 en GR4 in 2018 (blauw hogere [chlorofyl] in GR0, geel/rood hogere [chlorofyl] in GR4)

Figuur C.5 Verschillen in jaargemiddelde chlorofylconcentraties tussen GR0 en GR1 voor de zandwinjaren 2013 tot en met 2017 en een jaar erna (2018).

C.2 Tabel chlorofyl-a concentraties autonoom

Tabel C.1 Procentuele veranderingen in jaargemiddelde chlorofylconcentraties in de zandwinscenario's ten opzichte van het autonome scenario voor de opgestelde vakgebieden.

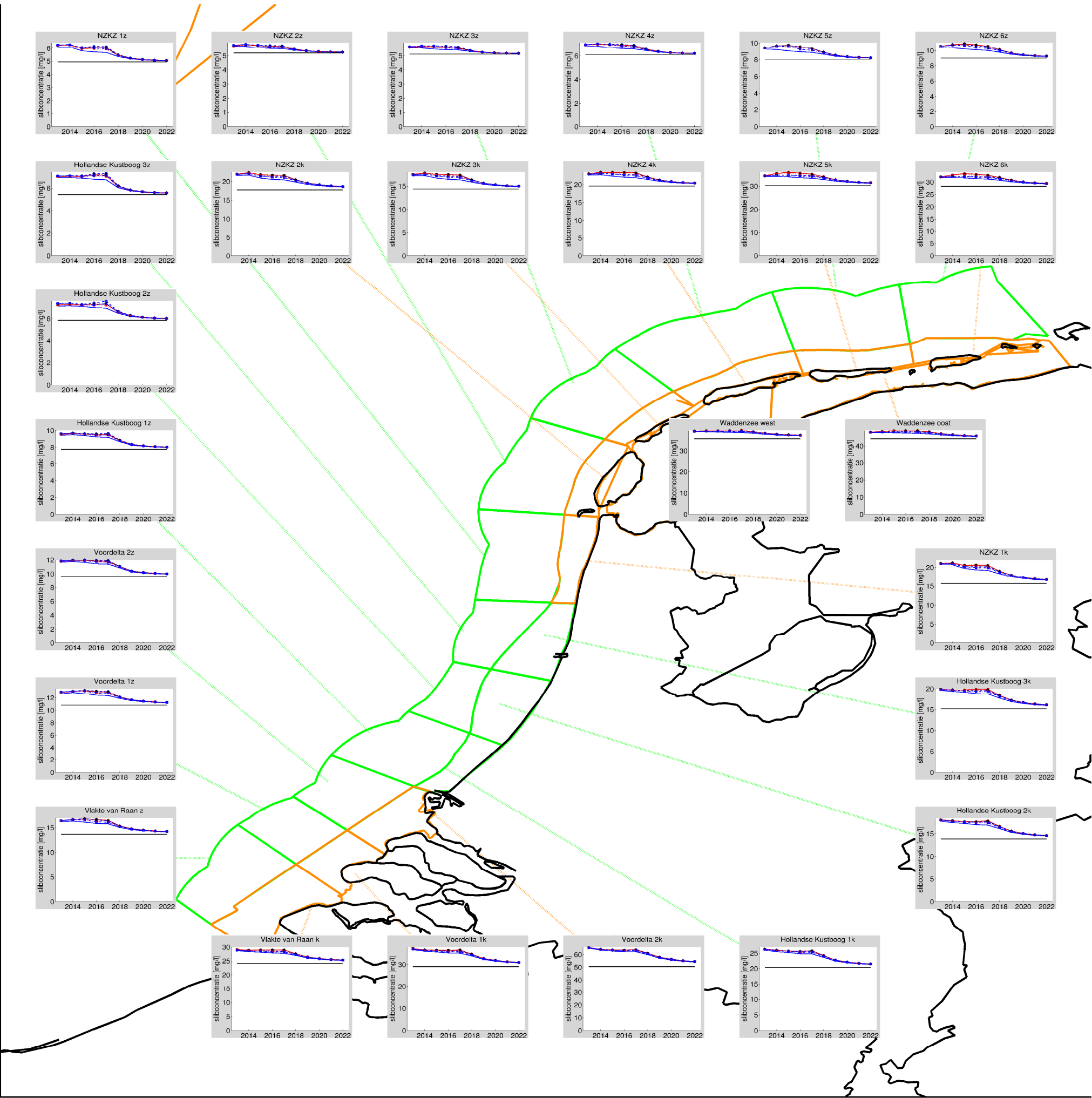
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Vlakte van Raan k										
GR1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.6	-0.9	-0.6	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2
GR3	0.2	0.1	0.4	0.3	0.2	-0.5	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2
GR4	-0.1	-0.1	-0.1	-0.5	-0.9	-0.6	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2
GR1 12M	-0.1	-0.2	0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.7	-0.5	-0.2	-0.1
GR3 12M	0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	-0.5	-0.7	-0.4	-0.2	-0.1
Vlakte van Raan z										
GR1	-1.7	-2.1	-4.5	-5.1	-4.4	-1.5	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2
GR3	-1.9	-2.3	-5.2	-5.5	-4.3	-1.2	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2
GR4	-1.5	-2.1	-4.7	-5.3	-4.3	-1.5	-0.7	-0.5	-0.4	-0.2
GR1 12M	-1.7	-2.1	-4.1	-2.9	-3.2	-1.3	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2
GR3 12M	-1.9	-2.3	-4.3	-3	-3.2	-1.1	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1
Voordelta 1k										
GR1	-0.1	-0.2	0	-0.4	-0.7	-0.7	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2
GR3	0.2	0	0.3	0	-0.2	-0.6	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2
GR4	-0.2	-0.1	0	-0.3	-0.8	-0.7	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2
GR1 12M	-0.1	-0.2	0.1	-0.2	-0.4	-0.9	-0.9	-0.5	-0.2	-0.1
GR3 12M	0.2	0	0.4	0	-0.1	-0.8	-0.8	-0.5	-0.1	-0.1
Voordelta 1z										
GR1	-0.9	-0.9	-2.1	-2.3	-1.9	-0.2	0	0	0	0
GR3	-1.7	-1.3	-2.9	-3.1	-2.4	-0.1	0	0	0	0
GR4	-0.9	-1	-2.1	-2.4	-2.1	-0.2	0	0	0	0
GR1 12M	-0.9	-0.9	-1.5	-0.7	-1.1	-0.4	0.1	0.1	0.1	0.1
GR3 12M	-1.7	-1.3	-2.3	-1.1	-1.4	-0.4	0.1	0.1	0.1	0.1
Voordelta 2k										
GR1	-0.4	-0.6	-0.4	-0.8	-1.3	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3
GR3	-0.4	-0.6	-0.4	-0.9	-1.3	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3
GR4	-0.4	-0.6	-0.4	-0.6	-1.1	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3
GR1 12M	-0.4	-0.6	-0.3	-0.5	-0.6	-0.4	-0.1	-0.1	-0.3	-0.3
GR3 12M	-0.4	-0.6	-0.2	-0.4	-0.6	-0.3	-0.1	-0.1	-0.3	-0.4
Voordelta 2z										
GR1	0.5	0.6	1.5	1.6	1.3	0.2	0	0	0	0
GR3	1	0.7	1.7	1.6	1.2	0.1	0	0	0	0
GR4	0.5	0.7	1.5	1.7	1.3	0.2	0	0	0	0
GR1 12M	0.5	0.6	1.7	1.2	1.3	0.6	0	-0.1	-0.1	0.1
GR3 12M	1	0.7	2.1	1.3	1.3	0.5	0	0	0	0.1
Holl Kustboog 1k										
GR1	-0.7	-0.9	-0.3	-0.8	-1.6	-0.5	-0.4	-0.2	-0.2	-0.2
GR3	-0.6	-0.8	-0.2	-0.8	-1.4	-0.5	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2
GR4	-0.7	-0.9	-0.3	-0.7	-1.5	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2
GR1 12M	-0.7	-0.9	-0.3	-0.4	-0.8	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1
GR3 12M	-0.6	-0.8	-0.2	-0.4	-0.7	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1

Holl Kustboog 1z										
GR1	0	-0.1	0.3	0.3	0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0
GR3	-0.3	-0.4	0.5	0.1	-0.6	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0
GR4	-0.1	-0.1	0.3	0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0
GR1_12M	0	-0.1	0	0	0.2	-0.1	0	-0.1	-0.1	0
GR3_12M	-0.3	-0.4	0.1	0.1	-0.1	-0.1	0	0	-0.1	0
Holl Kustboog 2k										
GR1	-0.2	-0.3	-0.1	-0.2	-0.7	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	0
GR3	-0.1	-0.2	0	-0.2	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	0
GR4	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	-0.6	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	0
GR1_12M	-0.2	-0.3	-0.2	-0.3	-0.4	-0.3	-0.2	0	0	-0.1
GR3_12M	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	0	0	-0.1
Holl Kustboog 2z										
GR1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0
GR3	-0.1	-0.3	0.2	-0.1	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
GR4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0
GR1_12M	0.2	0.2	-0.5	-0.1	0.2	-0.3	-0.3	0	0.1	0
GR3_12M	-0.1	-0.3	-0.5	-0.2	-0.4	-0.4	-0.3	0	0.1	0
Holl Kustboog 3k										
GR1	0.3	0.2	-0.2	0.1	0.4	-0.3	-0.1	-0.1	0	0
GR3	0.2	0.2	-0.2	-0.1	0.2	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	0
GR4	0.2	0.1	-0.2	0	0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	0
GR1_12M	0.3	0.2	-0.6	-0.4	0	-0.3	-0.4	-0.3	-0.1	0
GR3_12M	0.2	0.2	-0.4	-0.4	-0.1	-0.3	-0.4	-0.2	0	0
Holl Kustboog 3z										
GR1	0.1	0	-0.2	-0.2	0	-0.5	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1
GR3	0	0	-0.4	-0.9	-0.6	-0.7	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
GR4	0.1	0	-0.2	-0.4	-0.2	-0.5	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1
GR1_12M	0.1	0	-0.6	-0.5	-0.3	-0.8	-0.5	-0.2	-0.1	-0.1
GR3_12M	0	0	-0.7	-1	-0.7	-0.9	-0.6	-0.2	-0.1	-0.1
Nrdzeekustzone 1k										
GR1	-0.6	-0.4	-0.9	-1.4	-1.3	-0.6	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
GR3	-0.7	-0.4	-1.1	-1.4	-1.5	-0.6	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
GR4	-0.5	-0.4	-1.1	-1.7	-1.6	-0.6	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1
GR1_12M	-0.6	-0.4	-0.8	-0.5	0.1	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	0
GR3_12M	-0.7	-0.4	-1	-0.8	0.1	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1
Nrdzeekustzone 1z										
GR1	-0.4	-0.5	-0.6	-1	-1.2	-0.7	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
GR3	-1.2	-1.2	-1.7	-2.8	-2.9	-0.9	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
GR4	-0.4	-0.5	-0.7	-1.4	-1.5	-0.7	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
GR1_12M	-0.4	-0.5	-0.7	-0.7	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	-0.1	-0.1
GR3_12M	-1.2	-1.2	-1.6	-1.7	-1.5	-0.9	-0.6	-0.2	-0.1	-0.1
Nrdzeekustzone 2k										
GR1	-0.8	-1.3	-2	-2.8	-3.1	-1.4	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2
GR3	-1.2	-1.2	-1.8	-3.1	-3.5	-1.3	-0.6	-0.5	-0.3	-0.3
GR4	-0.8	-1.3	-2.1	-3	-3.3	-1.4	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2

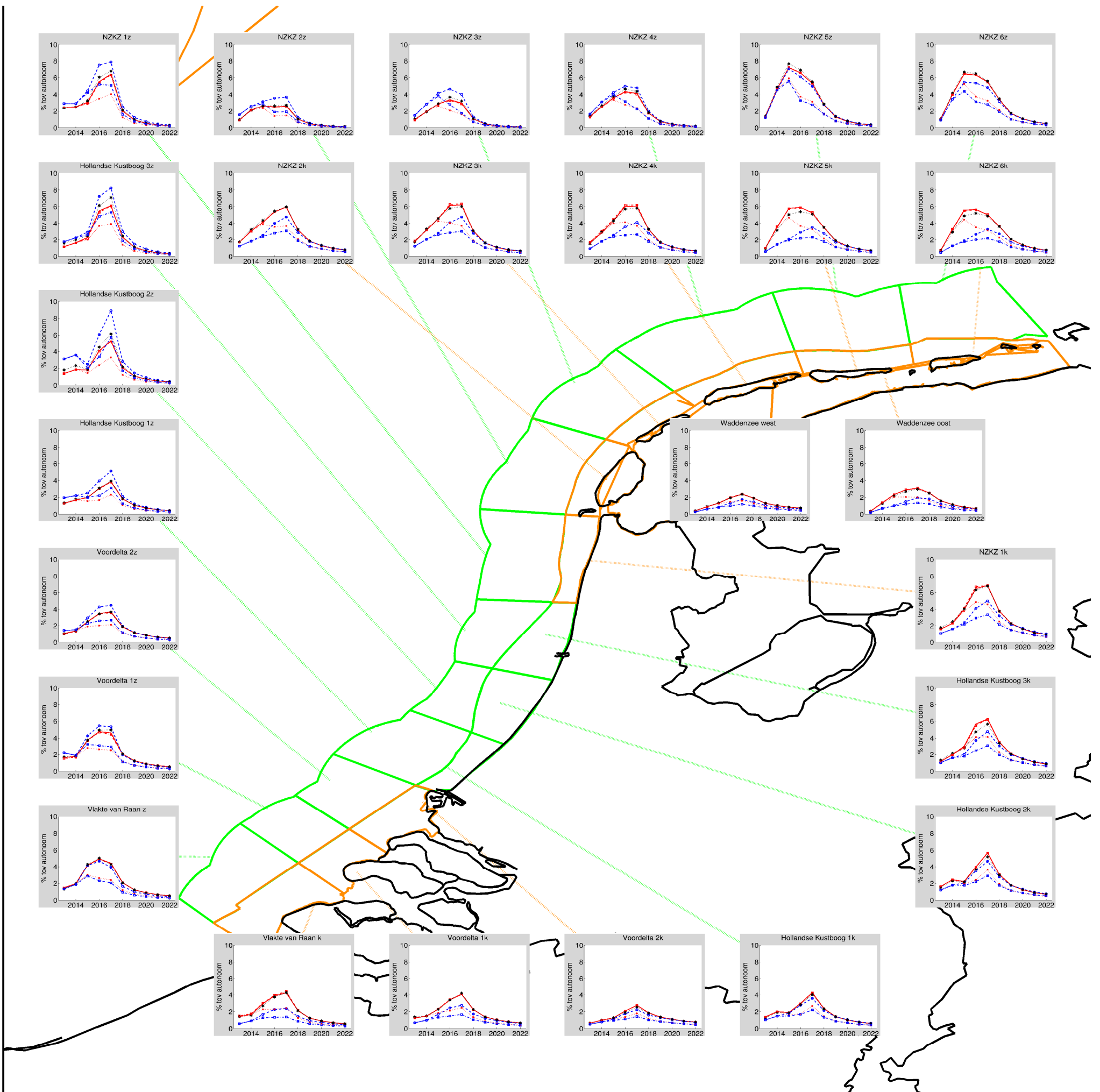
GR1 12M	-0.8	-1.3	-1.1	-1	-1	-1	-0.7	-0.4	-0.3	-0.2
GR3 12M	-1.2	-1.2	-0.9	-1.1	-1.1	-1	-0.7	-0.4	-0.3	-0.2
Nrdzeekustzone 2z										
GR1	-0.2	-0.6	-0.8	-0.8	-0.9	-0.4	-0.1	-0.1	-0.1	0
GR3	-0.9	-1.2	-1.5	-2	-2.2	-0.4	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1
GR4	-0.2	-0.6	-0.8	-0.9	-1	-0.4	-0.1	-0.1	-0.1	0
GR1 12M	-0.2	-0.6	-0.9	-0.5	-0.4	-0.4	-0.2	-0.1	-0.1	0
GR3 12M	-0.9	-1.2	-1.4	-0.9	-0.7	-0.4	-0.2	-0.1	-0.1	0
Nrdzeekustzone 3k										
GR1	-0.2	-0.8	-1	-1.3	-1.4	-0.9	-0.5	-0.4	-0.2	-0.2
GR3	-0.1	-0.6	-0.6	-0.8	-1.1	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2
GR4	-0.2	-0.8	-1	-1.2	-1.4	-0.9	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2
GR1 12M	-0.2	-0.8	-1.4	-0.9	-0.3	-0.5	-0.4	-0.3	-0.4	-0.2
GR3 12M	-0.1	-0.6	-1	-0.7	-0.2	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3
Nrdzeekustzone 3z										
GR1	0	-0.3	-0.4	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1	0	0	0
GR3	0.1	-0.6	-0.9	-0.7	-0.4	-0.3	-0.1	0	0	0
GR4	0	-0.3	-0.4	-0.3	-0.1	-0.2	-0.1	0	0	0
GR1 12M	0	-0.3	-0.6	-0.7	0	0	-0.1	-0.1	-0.1	0
GR3 12M	0.1	-0.6	-1	-0.9	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0
Nrdzeekustzone 4k										
GR1	-0.5	-1.2	-1.7	-2.2	-2.7	-1.7	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3
GR3	-0.3	-0.9	-1.1	-1.4	-2.1	-1.6	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3
GR4	-0.5	-1.2	-1.7	-2	-2.6	-1.7	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3
GR1 12M	-0.5	-1.2	-2	-1.9	-1.7	-1.3	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2
GR3 12M	-0.3	-0.9	-1.5	-1.3	-1.3	-1.2	-0.8	-0.5	-0.4	-0.3
Nrdzeekustzone 4z										
GR1	-0.3	-0.9	-1.5	-1.6	-1.6	-0.8	-0.3	-0.1	-0.1	0
GR3	-0.7	-1.5	-2.3	-2.8	-2.6	-0.9	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1
GR4	-0.3	-0.9	-1.6	-1.8	-1.7	-0.8	-0.3	-0.1	-0.1	0
GR1 12M	-0.3	-0.9	-1.6	-1.7	-1.4	-1	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
GR3 12M	-0.7	-1.5	-2.3	-2.2	-1.5	-1	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
Nrdzeekustzone 5k										
GR1	-0.2	-0.5	-1.3	-1.4	-1.8	-1.3	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2
GR3	-0.1	-0.3	-0.5	-0.8	-1.2	-1.1	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2
GR4	-0.2	-0.4	-0.9	-1.2	-1.7	-1.3	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2
GR1 12M	-0.2	-0.5	-0.8	-1	-1	-1	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3
GR3 12M	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.6	-0.8	-0.6	-0.3	-0.3	-0.3
Nrdzeekust 5z										
GR1	-0.2	-1.1	-1.8	-1.4	-1.3	-0.9	-0.3	-0.2	-0.1	0
GR3	-0.4	-1.2	-2.1	-2.3	-1.9	-1	-0.3	-0.1	-0.1	0
GR4	-0.2	-1.1	-1.9	-1.6	-1.4	-0.9	-0.3	-0.1	-0.1	0
GR1 12M	-0.2	-1.1	-1.8	-1.5	-1	-1.2	-0.5	-0.2	-0.1	-0.1
GR3 12M	-0.4	-1.2	-1.9	-1.8	-1	-1.2	-0.4	-0.2	-0.1	-0.1
Nrdzeekustzone 6k										
GR1	-0.1	-0.1	-0.6	-0.9	-1.1	-1.2	-0.8	-0.4	-0.3	-0.3

GR3	0	0.2	0.1	-0.3	-0.4	-0.9	-0.7	-0.4	-0.3	-0.3
GR4	-0.1	0	-0.4	-0.8	-1	-1.2	-0.8	-0.4	-0.3	-0.3
GR1_12M	-0.1	-0.1	0.1	-0.3	-0.3	-0.8	-0.6	-0.3	-0.3	-0.2
GR3_12M	0	0.2	0.4	0.1	0	-0.6	-0.5	-0.3	-0.3	-0.2
Nrdzeekustzone 6z										
GR1	0.1	-0.4	-0.6	-0.6	-0.5	-0.8	-0.2	-0.1	-0.1	0
GR3	0.1	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.8	-0.2	-0.1	0	0
GR4	0.1	-0.4	-0.6	-0.6	-0.5	-0.8	-0.2	-0.1	-0.1	0
GR1_12M	0.1	-0.4	-0.4	-0.6	-0.4	-0.7	-0.4	-0.2	-0.1	0
GR3_12M	0.1	-0.3	-0.4	-0.5	-0.2	-0.6	-0.4	-0.1	0	0
Waddenzee west										
GR1	0	-0.2	-0.2	-0.4	-0.6	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2
GR3	0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2
GR4	0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.6	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2
GR1_12M	0	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.5	-0.4	-0.2	-0.2	-0.1
GR3_12M	0	-0.1	-0.1	0.1	0	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1
Waddenzee oost										
GR1	0	0	-0.1	-0.5	-0.9	-1.1	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2
GR3	0	0	0.1	-0.2	-0.5	-0.7	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2
GR4	0	0	0	-0.5	-0.9	-1.1	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2
GR1_12M	0	0	-0.1	0.2	0.1	-0.6	-0.4	-0.3	-0.1	-0.1
GR3_12M	0	0	-0.1	0.5	0.4	-0.4	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1

Verloop van jaargemiddelde slibconcentraties als gevolg van de RWS zandwinning t.b.v. reguliere kustsuppletie (2013-2017)

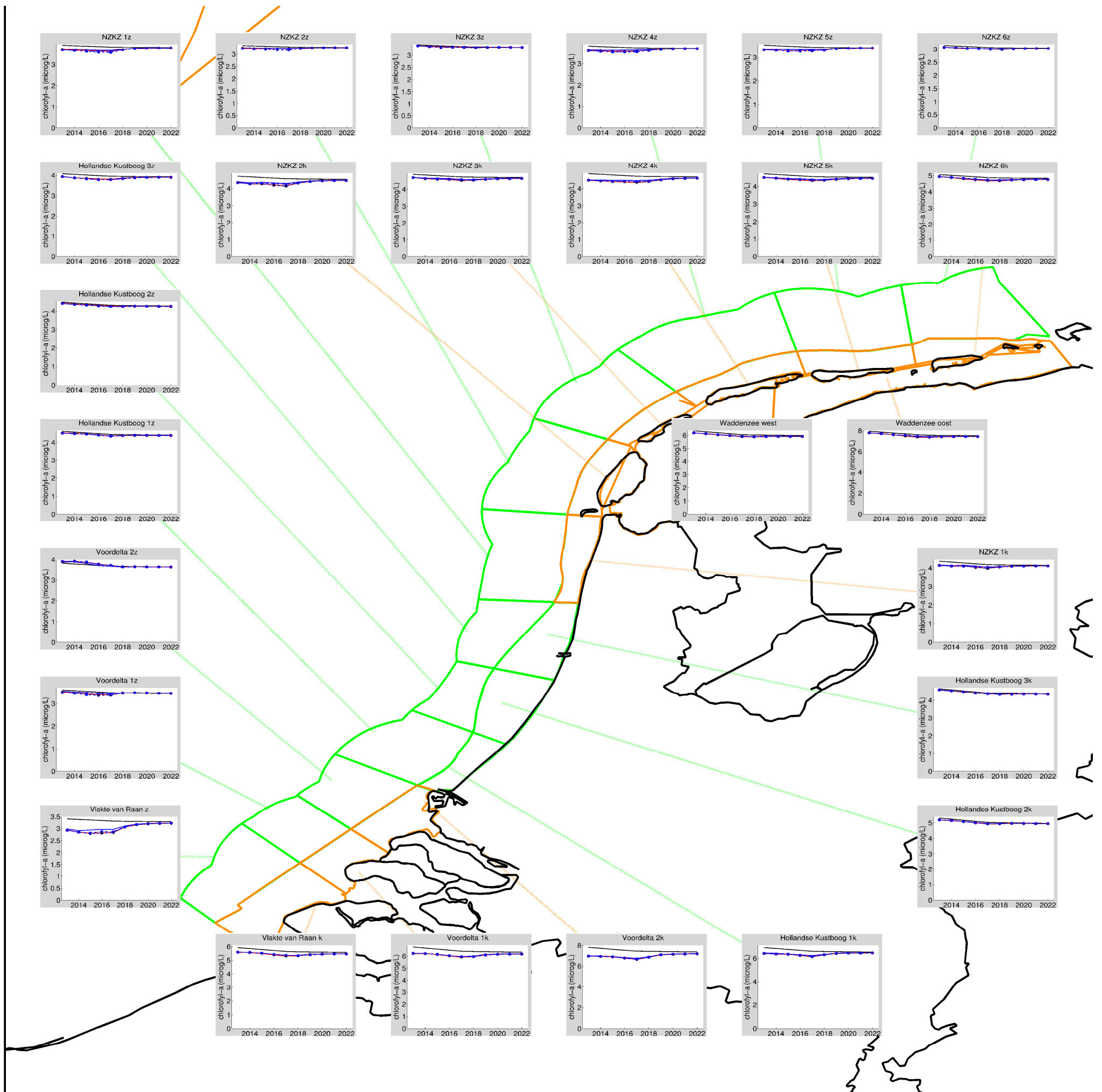


Te verwachten verandering van de jaargemiddelde slibconcentraties (t.o.v. de autonome situatie) als gevolg van de RWS zandwinning t.b.v. reguliere kustsuppletie (2013-2017)

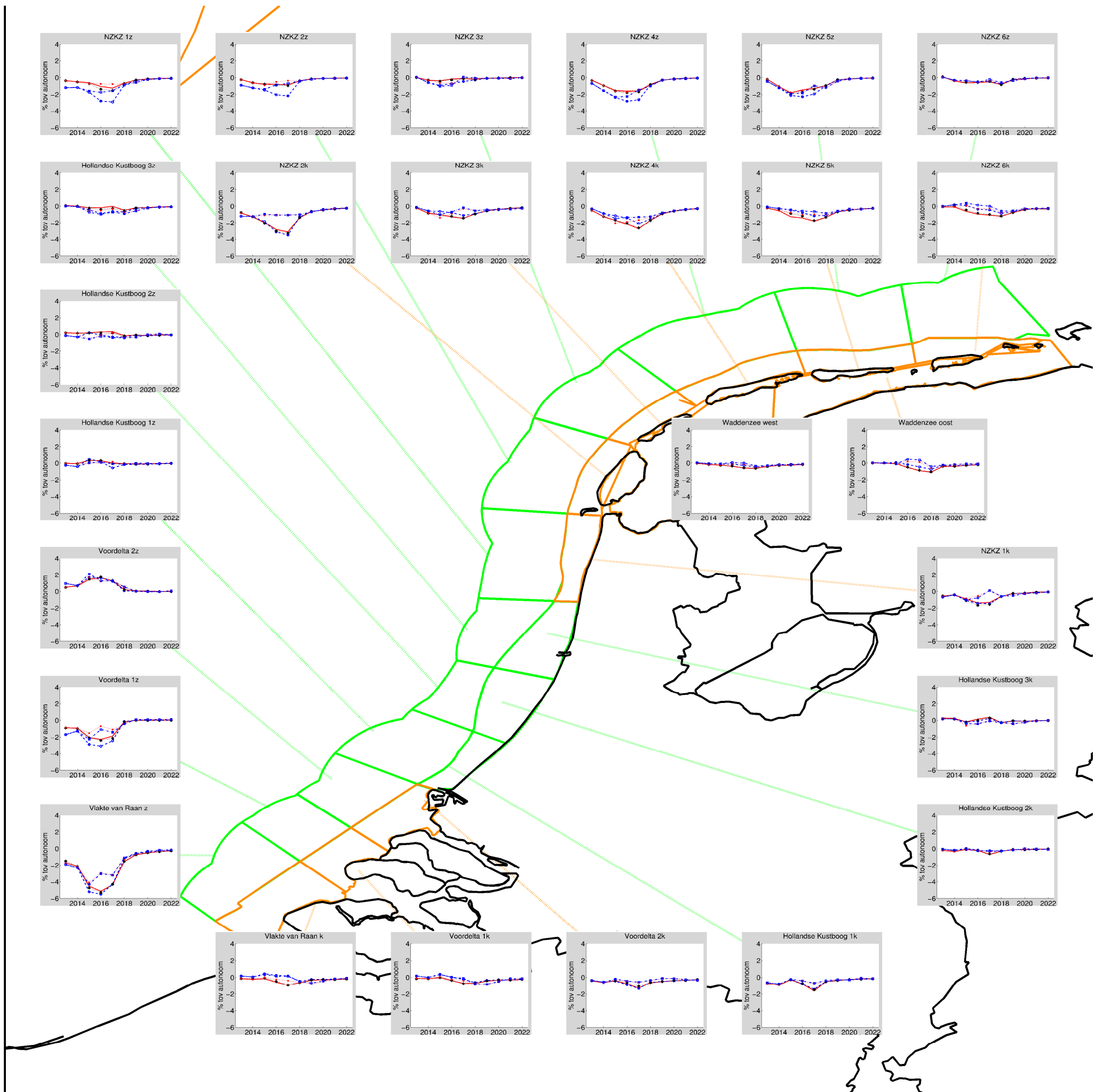


N.B. Alle percentages zijn berekend ten opzichte van de jaargemiddelde slibconcentraties behorende bij de autonome situatie. De autonome situatie bestaat uit de natuurlijke achtergrond, andere (reeds gegunde) zandwinactiviteiten en het voorkeursscenario voor de zandwinningen van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.

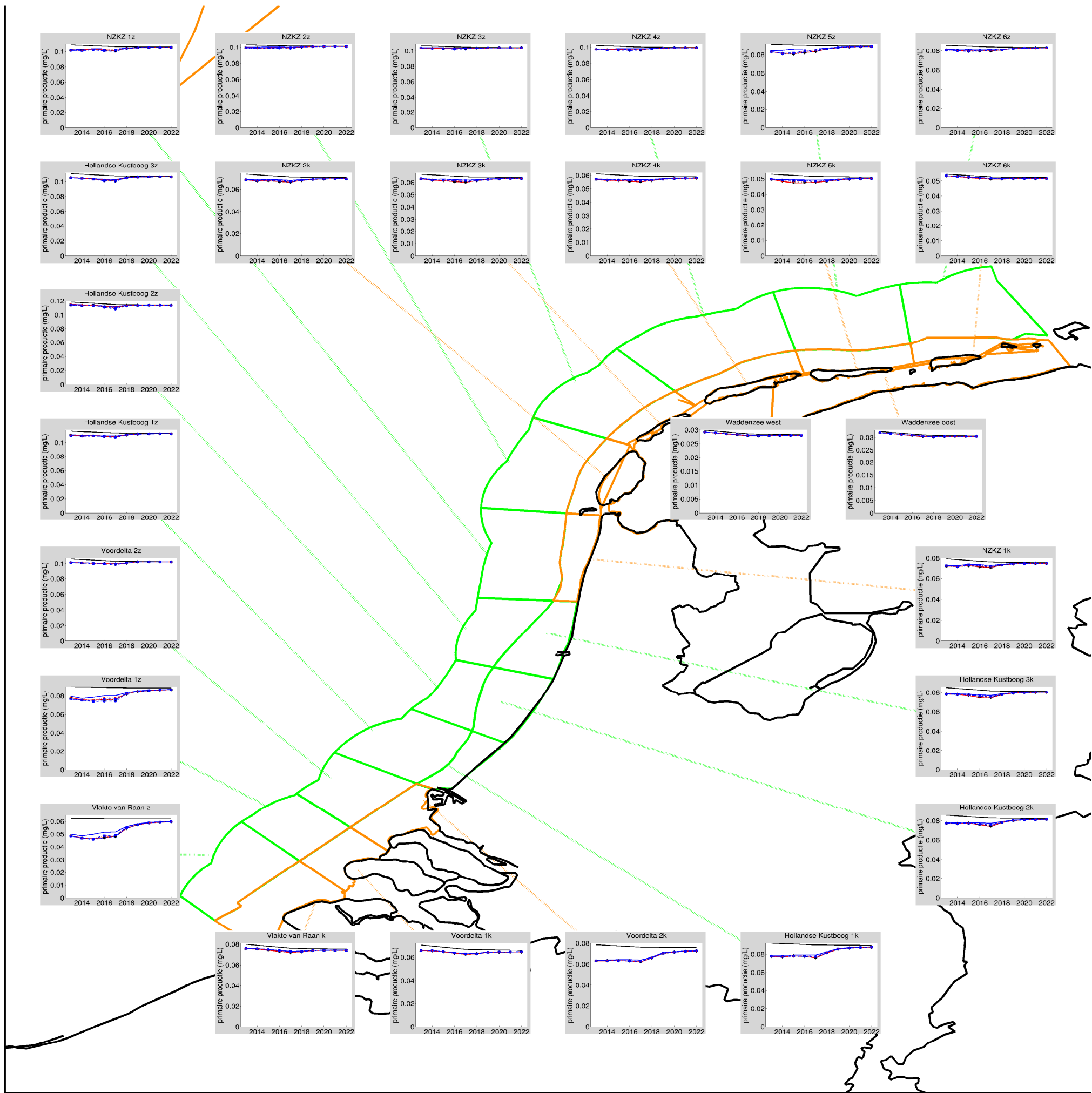
Verloop van jaargemiddelde chlorofylconcentraties als gevolg van de RWS zandwinning t.b.v. reguliere kustsuppletie (2013-2017)



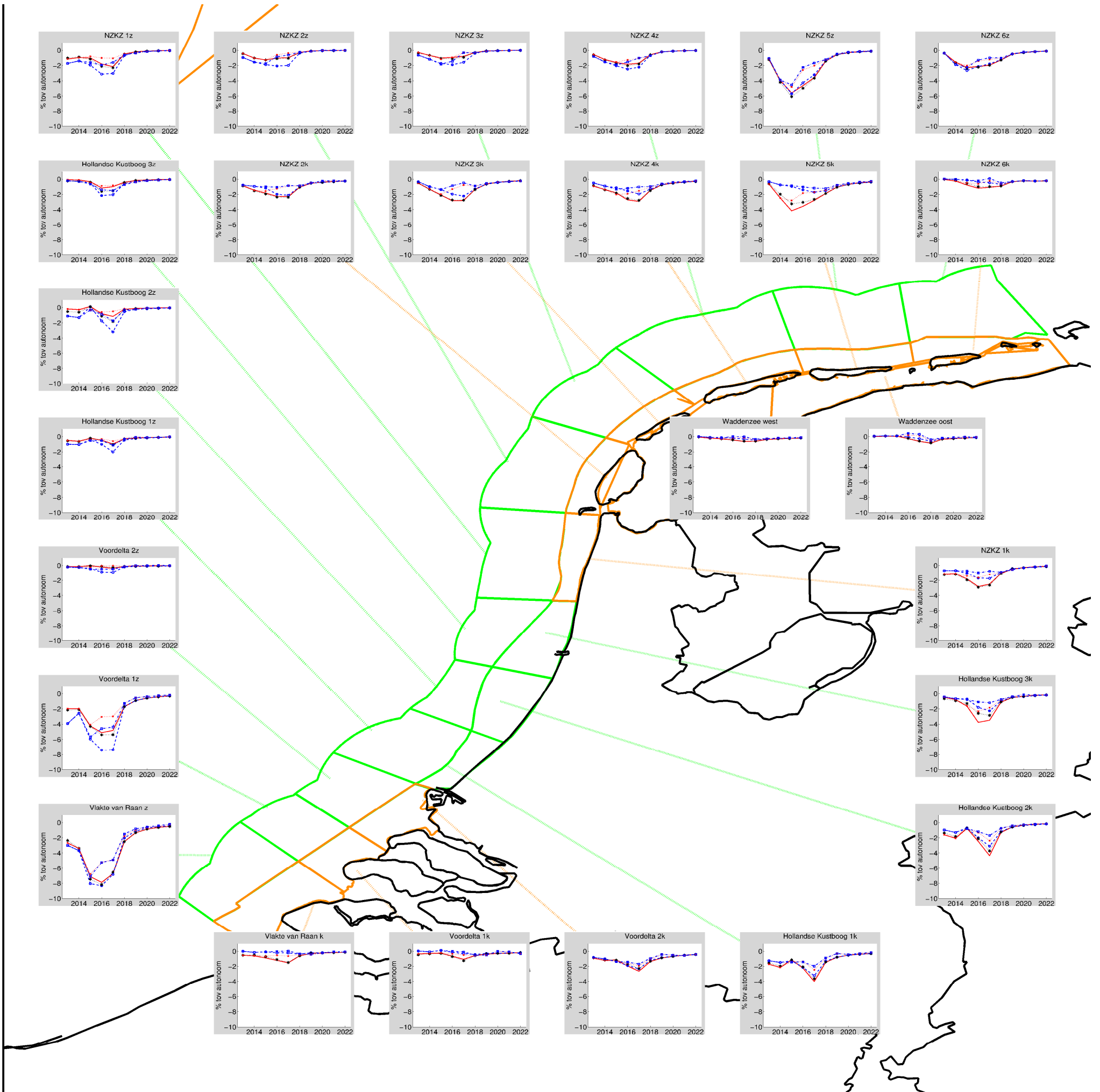
Te verwachten verandering van de jaargemiddelde chlorofylconcentraties (t.o.v. de autonome situatie) als gevolg van de RWS zandwinning t.b.v. reguliere kustsuppletie (2013-2017)



Verloop van jaargemiddelde primaire productie als gevolg van de RWS zandwinning t.b.v. reguliere kustsuppletie (2013-2017)



Te verwachten verandering van de jaargemiddelde primaire productie (t.o.v. de autonome situatie) als gevolg van de RWS zandwinning t.b.v. reguliere kustsuppletie (2013-2017)



Dit is een uitgave van

Rijkswaterstaat

Kijk voor meer informatie op
www.rijkswaterstaat.nl
of bel 0800 - 8002
(ma t/m zo 06.00 - 22.30 uur, gratis)

september 2012 | NZo912RE209