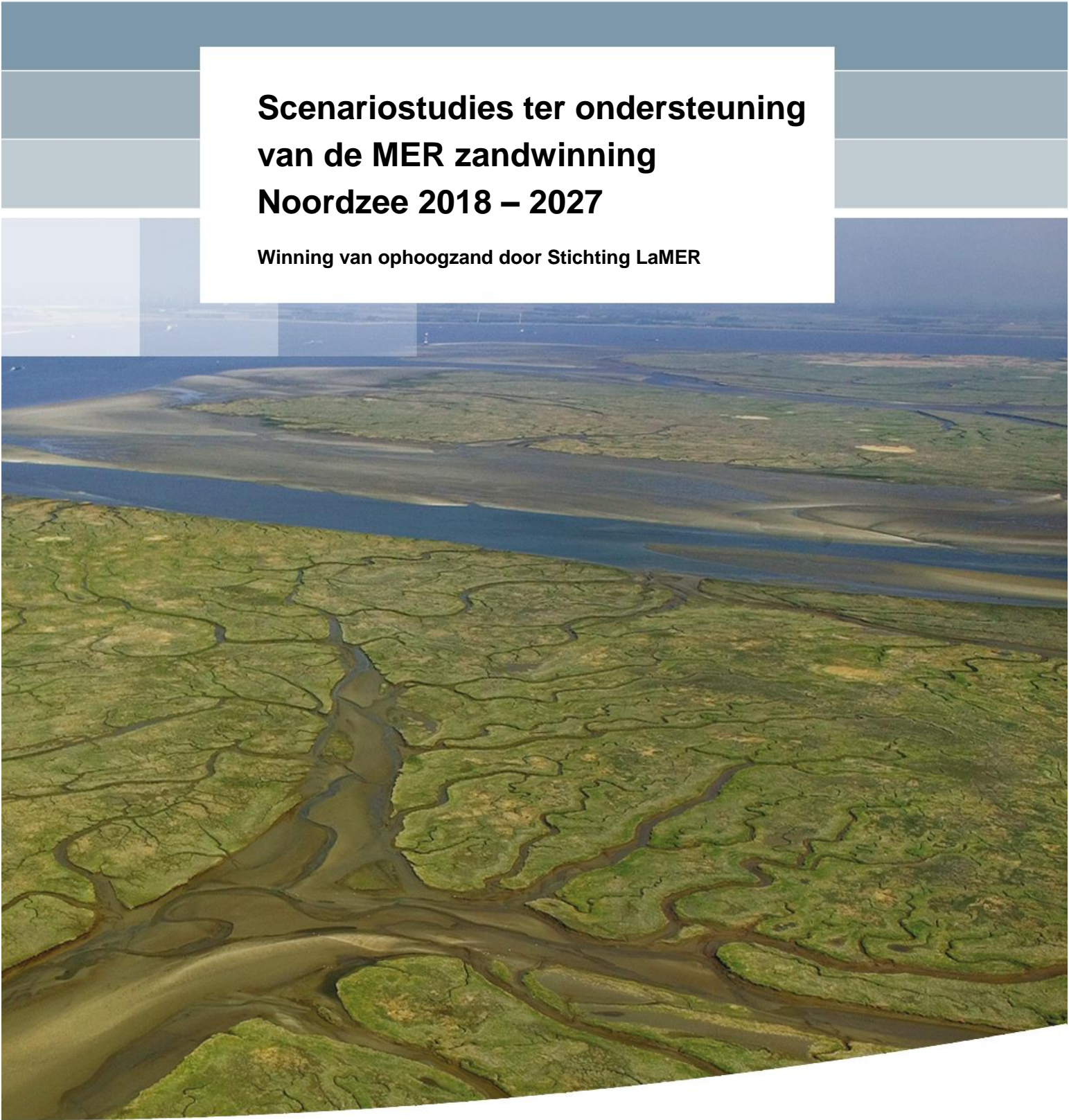


**Scenariostudies ter ondersteuning
van de MER zandwinning
Noordzee 2018 – 2027**

Winning van ophoogzand door Stichting LaMER



Scenariostudies ter ondersteuning van de MER zandwinning Noordzee 2018 – 2027

Winning van ophoogzand door Stichting LaMER

dr. L.A. van Duren
dr.ir. T. van Kessel
dr.ir. T.A. Troost
dr.ir. A.N. Blauw
L. Kramer, MSc.
ir. J.A.G. van Gils
dr.ir. J.W.M. Wijsman
dr. J.A.M. Craeymeersch
prof. dr. P.M.J. Herman
M.T. Villars MSc.

1230888-000

Titel

Scenariostudies ter ondersteuning van de MER zandwinning Noordzee 2018 – 2027

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving	1230888-000	1230888-000-ZKS-0023	91

Classificatie

vertrouwelijk tot november 2017

Trefwoorden

Zandwinning, modelscenario's, Noordzee, Waddenzee, MER

Samenvatting

Stichting LaMER wil voor de aangesloten leden vergunningen aanvragen voor commerciële zandwinning in de Noordzee ten behoeve van ophoogzand. Tegelijkertijd loopt er eenzelfde traject voor winning van zand voor kustsuppleties, waarbij de vergunningaanvraag en de MER worden aangevraagd door Rijkswaterstaat. Voor elk van deze initiatieven moet een MER worden uitgevoerd. Omdat beide initiatieven nog niet vergund zijn, moeten ook de cumulatieve effecten van deze winningen in beeld worden gebracht. Ter ondersteuning van deze MER-beoordeling is een set numerieke modelstudies opgezet waarin het effect van de voorgenomen zandwinning op slibconcentraties, doorzicht, nutriënttransport, primaire productie en secundaire productie wordt berekend. In deze samenvatting worden de ecologische effecten gepresenteerd en wordt op tevens aangegeven welke aspecten van deze modelstudies belangrijk zijn voor hogere trofische niveaus, met name soorten waar instandhoudingsdoelstellingen voor gelden. In het rapport worden de resultaten van de winningen voor kustsuppleties en de winningen voor ophoogzand apart gepresenteerd ten opzichte van achtergrond concentraties en reeds vergunde activiteiten en tevens zijn de cumulatieve effecten van beide activiteiten besproken. Er is onderscheid gemaakt tussen kustwaartse winning en zeewaartse winning. De winning voor ophoogzand (LaMER Initiatief) betreft 165 Mm³ in de periode 2018-2017. De winning voor reguliere kustsuppleties (RWS initiatief) betreft 140 Mm³, met een alternatief scenario voor 120 Mm³, in dezelfde periode, met een alternatief scenario voor 135 Mm³. Deze samenvatting is gericht op de resultaten m.b.t. het LaMER initiatief en de cumulatieve effecten.

Effecten op slibconcentraties

Om de effecten op systeemniveau zichtbaar te maken worden de modelresultaten geaggregeerd in 26 kustvakken, 2 in de Waddenzee en 24 in de Noordzeekustzone. De modelresultaten laten een duidelijk effect van de zandwinactiviteiten op slibconcentraties zien.

In vergelijking met de vergunde situatie (bestaande uit de natuurlijke achtergrondconcentraties plus de reeds gegunde zandwinningen) laat het kleinere (135 Mm³) **individuele LaMER zandwinscenario** op de meeste locaties een toename in slibconcentratie zien van 3 à 4% t.o.v. het vergunde scenario. Het kustwaartse scenario van 165 Mm³ levert meestal verhogingen van 5 à 6% op, al is dit sterk afhankelijk van de locaties. Er zijn enkele gebieden in de Noordzee kustzone waar effecten niet boven de 2% uitkomen, maar dat zijn wel uitzonderingen. Het zeewaartse scenario van LaMER (165 Mm³) levert vaak wat hogere slibconcentraties op. Zeker rond de Hollandse kustboog en de vlakte van de Raan levert dit individuele scenario op verschillende locaties verhogingen op van meer dan 9%. Voor individuele grotere LaMER scenario ligt in de Waddenzee de verhoging van slibconcentratie rond de 4-5% en boven de 10% in sommige jaren voor cumulatieve, kustwaartse scenario's. Voor het beperktere scenario waarin 135 Mm³ wordt gewonnen is de toename binnen de Waddenzee 3-3,5%.

Titel

Scenariostudies ter ondersteuning van de MER zandwinning Noordzee 2018 – 2027

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving	1230888-000	1230888-000-ZKS-0023	91

Classificatie

vertrouwelijk tot november 2017

De **cumulatieve** zeewaartse **scenario's** (LaMER + de winning voor RWS) geven op deze locaties regelmatig verhogingen van 12-13% t.o.v. het vergunde scenario. Ook de kustwaartse cumulatieve scenario's kunnen in sommige zuidelijke kustvakken verhogingen geven van 10-14%. In cumulatieve scenario's resulteert zandwinning ten noorden van de Waddenzee in één vak (boven Ameland) in toenames van meer dan 15%, en in verschillende andere vakken in toenames van meer dan 10% ten opzichte van de achtergrond plus vergunde activiteiten. Dit geldt voor zowel de cumulatieve kustwaartse als de zeewaartse winningen, maar de locatie van maximale toenames verschilt aanmerkelijk.

Ecologische effecten op de Noordzee

Primaire productie en chlorofyl

Opgemerkt moet worden dat voor de LaMER scenario's alleen het kustwaartse individuele scenario is doorgerekend (het initiatief van 165 Mm³). Voor het zeewaartse individuele initiatief zijn extrapolaties gemaakt vanuit de relatie slib – primaire productie en slib – biomassa schelpdieren. De cumulatieve scenario's (initiatief LaMER 165 Mm³ en RWS 140 Mm³) zijn wel voor zowel kustwaarts als zeewaarts doorgerekend. In vrijwel alle gebieden wordt een negatief effect van zandwinning op primaire productie, chlorofylconcentraties en uiteindelijk ook schelpdiergroei gevonden. Over het algemeen is de verandering in chlorofylconcentraties minder extreem dan de verandering in primaire productie en de effecten op schelpdieren. De verlaagde primaire productie resulteert in een lagere groei van schelpdieren, waardoor ook de mate van begrazing verlaagt. De vermindering van schelpdiergraas resulteert daarmee in een minder sterke afname van algenbiomassa (te zien in chlorofylconcentraties) terwijl de productie wel is afgenomen. Het is dus essentieel om te kijken naar effecten op primaire productie en in mindere mate naar effecten op algenbiomassa of chlorofylconcentraties. Op veruit de meeste locaties is het effect van de LaMER scenario's op primaire productie minder dan 2% en van cumulatieve scenario's onder de 4%. Echter, in sommige kustvakken kan de primaire productie in cumulatieve scenario's sterker afnemen, tot meer dan 25% bij de vlakte van de Raan en tot 9% in het kustvak boven Ameland. In de meeste deelgebieden is de afname in primaire productie ongeveer evenredig met de toename in slibconcentratie. De effecten op primaire productie zijn in de kustwaartse scenario's vaak iets groter dan in de zeewaartse, maar dat is zeker niet overal het geval.

Schelpdieren

In de kustzone van de Noordzee is het dominante schelpdier de Amerikaanse zwaardschede (*Ensis directus*). Effecten op deze schelpdierbiomassa's zijn in de Noordzee enerzijds sterk afhankelijk van de lokale afname in primaire productie (en dus van ligging t.o.v. zandwinlocaties) maar tegelijk ook sterk dichtheidsafhankelijk. Verhoudingsgewijs zijn effecten het sterkst op locaties waar schelpdieren in lage dichtheden voorkomen en minder op de locaties met zeer hoge biomassa's (dus gebieden die zeer gunstig zijn voor groei). Grote exemplaren zijn gevoeliger voor veranderingen in slib en voedsel dan kleine. Vanwege de gebruikte modelinstellingen is het waarschijnlijk dat het berekende effect op *Ensis* iets overschat is, op de schaal van de gedefinieerde kustvakken. Modelanalyses op de groei van jonge *Ensis*, in vergelijking met de biomassa ontwikkeling van de totale populatie, suggereren dat vertroebeling een verschuiving in de populatie kan veroorzaken van grotere, naar gemiddeld kleinere individuen. Dit kan met het huidige model niet gekwantificeerd worden.

Titel

Scenariostudies ter ondersteuning van de MER zandwinning Noordzee 2018 – 2027

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving	1230888-000	1230888-000-ZKS-0023	91

Classificatie

vertrouwelijk tot november 2017

Effecten van individuele LaMER initiatieven kunnen lokaal in de Noordzee oplopen tot meer dan 50% (lokaal in de Voordelta), maar zijn in de meeste gebieden waar een grote biomassa *Ensis* ligt onder de 10%. Aanvullende gevoeligheidsanalyses samen met expert judgement geven aan dat de potentiële gemiddelde afname van *Ensis* op de Noordzee ongeveer een derde minder zal zijn dan het model berekent.

Ensis is een zeer belangrijke voedselbron voor duikende vogelsoorten zoals zwarte zee-eenden, waarvoor instandhoudingsdoelstellingen geformuleerd zijn. Deze soorten maken over het algemeen selectief gebruik van dichte schelpdierbanken. Dichte schelpdierbanken zijn locaties waar hoge schelpdierbiomassa's voorkomen. Dat zijn juist de locaties waar een relatief minder grote afname van biomassa te zien is. In de (voor *Ensis*) suboptimale gebieden is een relatief grote afname te zien, maar daar ligt al weinig biomassa en die gebieden zijn ook voor zee-eenden niet interessant. Het is daarom belangrijk om de effecten op de juiste schaal te bekijken en de effecten niet rechtstreeks over grote oppervlakten te middelen, maar een gewogen middeling toe te passen. Gemodelleerde effecten voor *Ensis* in vakken met een heel lage gemiddelde biomassa kunnen buiten beschouwing blijven. Bovendien heeft de zwarte zee-eend een voorkeur voor kleinere *Ensis*. Het is zeer waarschijnlijk dat het effect op kleinere individuen minder groot is dan op grote, waardoor naar verwachting de vermindering van het voedselaanbod voor de zwarte zee-eend minder is dan de vermindering in biomassa van *Ensis*. De locatie van gebieden met hoge schelpdierproductie lijkt niet sterk te veranderen. Grote effecten op bijvoorbeeld de energetische kosten voor het opduiken van schelpdieren door de eenden zijn dan ook niet te verwachten.

Ecologische Effecten op de Waddenzee*Primaire productie*

Binnen de Waddenzee neemt de primaire productiviteit bij individuele LaMER scenario's af met ongeveer 1 à 2% en cumulatief iets minder dan 4%. In de Waddenzee neemt de primaire productie langs de randen van sommige geulen af met meer dan 5%. Hierbij moet wel in acht worden genomen dat in de Waddenzee ook bodemalgen een rol spelen. Bodemalgen worden nauwelijks beïnvloed door vertroebeling. De benthische primaire productie wordt in het model onderschat. Als hiervoor gecorrigeerd wordt is het effect van vertroebeling op primaire productie 10-20% minder dan de modelberekening. M.a.w. als het model in de oostelijke Waddenzee een afname van 3% berekent, wordt de gecorrigeerde afname ongeveer 2,7%.

Schelpdieren

In de Waddenzee is uitgegaan van mosselen als representatieve soort voor de scheldierpopulatie. Hier is de afname van schelpdierbiomassa vrijwel overal ongeveer proportioneel met de berekende afname van primaire productie. Zeer lokaal kan ook hier de afname groot zijn, maar gemiddeld is de afname in schelpdierbiomassa in de Waddenzee voor het cumulatieve kustwaartse scenario 3% in het westelijk deel en tot 5,8% in het oostelijk deel, t.o.v. het vergunde scenario. Voor het kustwaartse LaMER initiatief van 140 Mm³ is de afname vrijwel overal minder dan 2% in de Westelijke Waddenzee en minder dan 3% in de oostelijke Waddenzee. Voor de Waddenzee vallen de zeewaartse scenario's gunstiger uit. De gemiddelde toename van slib in de Oostelijke Waddenzee is in die cumulatieve scenario's 8%, wat zich vertaalt in een afname van 2,8% primaire productie en

Titel

Scenariostudies ter ondersteuning van de MER zandwinning Noordzee 2018 – 2027

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving	1230888-000	1230888-000-ZKS-0023	91


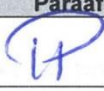
Classificatie

vertrouwelijk tot november 2017

een afname van maximum 4,6% in mosselbiomassa. Omdat benthische algen ook een bijdrage leveren aan het voedsel van schelpdieren, kan ook hier een correctie gemaakt worden voor het feit dat deze component wordt onderschat en weinig impact ondervindt van vertroebeling. Deze correctie is maximaal orde grootte 10%. Als voorbeeld: als met deze compensatiefactor rekening wordt gehouden in het cumulatieve scenario in de oostelijke Waddenzee is de berekende afname in biomassa van mosselen niet 5,8% maar 5,3%.

Conclusies

De ecologische modellen die in het kader van dit project zijn gebruikt, zijn relatief nieuw en nog niet uitgebreid getest in verschillende projecten (zie ook het validatierapport, van der Kaaij et al 2017. Dat kan onzekerheid geven op de uitkomst. De proportionele veranderingen in de Waddenzee zijn echter zeer vergelijkbaar met de uitkomsten van modelresultaten met het model ECOWASP, dat in voorgaande MER-studies en andere projecten is gebruikt. Onze modelberekeningen van effecten zijn eerder overschattingen dan onderschattingen. Echter, gezien het feit dat de resultaten in lijn zijn met eerdere studies en met andere modellen, verwachten we niet dat de overschatting zeer substantieel is. De nadrukkelijk grotere effecten die in deze MER studie naar voren komen in vergelijking met voorgaande studies, zijn verklaarbaar. Het belangrijkste is dat deze keer cumulatieve effecten expliciet zijn meegenomen. Daarnaast worden de effecten uitgezet ten opzichte van achtergrond concentraties en reeds vergunde activiteiten. Omdat de vergunde zandwinning minder omvangrijk is dan die in de voorgaande MER studie, zijn de berekende effecten daarmee verhoudingsgewijs groter.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	mrt. 2017	dr. L.A. van Duren		dr. T.C Prins		drs. F.M.J. Hoozemans	
2	mei 2017	dr.ir. T. van Kessel					
3	juli 2017	dr.ir. T.A. Troost					
		dr.ir. A.N. Blauw					
		L. Kramer, MSc.					
		ir. J.A.G. van Gils					
		dr. ir. J.W.M. Wijsman					
		dr. J.A.M. Craeymeersch					
		M.T. Villars, MSc.					
		prof. dr. P.M.J. Herman					

Status

definitief

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Modelleringsstrategie	2
1.1.1	Effectketenbenadering	2
1.1.2	Trendanalyse op beschikbare datasets voor slib en chlorofyl	4
1.1.3	Het waterbewegingsmodel	4
1.1.4	Het slibmodel	4
1.1.5	Het ecologische model GEM	5
1.2	Benadering van effectenstudie in vergelijking met voorgaande MER	6
1.2.1	Modelinstrumentarium	6
1.2.2	Referentiekader	6
1.3	Leeswijzer	8
2	Trends in de Noordzee en Waddenzee in slib en chlorofyl	9
2.1	Doel van de analyse	9
2.2	Analysestappen	9
2.3	Resultaten	13
2.4	Relatie met waarnemingen uit remote sensing	14
2.5	Relatie met antropogene verstoringen	14
2.6	Conclusie	16
3	Scenariodefinitie	17
3.1	Inleiding	17
3.2	Natuurlijke achtergrond	17
3.3	Definitie van het referentiescenario	17
3.4	Zandwinsten scenario's huidige studie	18
4	Scenariostudies slibtransport	21
4.1	Opzet scenario-simulaties	21
4.1.1	Hydrodynamische forcering	21
4.1.2	Verdeling over het jaar	21
4.1.3	Slibpercentage	21
4.1.4	Verdeling slibfracties	22
4.1.5	Natuurlijke achtergrond en vergunde initiatieven	23
4.1.6	Lineaire schaling slibconcentraties	23
4.2	Scenariodefinities	24
4.3	Resultaten slib modellering	26
4.3.1	Algemene effecten voor scenario RWS 140 Mm ³ kustwaarts	26
4.3.2	Algemene effecten voor de overige zandwinsten scenario's	27
4.3.3	Effecten in de Natura 2000-gebieden	27
4.3.4	Cumulatieve effecten	28
5	Scenariostudies algen en schelpdieren	29
5.1	Inleiding	29
5.2	Opzet scenariosommen	30
5.3	Resultaten	32
5.3.1	Veranderingen per deelgebied in de tijd	32
5.3.2	Veranderingen in ruimtelijke patronen	33

5.4	Discussie	37
5.4.1	Effect van lichtklimaat	37
5.4.2	Effecten van initiële condities voor schelpdierbiomassa	39
5.4.3	Schatting effecten afzonderlijke zeewaartse scenario's middels regressie	41
5.5	Samenvatting en conclusies	42
6	Compensatiefactor microfytobenthos	45
6.1	Compensatie primaire productie	45
6.1.1	Compensatie primaire productie westelijke Waddenzee	45
6.1.2	Compensatie primaire productie Waddenzee oost	46
6.2	Compensatie chlorofyl concentraties	49
6.3	Compensatie schelpdierenbiomassa's	49
7	Gevoeligheidsanalyses <i>Ensis</i> in de Noordzee	53
7.1	Vraagstelling	53
7.2	Aanpak	53
7.3	Resultaten	55
7.3.1	Tijdsevolutie groei isomorf onder verschillende scenario's.	55
7.3.2	Ruimtelijke verdeling van de belangrijkste variabelen	56
7.3.3	Ruimtelijke verdeling van relatieve scenario-effecten	57
7.3.4	Diepte-afhankelijkheid van de variabelen	59
7.3.5	Belang van inspeeffecten	62
7.3.6	Belang van dichtheidsafhankelijke beperking	63
7.3.7	Inschatting van ruimtelijk gemiddeld effect	68
7.3.8	Inschatting van de ecologische effecten	70
7.4	Conclusies	72
8	Interpretatie van modelresultaten en implicaties voor hogere trofische niveaus	77
8.1	Gebruikte modellen en benadering	77
8.1.1	Deterministische modellen	77
8.1.2	Hydrodynamica en slib	77
8.1.3	Ecologische modellering	78
8.2	Consequenties voor interpretatie data	79
8.2.1	Schaaleffecten	79
8.2.2	Soorten vs. ecosysteembenadering	80
8.3	Doorvertaling van effecten naar hogere trofische niveaus	80
8.3.1	Noordzee	80
8.3.2	Waddenzee	82
9	Discussie en conclusies	85
9.1	Deze studie en de MER	85
9.2	Vergelijking aanpak vorige MER	85
9.3	Beoordeling resultaten	85
9.3.1	Het wettelijke kader:	85
9.3.2	Betrouwbaarheid simulatieresultaten	85
9.3.3	De verhouding tussen de berekende effecten en de 'natuurlijke' variabiliteit	86
9.3.4	De verhouding tussen de berekende effecten en het 'vergunde scenario'.	87
9.4	Conclusies m.b.t. slib, primaire productie en secundaire productie	87
9.5	Aanbevelingen	88
10	Referenties	89

Bijlage(n)

A MWTL analyses	A-1
A.1 Analyses SPM	A-1
A.2 Analyses Chlorofyl	A-3
A.3 Analyses Chlorofyl / SMP	A-5
B Memo Jos van Gils m.b.t. effecten van deeltjes op licht	B-1
B.1 Aanleiding en vraagstelling	B-1
B.1.1 Deeltjesgroottesamenstelling en valsnelheid van zwevend slib	B-1
B.2 Lichtextinctie-eigenschappen van zwevend stof	B-3
B.2.1 “Flyland”- analyse	B-3
B.2.2 De Flyland-analyse in een breder perspectief	B-4
B.2.3 Discussie	B-6
B.3 Conclusie	B-6
B.4 Referenties	B-7
C Bijlage slib	C-1
C.1 Achtergrondconcentraties slib	C-1
C.2 vergunde situatie	C-2
C.3 Effecten zandwinscenario RWS KLZ 140 Mm ³ kustwaarts	C-5
C.3.1 Absolute slibconcentraties	C-5
C.3.2 Relatieve toename t.o.v. achtergrond+vergund	C-8
C.4 Effecten zandwinscenario RWS LaMER 165 Mm ³ kustwaarts	C-11
C.4.1 Absolute slibconcentraties	C-11
C.4.2 Relatieve toename t.o.v. achtergrond+vergund	C-14
C.5 Vergelijking tussen de verschillende scenario's (figuren)	C-17
C.5.1 Absolute slibconcentraties in de gedefinieerde gebieden	C-18
C.5.2 Achtergrondconcentraties voor Waddenzee op basis van het PACE model	C-27
C.5.3 Relatieve slibconcentraties in de gedefinieerde gebieden	C-28
C.6 Vergelijking tussen de verschillende scenario's (tabellen)	C-31
C.6.1 Absolute slibconcentraties Noordzee	C-31
C.6.2 Absolute slibconcentraties Waddenzee (op basis van het PACE model)	C-35
C.6.3 Relatieve verandering in slibconcentraties ten opzichte van de achtergrondsituatie	C-36
C.6.4 Relatieve verandering in slibconcentraties ten opzichte van de vergunde situatie:	C-40
D Bijlage algen, primaire productie en schelpdieren	D-1
D.1 Chlorofyl-a (tijdseries)	D-1
D.1.1 Chlorofyl-a (absoluut, figuren)	D-1
D.1.2 Chlorofyl-a (t.o.v. achtergrond)	D-4
D.1.3 Chlorofyl-a (ten opzichte van vergund, figuren)	D-7
D.1.4 Chlorofyl-a, absolute waarden in alle scenario's	D-10
D.1.5 Chlorofyl-a, t.o.v. achtergrond	D-16
D.1.6 Chlorofyl-a, t.o.v. vergund	D-20
D.2 Primaire Productie (tijdseries)	D-24
D.2.1 Primaire productie (absoluut, figuren)	D-24
D.2.2 Primaire productie (ten opzichte van achtergrond, figuren)	D-27
D.2.3 Primair productie (ten opzichte van vergund, figuren)	D-30
D.2.4 Primaire productie, absolute waarden in alle scenario's	D-33

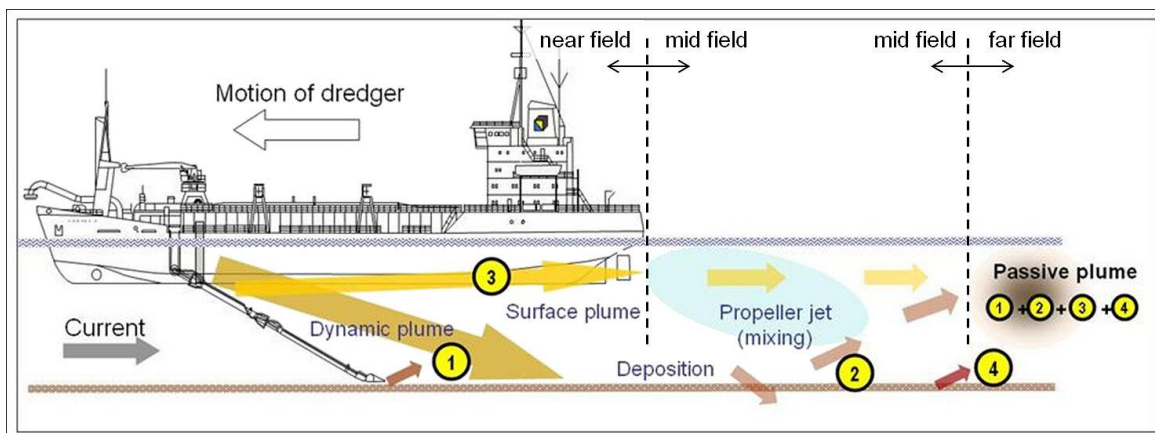
D.2.5	Primaire productie, effecten t.o.v. achtergrond in alle scenario's	D-39
D.2.6	Primaire productie, effecten t.o.v. vergund in alle scenario's	D-43
D.3	Relatieve effecten in de Waddenzee (gecompenseerd voor benthische primaire productie)	D-47
D.3.1	Primaire productie	D-47
D.3.2	Schelpdierbiomassa	D-48
D.4	Mosselen in de Waddenzee (tijdseries)	D-49
D.4.1	Absolute waarden mosselbiomassa's	D-49
D.4.2	Effecten van scenario's t.o.v. achtergrond	D-49
D.4.3	Effecten van scenario's t.o.v. vergund	D-50
D.5	Analyse isomorfen: lengte isomorf op 1 december	D-51
D.5.1	Lengte isomorf op 1 december (cm)	D-51
D.5.2	Groei t.o.v. achtergrond scenario	D-54
D.5.3	Groei t.o.v. 'vergunde' scenario	D-57
D.6	Diepte-gewogen groei van <i>Ensis</i>	D-60
E	Afleiding van data voor niet gesimuleerde scenario's	E-1
E.1	Beschrijving interpolatiemethode voor niet gedraaide scenario's op basis van correlatieve relaties	E-1
E.1.1	Definities	E-1
E.1.2	Toepassing	E-1
E.1.3	Uitwerking	E-1
E.2	Relaties relatieve verandering in chlorofyl-a en primaire productie met slib op basis van model scenario's	E-3

1 Inleiding

In de Noordzee wordt jaarlijks zand gewonnen voor verschillende doeleinden. Er is zandwinning 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. Daarnaast wordt er in de Nederlandse kust zand gewonnen voor commerciële doeleinden, zoals ophoogzand voor bouw van infrastructuur. Deze zandwinning wordt uitgevoerd door verschillende bedrijven. Om te voorkomen dat iedere zandwinner individueel een MER moest laten uitvoeren, werd op initiatief van een aantal leden van de Vereniging van Waterbouwers besloten om dit gezamenlijk aan te pakken. Deze bedrijven zijn verenigd onder de stichting LaMER. 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 en voor de vergunning van commerciële zandwinning door bedrijven verenigd onder LaMER. Beide initiatieven worden in dit rapport behandeld, zowel apart, als ook de cumulatieve effecten van beide initiatieven.

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, Keetels et al., 2012).

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 zandwinningen 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 scenariostudies op basis van de modellen voor de waterbeweging, slibverspreiding, primaire en secundaire productie die 'voor de te verwachten effecten van de zandwin-initiatieven gebruikt worden.

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.

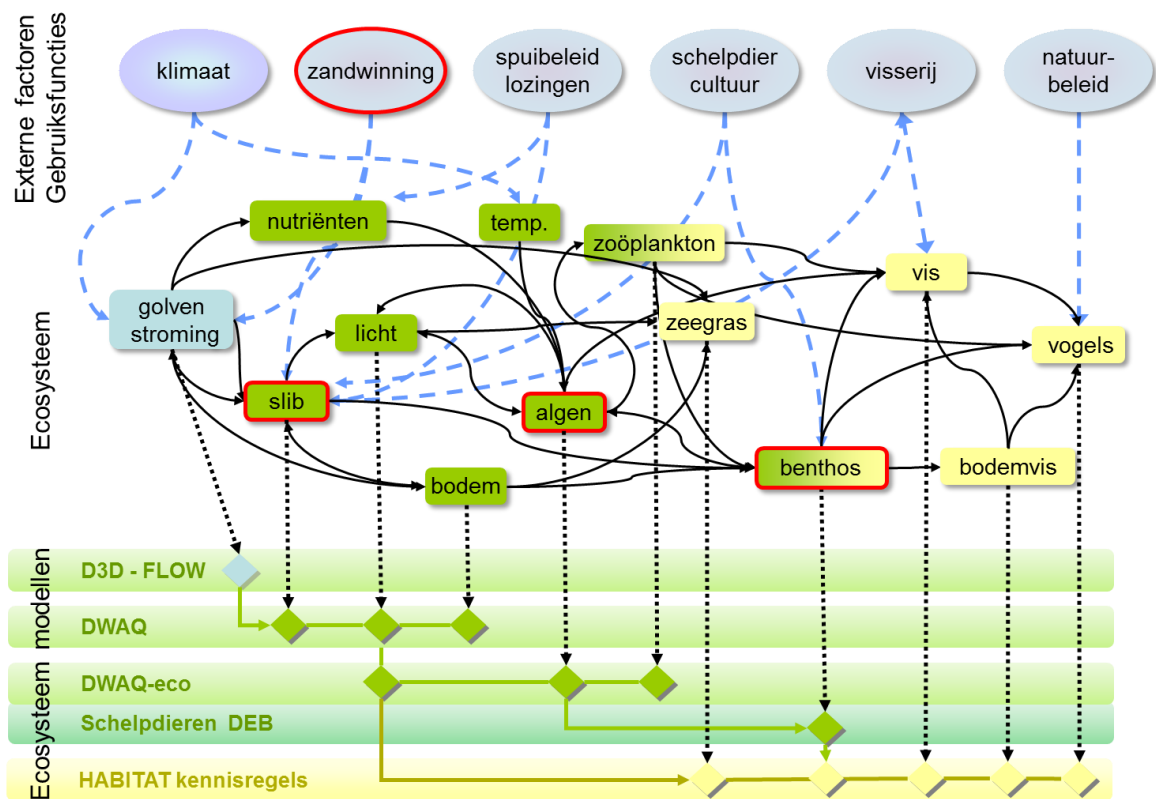
1.1.1 Effectketenbenadering

De aanpak van dit project is gebaseerd op de effectketen benadering (Figuur 1.2). In een effectketen worden de effecten van verschillende menselijke activiteiten en autonome

veranderingen op abiotische en biotische componenten van het ecosysteem op een gestructureerde wijze gekoppeld.

De effectketenbenadering beschouwt de effecten van zowel autonome veranderingen in de omgeving en menselijke ingrepen samen. Figuur 1.2 is omwille van grafische simpliciteit een beperkte weergave van de totale effectketen. Naast klimaatverandering kunnen ook processen als oceaanzuriging of andere grootschalige processen waar slechts beperkte directe sturing op mogelijk is, worden meegenomen. Ook m.b.t. de menselijke ingrepen is de lijst hier verre van compleet. Naast zandwinning kunnen ook activiteiten als baggeren en verspreiden van baggerslib, aanleg van harde structuren etc. etc. een rol spelen in de effectketen. Tevens is in Figuur 1.2 het ecosysteem en de onderliggende relaties tussen elementen sterk versimpeld weergegeven, met nadruk op de elementen die voor deze studie van belang zijn.

Belangrijke voorwaarde voor de effectiviteit van deze aanpak is dat de onderliggende relaties tussen de verschillende systeemelementen voldoende goed gekend zijn.



Figuur 1.2 Schematische weergave van de effectketenbenadering en daaronder de beschikbare modelsystemen met elementen die voor dit project van specifiek belang zijn rood omcirkeld.

Voor de verschillende processen zijn verschillende modelsystemen beschikbaar die al of niet online gekoppeld gedraaid kunnen worden. De in groen aangegeven processen kunnen deterministisch berekend worden, waarbij moet worden opgemerkt dat de modellering van schelpdieren met 'Dynamic Energy Budget' (DEB)-modellering een integraal onderdeel is van de DWAQ-ECO module. Dit is belangrijk omdat schelpdieren een significant terugkoppelingseffect kunnen hebben op primaire productie en algenbiomassa. In veel gebieden is primaire productie niet goed te modelleren zonder de effecten van graas door schelpdieren mee te nemen. Voor vogels, vissen en andere organismen hoger in de voedselketen is de beschikbaarheid van voedsel slecht één van de factoren die de draagkracht van een gebied bepalen. Habitatgeschiktheid, beschikbaarheid van rustplaatsen,

beschikbaarheid van kraamkamergebied zijn een paar voorbeelden van factoren die ook een belangrijke invloed hebben en die de directe relatie tussen voedselbeschikbaarheid en draagkracht kunnen vertroebelen. In het algemeen geldt: hoe hoger in de voedselketen hoe moeilijker harde voorspellingen gemaakt kunnen worden op veranderingen in aantallen of biomassa van een populatie.

In de gekozen aanpak wordt eerst een waterbewegingsmodel gebruikt om de transportvelden te berekenen. De transportvelden worden daarna gebruikt om slibtransporten en veranderingen in slibconcentraties te bepalen. Vervolgens wordt binnen de ecologische module op basis van het waterbewegingsmodel en het slibmodel, geïntegreerd met gegevens betreffende nutriëntenlozingen, de primaire productie (groei van microalgen) en secundaire productie (schelpdiergroei) gemodelleerd. Binnen dit project gebeurt dit op hetzelfde rekenrooster als de hydrodynamica en het slibmodel.

1.1.2 Trendanalyse op beschikbare datasets voor slib en chlorofyl

Om de uiteindelijke modelanalyses goed te kunnen interpreteren is een beperkte data-analyse uitgevoerd op de trends in slib- en chlorofylconcentraties in de Nederlandse kustwateren. Hierin wordt tevens gekeken of trends te linken zijn aan de zandwinactiviteiten in de Nederlandse kust in de afgelopen jaren.

1.1.3 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 computermodelpakket 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 van der Kaaij et al (2017) wordt deze kalibratie en verificatie beschreven. Het voorliggende rapport gebruikt dit model als basis voor scenariostudies.

1.1.4 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 van der Kaaij et al. (2017) wordt deze kalibratie en verificatie beschreven.

1.1.5 Het ecologische 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, chlorofylconcentratie, samenstelling van het fytoplankton en het onderwater lichtklimaat. Binnen het huidige project is het GEM model uitgebreid met een online gekoppelde Dynamic Energy Budget module voor schelpdieren (Troost et al. 2010).

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, in combinatie met een aantal ecologische parameters. Ecologische parameters bestaan onder meer uit primaire productie, concentraties van chlorofyl en detritus en samenstelling van het fytoplankton en de groei van schelpdieren. De effecten van begrazing van het fytoplankton op de biomassa van algen door schelpdieren wordt hierin meegenomen alsmede terugkoppelingseffecten van schelpdieren op de algengroei. Effecten van schelpdieren op algengroei kunnen betreffen: de effecten van filtratie op het lichtklimaat en effecten van respiratie en biodepositie op de nutriëntenkringloop.

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, schelpdierbiomassa etc.) langs de Nederlandse kust en Waddenzee zo goed mogelijk weer te geven (Los et al., 2008; Los en Blaas, 2010; de Kluijver et al 2015; van der Kaaij et al. 2017).

Voor het hieraan gekoppelde DEB-model (Kooijman 2010) is voor de Noordzee gekozen voor de parameterinstellingen vande Amerikaanse zwaardschede *Ensis directus* (Wijsman e.a 2011, Schellekes 2012). *Ensis* omvat een groot deel van de totale biomassa aan schelpdieren in de kustzone van de zuidelijke Noordzee. Voor de Waddenzee hierom gekozen voor parameterinstellingen gekalibreerd op de mossel (*Mytilus edulis*). Binnen de Noordzee en de Waddenzee is geen sturing opgelegd waar schelpdieren wel of niet kunnen groeien. De uiteindelijke verdeling is dus volledig gebaseerd op het voedselaanbod. In deze studie is vanwege de beperkte tijd een enigszins vereenvoudigde versie van het DEB model gebruikt, waarin geen leeftijds- of groottestructuur is aangebracht. Hierdoor kunnen veranderingen in ruimtelijke verdelingen van totale schelpdierbiomassa's wel goed gemodelleerd worden, maar is het moeilijk om een uitspraak te kunnen doen over veranderingen in groeisnelheid. Hierbij wordt momenteel nog geen rekening gehouden met andere factoren dan voedsel die recrutering bepalen, omdat hierover onvoldoende kennis beschikbaar is. Tevens is het niet mogelijk om goed seizoensspecifieke effecten door te rekenen. Groeisnelheid van jonge stadia is een belangrijke overlevingsfactor. Kleine, net gevestigde schelpdieren zijn bijzonder kwetsbaar voor predatie door garnalen en hoe sneller ze hier uit groeien, hoe beter de overlevingskansen zijn. Om toch een beetje inzicht te krijgen in deze kwetsbare fase is voor alle schelpdieren in elk modelvak 1 net-gevestigd individu geplaatst, waarvan de groei is opgevolgd. Dit ene individu heeft geen impact op de biomassa van de populatie, maar dient alleen als indicator voor groeisnelheid van zeer jonge individuen.

1.2 Benadering van effectenstudie in vergelijking met voorgaande MER

Deze scenariostudie verschilt in een aantal opzichten van de vorige MER. Dit heeft zowel betrekking op het modelinstrumentarium dat wordt ingezet (vooral het ecologische model) als op de uitgangs- en achtergrondsituatie.

1.2.1 Modelinstrumentarium

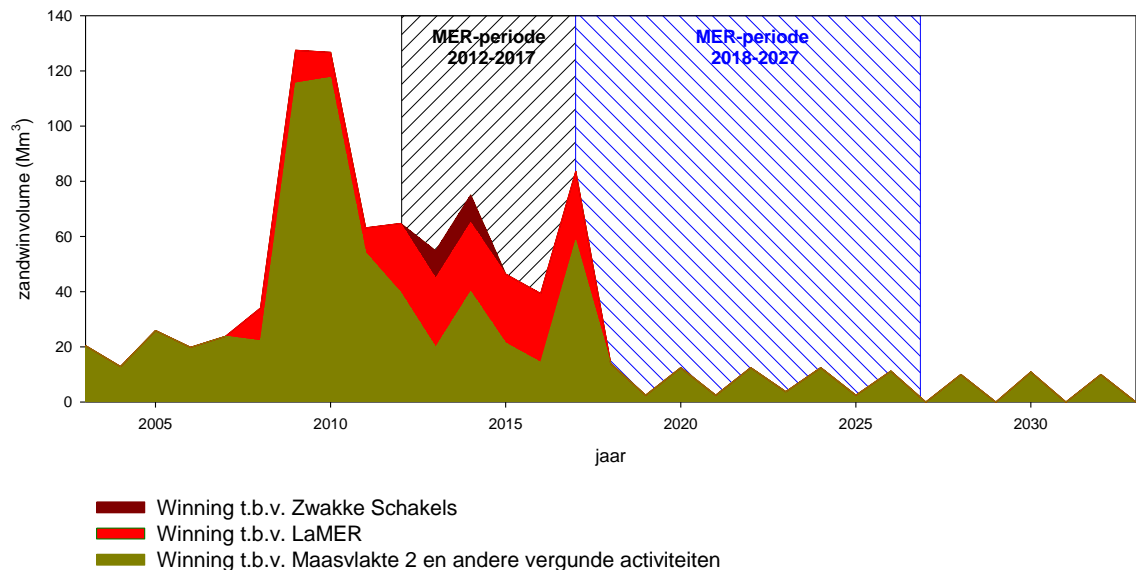
In de Waddenzee is gebruik gemaakt van een volledig ander model (ECOWASP; Brinkman 2012). In de vorige MER studie (Rozemeijer et al 2013, Harezlak et al 2012a en b) is in de berekeningen van het GEM model in de Noordzee helemaal geen interactie met graas door schelpdieren meegenomen. Bij die MER studie zijn effectschattingen op schelpdieren uitgevoerd met een off-line DEB model. In de Waddenzee is dit wel gebeurd, maar binnen het model ECOWASP. In de Waddenzee kan weglaten van graas een effect hebben op de patronen van chlorofyl (algenbiomassa), omdat op sommige locaties er lokaal een zeer grote graasdruk is. Modelresultaten laten echter zien dat deze terugkoppelingsmechanismen van graas op primaire *productie* ook in de kustzone van de Noordzee aan de orde zijn. Het huidige model is consistent in de Noordzee en in de Waddenzee. Een tweede grote verbetering is dat in het huidige model het slibveld dat door het slibmodel wordt berekend in het kustgebied van de Noordzee direct wordt ingevoerd. In de vorige MER studie is er op het gehele slibveld een aanpassing doorgevoerd (met gebruik van een cosinusfunctie) om de seizoensale fluctuaties van slib op de Noordzee te forceren (Harezlak et al 2012a en 2012b). Hierbij werden ook slibconcentraties vlak bij de kust enigszins aangepast. Vlak bij de kust is het slibmodel echter zeer goed gekalibreerd en zijn deze slibconcentraties en daarmee ook de effecten op de slibconcentraties veel betrouwbaarder. Op de Waddenzee bleek echter het model consistent te lage slibconcentraties te voorspellen. Dit was ook het geval in de vorige MER-studie. In de Waddenzee is het slibveld gebruikt van een ander model (het zgn. PACE-model) dat was ontwikkeld op een veel fijner rooster, binnen een ander project (voor details van deze omzetting zie van der Kaaij et al, 2017).

1.2.2 Referentiekader

In een MER studie moeten effecten van voorgenomen activiteiten afgezet worden tegen achtergrondcondities plus andere reeds vergunde activiteiten (vaak aangeduid als “autonome activiteiten”). Hierbij dient de hele activiteit in ogenschouw genomen te worden en moeten cumulatieve effecten inzichtelijk zijn. Bij de vorige MER-studies (2012) zijn twee nieuw te vergunnen activiteiten geëvalueerd (winning t.b.v. kustsuppleties door Rijkswaterstaat (“kustlijnzorg”) en winning t.b.v. het project “Zwakke Schakels” door Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK). Bij de winning voor RWS is de winning voor “zwakke schakels” als “autonome activiteit” meegenomen (samen met andere winningen die inderdaad reeds vergund waren zoals de winning voor Maasvlakte 2 en winningen voor het LaMER consortium) en vice versa, voor de “zwakke schakels” winning is de winning voor “Kustlijnzorg” als “autonoom” beschouwd.

Voor dit project worden weer twee nieuw te vergunnen winningen beschouwd, nl. de winning voor Rijkswaterstaat (Kustlijnzorg) en de Winning voor LAMER (t.b.v. ophoogzand). Beide activiteiten worden onafhankelijk geëvalueerd t.o.v. de achtergrond plus de huidige en geplande winningen waarvoor reeds vergunningen zijn afgegeven. Daarnaast wordt het cumulatieve effect van deze winningen geëvalueerd, zowel tegen de ‘natuurlijke’ achtergrond als ook tegen de achtergrond + vergunde (autonome) activiteiten. Echter de winning voor LaMER wordt *niet* meegerekend met de autonome activiteiten in de berekeningen voor kustsuppleties en omgekeerd, de winningen voor kustsuppleties worden niet beschouwd als “vergunnd” voor de berekeningen voor de LaMER initiatieven.

Tevens is het belangrijk om te weten dat tijdens de vorige MER-zandwinning, de effecten van reeds vergunde (“autonome”) activiteiten in de kust bijzonder hoog waren in vergelijking met de huidige periode. Dit is voornamelijk te wijten aan de grote zandwinningsactiviteiten t.b.v. de aanleg van Maasvlakte 2. Dit is geïllustreerd in Figuur 1.3 waarin de zandwinvolumes zijn weergegeven die in de vorige en de huidige MER als “autonoom” zijn aangemerkt.



Figuur 1.3 Illustratie van alle winningsactiviteiten die in de vorige MER-studie voor winning van suppletiezand voor RWS als “autonoom” werden beschouwd en winningen die voor deze MER periode als “autonoom” worden beschouwd. De twee MER periodes zijn aangegeven met zwart, en blauw (huidige studie)gearceerde achtergrond.

Omdat elke activiteit wordt afgewogen tegen de natuurlijke achtergrondwaarde + de “autonome” activiteiten wordt het effect van een activiteit *relatief* groter, naarmate de autonome effecten kleiner zijn. Omdat de zandwinning voor kustlijnzorg voor RWS gemiddeld per jaar niet minder is dan in de voorgaande MER-periode kan op voorhand al verwacht worden dat effecten relatief groter zullen zijn. De vergunning van LaMER voor winning van de afgelopen jaren was 25 Mm³ per jaar, dus meer dan waar de huidige scenario’s van uitgaan. Echter ook hier speelt dat de winningen van RWS niet kunnen worden meegenomen als ‘autonome ontwikkeling’ omdat deze voor de komende periode nog niet vergund zijn. Ook voor dit initiatief geldt dat de andere reeds vergunde activiteiten drastisch minder zijn dan in de voorgaande MER. Daarom kan er niet van uit gegaan worden dat minder winning (in absolute termen) per jaar, ook leidt tot minder effect t.o.v. de achtergrond + reeds vergunde initiatieven en andere autonome ontwikkelingen.

Bij de uitvoering van dit project en de vergelijking van resultaten met de vorige MER, bleek dat de term “autonome effecten” veelvuldig voor verwarring zorgde. In deze studie wordt dan ook gerefereerd naar het scenario “vergund” wat inhoudt: de concentraties ten gevolge van de natuurlijke achtergrondprocessen + de effecten van huidige en reeds vergunde activiteiten.

Effectberekeningen zijn beschikbaar in absolute termen, als relatief t.o.v. “achtergrond” en als relatief t.o.v. “vergund”.

1.3 Leeswijzer

In dit rapport worden de resultaten van de scenariostudies met modellen voor slib en voor nutriënttransport en primaire productie (GEM) en secundaire productie (DEB) gepresenteerd voor de zandwinning voor kustlijnverzorging door Rijkswaterstaat en ophoogzand door Stichting LaMER.

De rapportage is als volgt opgebouwd. Hoofdstuk 2 geeft de resultaten en de interpretatie van de trendanalyse op slib- en chlorofyl concentraties in de Nederlandse kust als basis voor de modeinterpretatie. Hoofdstuk 3 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 4 bediscussieerd. In Hoofdstuk 5 worden de resultaten van de scenariostudies betreffende het nutriënttransport en de primaire en secundaire productie gepresenteerd en geanalyseerd. In hoofdstuk 6 wordt een inschatting gegeven van de potentiële compensatiefactor door bentische diatomeeën. In hoofdstuk 7 worden een aantal resultaten van de groei van schelpdieren (specifiek van *Ensis*) nader geanalyseerd en wordt een nadere inschatting gegeven van de effecten van de scenario's op de groei van schelpdieren.

In Hoofdstuk 8 wordt een handreiking gegeven hoe de modelresultaten geïnterpreteerd moeten worden en tevens welke elementen uit de modelresultaten belangrijk zijn voor expert judgement op de effecten van zandwinning voor hogere trofische niveaus en met name op specifieke doelsoorten. Uiteindelijk wordt de rapportage afgesloten met een samenvatting en de conclusies in Hoofdstuk 9.

2 Trends in de Noordzee en Waddenzee in slib en chlorofyl

Op de MWTL-data van de afgelopen decennia is voorafgaande aan de scenariostudies een trendanalyse uitgevoerd op de concentraties slib en chlorofyl, om na te gaan of er relaties te vinden zijn met menselijke activiteiten.

2.1 Doel van de analyse

De gehalten aan zwevende stof in de kustwateren en de estuaria worden bepaald door een groot aantal factoren. De hydrodynamica (stromingen, golven) varieert op tijdschalen van dagen tot jaren, als gevolg van verschillen in windforcering en fluctuaties in het getij. Door deze verschillen in hydrodynamica variëren ook de processen van opwerveling en sedimentatie, die beide van groot belang zijn voor de concentratie van zwevende stof in het water. Behalve hydrodynamische factoren kunnen ook de bron- en puttermen voor de balans van zwevend stof in de kustzone variëren in de tijd. Belangrijke bronnen voor zwevend stof in de Nederlandse kustzone zijn de aanvoer van zwevende stof vanuit het Kanaal en de Belgische wateren, aanvoer vanuit de rivieren, aanvoer vanaf de Engelse kust via de Noordzee, en (eventueel) menselijke activiteiten in de kustzone. Put-termen zijn opslag van zwevend stof in het sediment, depositie in estuaria (inbegrepen de Waddenzee) en transport naar andere delen van de Noordzee (vooral naar het noordoosten). De verschillende processen die het zwevend stof beïnvloeden worden gesimuleerd in het D3D model. Met de analyse in dit hoofdstuk worden de veldobservaties verzameld, wordt informatie beschikbaar gemaakt voor de definitie van randvoorwaarden, en wordt een maat gegeven voor de jaar-tot-jaar variatie.

Chlorofyl is een indicator voor algenbiomassa. De primaire productie van algen is in sommige delen van de Nederlandse kustzone voor tenminste een gedeelte van het jaar lichtbeperkt. Er kan op die plaatsen en tijdstippen een negatief effect worden verwacht van verhoogd gehalte zwevend stof op de primaire productie. Ook in gebieden die nu niet licht-gelimiteerd zijn kan lichtlimitatie gaan optreden bij zware vertroebeling. Algenbiomassa wordt verminderd door graas, en dit is een functie van de biomassa-ontwikkeling van de belangrijkste herbivoren. De conditie (verhouding vleesgewicht tot volume van de schelp) van benthische grazers (suspension feeders) in de Waddenzee en de Oosterschelde is een functie van "intraguild competitie" (conditie neemt af met toenemende totale biomassa van suspensie-eters) en van voedselkwaliteit (waarvoor de ratio chlorofyl/zwevende stof een maat is – bij lagere voedselkwaliteit neemt de conditie af). Een uitgebreide analyse hiervan wordt gegeven door Schellekens et al. (2014).

In de analyse van de MWTL-gegevens wordt beschreven hoe de gehalten chlorofyl en de voedselkwaliteit over de afgelopen jaren zijn geëvolueerd in de verschillende deelsystemen van de Nederlandse kustwateren.

2.2 Analysestappen

Data zijn gedownload van de dump van Rijkswaterstaat-MWTL data in het OpenEarth systeem, dat wordt beheerd door Deltares (url: <http://opendap.deltares.nl/thredds/dodsC/opendap/rijkswaterstaat/waterbase/>). Data zijn opgeslagen als netcdf bestanden.

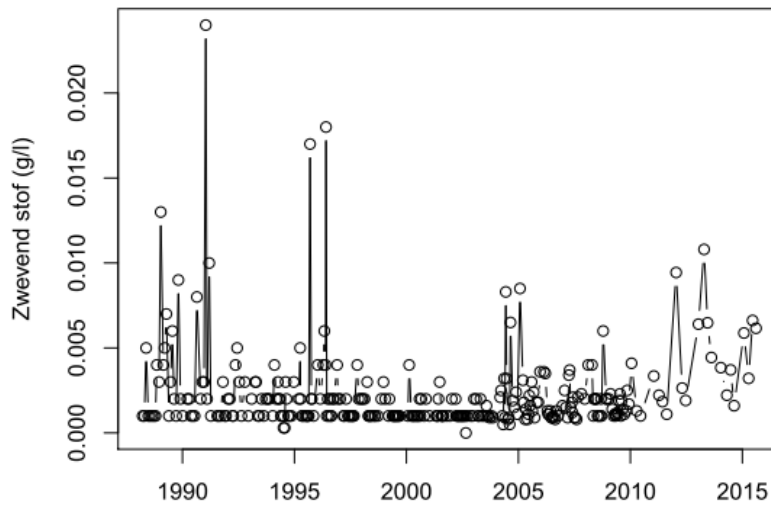
Alle beschikbare data zijn ingelezen. Alleen mariene en estuariene stations zijn gebruikt. Stations waarvan de waarnemingen vóór 2010 zijn beëindigd zijn weggelaten. Waarnemingen vóór 1989 zijn niet gebruikt, omdat de methodologie van RWS voor het meten van zwevend stof pas sinds 1989 stabiel is.

De verschillende vervolgstappen in de analyse worden geïllustreerd in Figuur 2.1 aan de hand van de data van het station 'Terschelling 175 km uit de kust'. De ruwe data (Figuur 2.1A) zijn min of meer onregelmatig in de tijd verkregen. Met name in de laatste jaren is de frequentie van bemonstering in een aantal locaties verkleind. Deze ruwe data zijn log-getransformeerd, omdat uit eerder onderzoek is gebleken dat vele processen die van belang zijn voor zwevend stof eerder multiplicatief dan additief zijn. Dit levert de ruwe tijdserie in Figuur 2.1B. Natuurlijke logaritmes zijn gebruikt voor de transformatie.

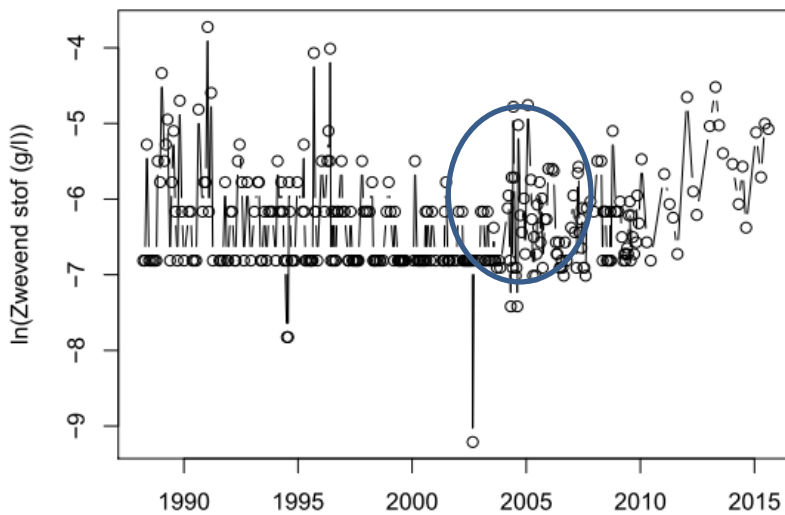
De gegevens zijn vervolgens gemiddeld per observatiemaand. Dit verhoogt de regelmatigheid van de spreiding van gegevens, en vermindert het gewicht van clusters van observaties die dicht bij elkaar vallen in de tijd. Het langjarige gemiddelde is berekend op basis van deze gegevens. Op de resulterende data (Figuur 2.1C) is verder een lopend gemiddelde berekend met een lengte van 1 jaar. Voor dit lopend gemiddelde was het noodzakelijk om ontbrekende maandwaarden te negeren, d.i. het gemiddelde te berekenen op die waarden die binnen het venster beschikbaar waren.

Door het langjarig gemiddelde af te trekken van de lopende gemiddelden, zijn deze (omdat de serie was log-getransformeerd) nu uitgedrukt als relatieve veranderingen ten opzichte van het langjarig gemiddelde. Een waarde 2 in Figuur 2.1D drukt dus uit dat op dat ogenblik de concentratie dubbel zo hoog is als het langjarige gemiddelde.

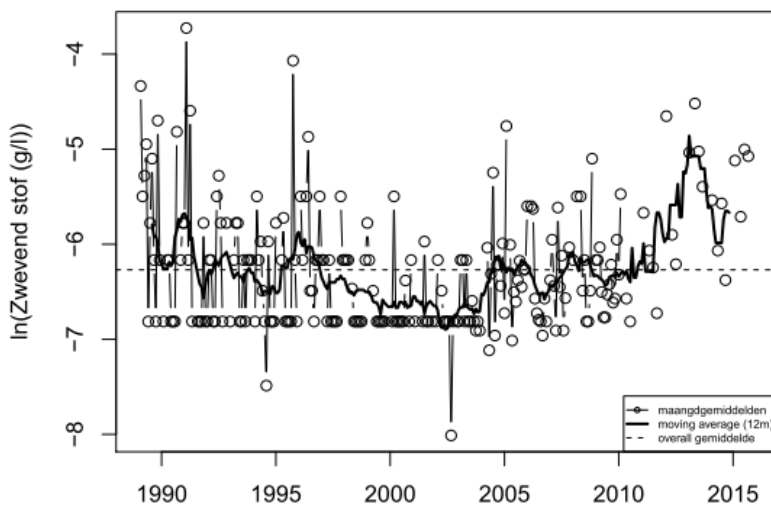
A

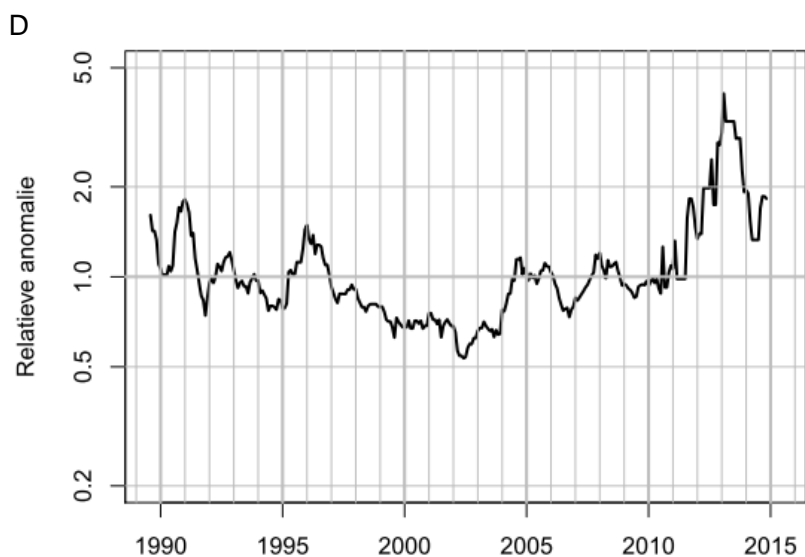


B



C





Figuur 2.1 Verschillende stappen in het analyseproces, geïllustreerd met de data van Terschelling175. Na downloaden van de ruwe data (A), worden de data log-getransformeerd (B) en gecombineerd per maand. De blauwe ovaal geeft de periode aan waar een overgang zit in de resolutie van data, die samenvalt met een abrupte stijging van het maandgemiddelde. Op basis daarvan wordt een lopend gemiddelde met duur 12 maanden berekend (C), en een overall langjarig gemiddelde. Het verschil tussen de serie van het lopend gemiddelde en het overall gemiddelde wordt gepresenteerd in de grafieken als relatieve anomalie (D).

2.3 Resultaten

Zwevend stof

De meeste watersystemen vertonen een tamelijk hoge mate van correlatie in de tijd tussen de gehalten zwevende stof in verschillende stations (Appendix A). In de meeste systemen komen uitgesproken pieken voor die één à twee jaren, soms ook wat langer, voortduren. De estuariene systemen (Westerschelde, Eems-Dollard) vertonen relatief de kleinste variatie over de jaren. Wellicht is in deze systemen de lokale dynamiek overheersend.

De Oosterschelde vertoont een uitgesproken piek (verdubbeling t.o.v. langjarig gemiddelde) in 2006-2007, en een kleinere piek in 2012. Over het algemeen is de gemiddelde concentratie na 2005 beduidend hoger dan vóór 2005. Naar het eind van de serie is er opnieuw een vermindering van de gehalten. Het ene station in de Grevelingen vertoont eveneens gemiddeld hogere waarden na 2005 dan ervoor. Het piekpatroon lijkt aanvankelijk samen te vallen met dat van de Oosterschelde, met een eerste duidelijke piek in 2007, maar het verdere verloop is verschillend.

De Waddenzeestations, met als merkwaardige uitzondering de twee stations bij Zoutkamperlaag, vertonen uitgesproken pieken in 2008 en 2011-2012. Nadien zet de verhoging zich nog een tijd voort in Dantziggat (waarschijnlijk als gevolg van lokale processen), maar naar het eind van de serie zitten alle stations opnieuw rond hun langjarig gemiddelde.

In de Noordzee is er een duidelijke gradiënt van de zuidelijke stations (vanaf de Zeeuwse kust naar buiten), waar tegen het eind van de serie misschien een lichte verhoging optreedt, maar geen piek die buiten de normale jaar-tot-jaar variatie in de voorgaande periode valt. In de middenstations (raai Noordwijk) is er een duidelijkere verhoging in de laatste jaren (2012-2015). Opvallend is dat station IJmuiden 2km een volledig andere dynamiek in de tijd vertoont dan de stations op de Noordwijk-raai. De noordelijke raai vanaf Terschelling toont een opvallende verlaging in de periode 1998-2004, en een sterke verhoging in de periode 2012-2015. De concentraties in deze periode zijn tot viermaal hoger dan het langjarig gemiddelde.

Chlorofyl

In de Waddenzee als geheel zijn chlorofylconcentraties variabel maar zonder duidelijke trend op de langere termijn. Er is een verschil tussen de westelijke stations (bv. Marsdiep, Vliestroom) die een dalende trend tonen tussen ongeveer 1995 en 2015, en de oostelijke stations die weinig of geen trend vertonen. Er is een suggestie van temporeel gecorreleerde schommelingen met een duur van 3-4 jaar, maar ook dit patroon is niet in alle stations duidelijk.

In de Eems is er een dalende trend tussen 1995 en 2015. Een sterkere daling over die periode wordt geobserveerd in de Oosterschelde. Er zijn duidelijke negatieve pieken in de serie in 2010 en 2013. Deze vallen niet samen in de tijd met pieken in zwevend stof (2007, 2012), maar zouden er op kunnen na-ijlen.

In de Noordzeestations is er een negatieve trend tussen ongeveer 2001-2002 en 2013-2014. Deze is sterker uitgesproken in de noordelijke stations dan in de zuidelijke. Minima vallen samen in de tijd met maxima in zwevend stof, maar de afname is geleidelijker en minder gepiekt dan de toename in zwevend stof. Net als bij zwevend stof lijkt er in 2015 een terugkeer naar gemiddelde waarden waargenomen te worden.

In de Westerschelde is er geen uniforme trend in chlorofyl. Het station in Grevelingen heeft een verhoging tussen 1993 en 2007, en lagere waarden bij het begin en eind van de serie.

De verhouding chlorofyl/zwevende stof is een indicator voor voedselkwaliteit van filtrerende bodemdieren (Schellekens et al., 2014 en referentie daarin). De ratio lijkt sterker te variëren door variatie in zwevende stof dan door variatie in chlorofyl. In de Waddenzee is er een trendmatige afname tussen 1990 en 2012, maar lijkt er in de laatste jaren een stijging op te

treden. Minima in de ratio vallen samen met maxima in zwevende stof. In de Eems-Dollard is er een licht stijgende tendens tot ongeveer 2005, en een lichte afname daarna, maar de variatie is gering.

In de Oosterschelde is er een sterke verlaging van de voedselkwaliteit tussen 2006 en 2013, die is opgebouwd uit een min of meer evenwaardige bijdrage van dynamiek in chlorofyl en dynamiek in zwevende stof. De laatste jaren is er een merkbare stijging van de ratio.

De Noordzee ziet een dalende trend tussen 2004 en 2013, die het sterkst uitgesproken is in de noordelijke stations en verzwakt naar het zuiden. Na 2013 is er een terugkeer naar het gemiddelde.

Westerschelde vertoont geen duidelijke trend. Het ene station in Grevelingen toont breekpunten in 1994 en 2006.

2.4 Relatie met waarnemingen uit remote sensing

Satellietdata van slibconcentraties zijn geanalyseerd op effecten van zandwinning bij de Maasvlakte door Blaas et al. (2013). In deze studie werd geconcludeerd dat er geen duidelijke effecten te zien waren van zandwinning bij de 2^e Maasvlakte op slibconcentraties in de waterkolom in 2009-2011. De gebruikte dataset van MERIS satellietdata omvat alleen de jaren 2003 – 2011, waardoor een sterke toename in slibconcentraties in 2012, zoals in de bovenstaande analyse van MWTL-data, niet zichtbaar is in de satellietdata.

Bij de analyse van MWTL-data is gekeken naar het 12-maandelijkse gemiddelde van het natuurlijk logaritme van concentratie en bij de analyse van MERIS data is gekeken naar het geometrisch gemiddelde per jaar en per seizoen. Hierdoor zijn de resultaten niet helemaal vergelijkbaar tussen de MWTL data en de satellietdata.

De satellietdata bieden door de hogere ruimtelijke resolutie wel de mogelijkheid om eventuele slibpluimen als gevolg van zandwinning waar te nemen (fig. 32 in Blaas et al 2013). Een vergelijking van de afwijking tussen seizoensgemiddelde (geometrisch gemiddelde) concentraties en langjarig seizoensgemiddelde concentraties laten verhoogde slibconcentraties zien nabij de Maasmond en de Hollandse kustzone in april-juni 2009 (Maasmond) en december-maart 2010 (Hollandse kustzone). Maar ook in 2007, voor de zandwinning voor de Maasvlakte plaatsvond, is er een duidelijke slibpluim zichtbaar vanaf de Maasmond naar de Hollandse kustzone. In december – maart 2011 en augustus – oktober 2011 zijn er ook verhoogde slibconcentraties voor de Hollandse kust zichtbaar maar dat is meer offshore en lijkt (in december – maart 2011) verband te houden met een zuidelijke positie van de “English plume”: een band met permanent verhoogde slibconcentraties vanuit de Thames naar het noordwesten, richting de Oestergronden.

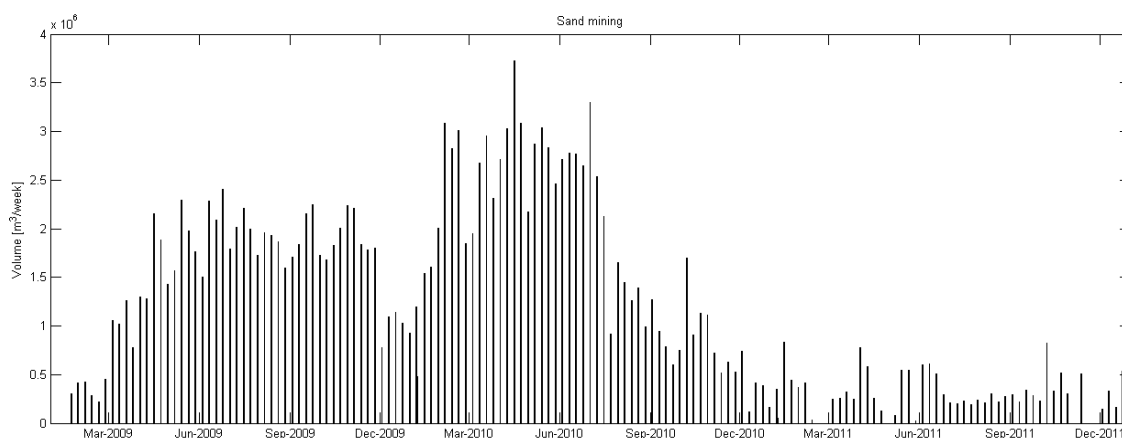
Satellietdata in de Waddenzee zijn niet gebruikt in de analyse, omdat aangenomen werd dat deze (door ondiepte, reflectie van getijplaten en hoge troebelheid) onvoldoende betrouwbaar waren.

2.5 Relatie met antropogene verstoringen

Mogelijke menselijke activiteiten die de verspreiding van slib in de kustzone en estuaria verklaren zijn zandwinning en het dumpen van baggerslib. Baggerslib uit de Rotterdamse haven wordt gedumpt in de Verdiepte Loswal en op Loswal Noordwest. Het jaarlijkse volume varieerde in de periode 1998-2013 tussen 8 en 15 miljoen m³, en ook het relatieve gebruik van stortlocaties varieerde over deze periode (Rijkswaterstaat 2014- Praktijkproef Verdiepte Loswallen. Evaluatie 1998–2014), maar de temporele patronen in totaal gestort volume en in relatief gebruik van de locaties correleerden niet met de geobserveerde variaties in gehalte zwevend stof in Noordzee of estuaria.

Zandwinning vertoont een overduidelijke piek in de periode 2009-2012, voornamelijk door de winning voor de Maasvlakte 2. Deze periode heeft een zekere correlatie, zij het met variabele time lag, met de geobserveerde relatieve verhogingen in de Noordzeestations: een beperkte toename vanaf 2010 in de zuidelijke raai, sterker vanaf 2011 in de middenraai, en nog sterker vanaf 2011-2012 in de noordelijke raai. Zonder nadere analyse is het echter onduidelijk hoe deze patronen met de zandwinning verband zouden kunnen houden. Op het eerste gezicht lijkt een causaal verband onwaarschijnlijk omdat de verhoogde concentraties ook zichtbaar zijn in offshore locaties buiten het gebied waar het slib van zandwinningen op grond van gangbare stromingscondities terecht zou komen.

Er zijn dus wel coherente fluctuaties waar te nemen binnen de Noordzee en in bekkens grenzend aan de Noordzee. Deze fluctuaties zijn ook aangetoond in de analyses van het MOS²-project (Blaas et al, 2013). Het leggen van causale verbanden tussen deze fluctuaties en menselijke activiteiten is echter bijzonder moeilijk. De eerdere studies van MOS² hebben aangetoond dat modelmatig weliswaar consistente veranderingen kunnen worden aangetoond in de netto fluxen, gerelateerd aan activiteiten zoals de aanleg van Maasvlakte 2 en zandwinning, maar dat deze veranderingen ruim een orde van grootte kleiner zijn dan de natuurlijke fluctuaties in ruimte en tijd van de *netto* slibvrachten (Cronin & Blaas, 2015). De *bruto* veranderingen van slibvrachten zijn nog weer een fors stuk groter dan de natuurlijke netto fluctuaties. Dat betekent dat effecten er wel zijn, maar dat het aantonen van deze effecten op basis van metingen heel erg lastig is. Binnen het MOS² project is met verschillende statistische technieken geprobeerd om relaties te vinden tussen waargenomen veranderingen in slibconcentraties en de aanleg van Maasvlakte 2. Deze winning was veruit de grootste infrastructurele winning in de kust (Figuur 2.2). Deze analyse is uitgevoerd op basis van remote sensing en monitordata van het MWTL programma, het Belgische monitoringsprogramma van MUMM en data van het Britse CEFAS).



Figuur 2.2: volume gewonnen zand voor de constructie van Maasvlakte 2 (eenheden: 10^5 m^3 per week) over de periode 2009-2011. Totaal volume is ongeveer $220 \cdot 10^5 \text{ m}^3$, waarvan $190 \cdot 10^5 \text{ m}^3$ is gewonnen in de periode 2009-2011. (Figuur afkomstig uit Blaas et al., 2013).

De conclusie was dat MV2 waarschijnlijk een verhoging van de slibconcentratie in de bovenste waterlagen heeft veroorzaakt van 1 mg/l in de jaren 2009-2011, maar dat deze trend niet statistisch significant in metingen is aan te tonen vanwege de grote natuurlijke variabiliteit in slibconcentraties (Cronin & Blaas 2015). Het aantonen van effecten van kleinere ingrepen, inclusief de zandwinactiviteiten voor kustsuppleties en ophoogzand, met de beschikbare data is dus vrijwel onmogelijk.

Nader onderzoek naar de oorzaak van de waargenomen gecorreleerde fluctuaties kan wel degelijk nuttig zijn. Ook als deze fluctuaties (voor het grootste deel) het gevolg zijn van natuurlijke processen, is het nog steeds belangrijk deze natuurlijke variabiliteit goed te begrijpen. Inzicht in ingreep-effectrelaties, zoals binnen de focus van deze studie is alleen mogelijk met goed inzicht in de belangrijke processen van het natuurlijke systeem. Dit valt op dit moment echter buiten de scope van dit project.

2.6 Conclusie

Er worden binnen deelgebieden van de Nederlandse kust en estuaria schommelingen van gehalten zwevende stof, en in beperktere mate ook van chlorofyl, waargenomen die synchroon zijn voor meerdere meetstations in die gebieden. De patronen worden duidelijk wanneer men verschillen in gehalten op een relatieve schaal bekijkt. Verschuivingen van een factor 2 en meer ten opzichte van het langjarig gemiddelde, naar boven en naar beneden, worden waargenomen. Dit leidt tot relatief belangrijke veranderingen in de verhouding van chlorofyl tot zwevende stof, een indicator in estuaria en ondiepe kustgebieden voor de voedselkwaliteit voor filtrerende bodemdieren. Verwacht kan worden dat hierdoor ecologische effecten kunnen ontstaan. Er is echter in de temporele patronen geen duidelijke correlatie gevonden met de timing van menselijke verstoringen, vooral zandwinning en het storten van baggerspecie.

Modelanalyse zal moeten uitwijzen hoe waarschijnlijk het is dat veranderingen van deze grootte-orde kunnen worden gerelateerd aan natuurlijke variatie in weerpatronen, rivierafvoer en stromingspatronen in de Noordzee. De veldobservaties zullen worden gebruikt om de variaties in de modeloutput voor een meerjarige serie 2003 - 2011, te evalueren.

3 Scenariodefinitie

3.1 Inleiding

Voor de winning van suppletie- en ophoogzand 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 modelsimulaties worden uitgevoerd voor de periode 2018-2031:

- de jaren 2018 tot en met 2027 worden gebruikt om het directe effect van de zandwinning te kwantificeren;
- de resterende jaren (2028-2031) worden gebruikt om de nasleep van de activiteiten te kwantificeren.

Alle simulaties starten vanaf een ingespeelde modelrun voor 2007. 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.

3.2 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 baseline) berekend door het model

3.3 Definitie van het referentiescenario

De autonome ontwikkeling (of nulalternatief) is het alternatief waarbij geen zandwinning plaatsvindt, maar waarbij alle andere (al vergunde) initiatieven wel plaatsvinden (zie §1.2.2.). Er wordt dan geen zand gewonnen waardoor het doel van de zandwinning (regulier kustonderhoud en/of zandwinning voor commerciële doelstellingen) 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 reeds vergunde activiteiten worden beschouwd als referentie voor de effecten van de zandwinalternatieven. Daarnaast zullen ook eerdere zandwinningen (2013-2017 en eerder) 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 Harezlak et al., 2012), en deze zijn daarom ook meegenomen.

De komende jaren zal zand worden gewonnen ten behoeve van de commerciële zandwinners (circa 13,5 Mm³ ophoogzand/jaar voor eerste 5 jaar en 19,5 Mm³ voor laatste 5 jaar), en voor reguliere kustsuppleties 12 Mm³ zand per jaar met een mogelijkheid tot verhoging van dit volume in de tweede helft van de winperiode als daar in het kader van kustverdediging aanleiding toe is (extra 20 Mm³). 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 vergund meegenomen door de calibratie op metingen. In de volgende secties zullen de initiatieven een voor een worden behandeld. In Tabel 3.1 is vervolgens een overzicht van alle geplande autonome zandwinactiviteiten gegeven.

Tabel 3.1 Totaalvolumes vergunde initiatieven

Jaar	Winning (Mm ³ /jaar)	Jaar	Winning (Mm ³ /jaar)
2003	23.9	2019	0.2
2004	14.2	2020	10.2
2005	28.8	2021	0.2
2006	23.4	2022	10.2
2007	28.8	2023	2.1
2008	25.4	2024	10.2
2009	119.9	2025	0.2
2010	122.6	2026	11.7
2011	63.0	2027	0.0
2012	41.8	2028	10.0
2013	23.2	2029	0.0
2014	51.5	2030	11.3
2015	26.0	2031	0.0
2016	16.2	2032	10.0
2017	27.9	2033	0.0
2018	15.5		
		TOTAAL	728.5

3.4 Zandwinsten scenario's huidige studie

De volgende scenario's zijn berekend voor slib en ecologie. Er wordt onderscheid gemaakt tussen individuele initiatieven en cumulatieve scenario's

Tabel 3.2 Overzicht van de gedraaide scenario's met het slibmodel en met het ecologische model

Scenario's individuele initiatieven	Berekeningen
RWS KLZ 140 Mm3 kustwaarts	Slib & ecologie
RWS KLZ 140 Mm3 zeewaarts	Slib (+ schatting van Primaire Productie en Chlorofyl-a)
RWS KLZ 120 Mm3 kustwaarts correctief beleid	Slib
LaMER kustwaarts 165 Mm3	Slib & ecologie
LaMER zeewaarts 165 Mm3	Slib (+ schatting van Primaire Productie en Chlorofyl-a)
LaMER kustwaarts 135 Mm3 correctief beleid	Slib
Cumulatieve Scenario's	Berekeningen
RWS KLZ 140 kustwaarts + LaMER 165 kustwaarts	Slib & ecologie

RWS KLZ 140 zeewaarts + LaMER 165 zeewaarts	Slib & ecologie
RWS KLZ 120 kustwaarts + LaMER 135 kustwaarts	Slib

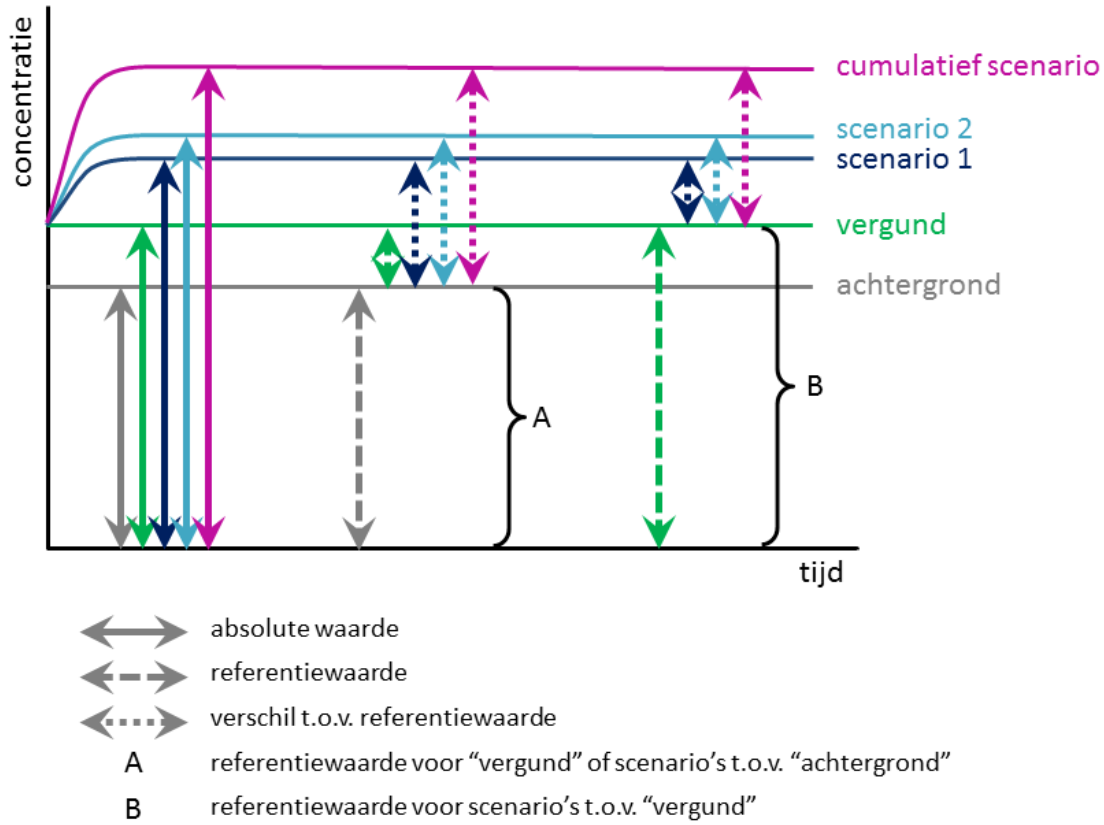
De getallen in bovenstaande tabel voor de winningen voor kustlijnzorg (RWS) hebben betrekking op de netto volumes die gewonnen worden voor suppleties of ophoogzand. Voor de winning van 140 Mm³ zand wordt in de praktijk bruto 161 Mm³ opgebaggerd omdat tijdens de winning en het lossen een deel verloren gaat. Hiermee is rekening gehouden in de modellen. De bruto gewonnen volumes zijn 1.15 maal de netto volumes zoals die in tabel 2 staan. De volumes voor LaMER zijn de bruto volumes.

Omdat de ecologie scenario's een lange rekentijd nodig hebben, is er in overleg met de opdrachtgever gekozen om een beperkt aantal berekening te maken. De hoeveelheid slib in het 'vergunde' scenario wordt altijd meegenomen in de ecologie scenario's. Voor de individuele zeewaartse scenario's RWS KLZ en LaMER is er een schatting gemaakt van primaire productie en chlorofyl-a op basis van de relatie tussen verhoogd slib concentratie en ecologische effect (zie ook Hoofdstuk 5 en appendix E)

De invoer vanuit het slibmodel voor een modelscenario voor winning van zand voor kustsuppleties met het GEM model houdt in:
 [Effecten natuurlijke achtergrondprocessen]+[Effecten vergund]+[Effecten zandwinning KLZ].
 Deze effecten worden vergeleken met [Effecten natuurlijke achtergrondprocessen]+[Effecten vergund]. Dit laatste wordt in het rapport aangeduid met het "vergunde scenario".

Voor het bepalen van cumulatieve effecten wordt het volgende modelscenario berekend:
 [Effecten natuurlijke achtergrondprocessen]+[Effecten vergund]+[Effecten zandwinning KLZ]+[Effecten zandwinning LaMER]. Deze effecten worden eveneens vergeleken met [Effecten natuurlijke achtergrondprocessen]+[Effecten vergund].

Deze berekeningswijze wordt in Figuur 3.1 geïllustreerd.



Figuur 3.1 Grafische weergave van de wijze waarop de relatieve effecten van initiatieven en de cumulatieve effecten t.o.v. het vergunde scenario worden berekend.

4 Scenariostudies slibtransport

Dit hoofdstuk beschrijft de gesimuleerde effecten van de zandwinsten scenario's, gedefinieerd in hoofdstuk 2, op de slibconcentraties in de Noordzee en Waddenzee. Voor een uitgebreide beschrijving van de modelopzet en modelkalibratie wordt verwezen naar Van der Kaaij et al. (2017). 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.

4.1 Opzet scenario-simulaties

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

4.1.1 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 2017 is uiteraard nog niet bekend, en om een zuivere vergelijking te maken tussen de verschillende winsten scenario's wordt daarom één hydrodynamisch karakteristiek jaar gebruikt in de simulaties. De condities van dat jaar worden gebruikt voor de gehele gemodelleerde periode 2018 – 2031. 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).

4.1.2 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. 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.

4.1.3 Slibpercentage

Er wordt aangenomen dat het slibpercentage (d.w.z. fractie < 63 µm) in de modelsimulaties in de bodem in de tijd constant is, maar in de ruimte variabel. De ruimtelijke variabiliteit van het slibpercentage in de Noordzeebodem is bepaald op basis van een groot aantal boorkernen die gestoken zijn in het kader van het geologische onderzoek (Blauw et al., 2017). Hierbij is het slibpercentage van de boorkernen gemiddeld per deelgebied. Er is onderscheid gemaakt tussen ondiepe (<2m) en diepe (> 2m) winning. Het gemiddelde slibpercentage per deelgebied is weergegeven in Tabel 4.1. De nieuwe metingen leiden ertoe dat het in de berekeningen gehanteerde slibpercentage lokaal hoger of lager is dan de in de eerdere MER-studie gehanteerde vaste massapercentages, met een waarde van 2,5% in het gebied voor de Hollandse Kust (tussen Den Helder en Hoek van Holland), en een waarde van 3% in de

Waddenzee (ten noorden van Den Helder) en in het Deltagebied (ten zuiden van Hoek van Holland). Gemiddeld genomen wijken die nu gehanteerde percentages echter nauwelijks af van eerdere MER-studies (o.a. Harezlak et al., 2012a). Voor de simulaties is aangenomen dat bij een gegeven volume gewonnen zand een gebiedsafhankelijk percentage slib hoort, dat volledig vrijkomt in de waterkolom tijdens het baggeren. Dit wordt beschouwd als een conservatieve (veilige) aanname.

De omrekening van volume zandwinning naar massa vrijkomend slib is als volgt:

$$M_{\text{slib}} \text{ (kg)} = V_{\text{zandwinning}} \text{ (m}^3\text{)} \times \text{dichtheid zand} = 1650 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times \text{slibfractie } p_{\text{slib}} \text{ (-)}$$

Met andere woorden: bij de winning van 1 m³ zand met een slibpercentage 0.025 (2.5%) komt 41 kg slib vrij.

Tabel 4.1 Gemiddeld slibfractie (-) per deelgebied voor ondiepe (<2m) en diepe (>2m) winning RWS.

Gebied	ondiep	diep
Kop Noord-Holland	0.0185	0.0190
Noord-Holland zuid	0.0159	0.0257
Zuid-Holland noord	0.0180	0.0167
Zuid-Holland zuid	0.0198	0.0217
Texel	0.0106	0.0235
Wadden Oost	0.0255	0.0375
Wadden West	0.0195	0.0278
Haringvliet	0.0314	0.0307
Schouwen	0.0315	0.0279
Walcheren	0.0237	0.0232
Gemiddeld	0.0214	0.0254

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 roosterzellen dat binnen een wingebied valt, wordt de totale massa slib gelijkmatig verdeeld over deze roosterzellen.

4.1.4 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 van de korrel- en valsnelheidsverdeling van de slibfractie (<63 µm) in het lab met behulp van respectievelijk laserdiffractie (Malvern) en röntgenabsorptie (Sedigraaf) is geen eenduidig beeld ontstaan over de samenstelling van de slibfractie (Blauw et al., 2017). Daarom is besloten om consistent met eerdere MER-studies te veronderstellen dat het door zandwinning vrijgekomen slib dezelfde eigenschappen heeft als het reeds van

nature in de waterkolom aanwezige slib. Voor een verdere onderbouwing van deze keuze zie Van Gils (2016), Appendix A.

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. In het geval van een groter aandeel van de fijnere sedimentfractie, zal het slib zich sneller verspreiden en heeft het een sterkere vertroebelende werking, maar anderzijds spoelt het slib daardoor ook sneller het systeem uit en is de vertroebelende werking op de lange termijn juist geringer. Voor een groter aandeel van de grovere sedimentfractie geldt het omgekeerde.

4.1.5 Natuurlijke achtergrond en vergunde initiatieven

In deze studie worden de effecten van de zandwinsten scenario's onder andere vergeleken met de gesimuleerde (natuurlijke) achtergrondconcentraties van slib en slibconcentraties als gevolg van vergunde initiatieven. De achtergrondconcentraties zijn het gevolg van onder andere rivierafvoeren en kust- en bodemerosie, terwijl de vergunde initiatieven diverse andere (reeds gegunde) zandwinningen bevatten alsmede de verspreiding van baggerspecie t.b.v. havenonderhoud. Voor de simulaties van de achtergrond en de vergunde initiatieven worden (voor zover van toepassing) dezelfde aannamen gedaan als eerder beschreven. Het gebruik van gesimuleerde, in plaats van gemeten, achtergrond- en 'vergunde' slibvelden heeft als voordeel dat hierdoor een tijd- en ruimtelijk dekkende dataset wordt verkregen. Daarnaast gaat het in de huidige studie met name om het relatieve effect (zie ook verderop bij de discussie over het gebruik van de berekende slibvelden voor het ecologische model) en het ligt daarom voor de hand om de natuurlijke achtergrond en vergunde situatie, net als de scenario's, te berekenen.

4.1.6 Lineaire schaling slibconcentraties

Voor elk van de scenario's zijn individuele simulaties uitgevoerd, die later zijn gebruikt voor de bepaling van het relatieve effect. Zo bestaat de vergunde scenariosituatie uit de achtergrondsituatie en alle vergunde initiatieven. Hierbij is er vanuit gegaan dat het mogelijk is om de slibvelden op te tellen. Dit is alleen toegestaan wanneer de lokale slibpercentages laag zijn. In gebieden met zeer hoge slibconcentraties kan een toevoeging van meer slib veranderingen in gedrag, zoals versnelde vlokvorming tot gevolg hebben. Als verhoging van de slibconcentraties een ander gedrag tot gevolg hebben mogen scenario's niet zomaar bij elkaar worden opgeteld. Aangezien het Nederlandse kustgebied relatief zandig is, kunnen de echter 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 toename van de slibconcentratie is hier klein, waardoor lineaire schaling is gerechtvaardigd.

4.2 Scenariodefinities

De hydrodynamische forcering (getij, wind, golven, rivierdebieten) van het achtergrond slibveld is representatief voor het jaar 2007. Voor verdere discussie zie het validatierapport (van der Kaaij, 2017). Het vergunde scenario is berekend voor de periode 2003 – 2032.

De scenario's voor RWS en LaMER zijn berekend voor de periode 2018 – 2032. De zandwinnings waarvan de effecten worden berekend vinden plaats in de periode 2018 – 2027, hierna wordt nog 5 jaar doorgerekend zonder lozingen om de naijleffecten te kwantificeren. Een compleet overzicht van de verspreidingslocaties en –hoeveelheden van deze scenario's is gegeven in de bovengenoemde spreadsheet. Een samenvatting van de winvolumes per gebied en per jaar is weergegeven in Tabel 4.2 voor de RWS KLZ scenario's en in Tabel 4.3 voor de LaMER scenario's.

Voor een inzicht in de totaal verspreide hoeveelheden slib in miljoen ton per jaar zie Figuur 4.1. Deze jaarlijks variërende hoeveelheden worden binnen ieder jaar evenredig verdeeld over de tijd. Zie §3.2.3 voor de omrekening van zandwinningsvolume volgens Tabellen 3.2 en 3.3 naar massaflux slib volgens Figuur 4.1. De hoge piek in de reeds vergunde slibverspreiding in 2009 – 2011 is veroorzaakt door de zandwinning Maasvlakte-2. De piek in 2017 wordt o.a. veroorzaakt door de vergunde verspreiding van specie afkomstig van de verdieping Nieuwe Waterweg.

De te verwachten grootteorde van effecten kan worden bepaald door de extra slibflux t.g.v. zandwinning af te zetten tegen de natuurlijke slibflux in de kustzone. Deze bedraagt circa 10 tot 20 MT/jaar in een strook van 70 km uit de kust (De Kok, 2004). In de eerste 30 km uit de kust bij Noordwijk bedraagt de slibflux in 2007 in het model 9.4 MT/jaar (Cronin en Blaas, 2015). De extra slibflux t.g.v. zandwinning bedraagt volgens Figuur 4.1 circa 1 MT/jaar. Dit betekent dat de grootteorde van het effect circa 10% is. Tijdelijk en plaatselijk kan het effect vanzelfsprekend groter zijn.

Tabel 4.2: Zandwinning in miljoen m3 per jaar per gebied: KLZ 140 en KLZ 120.

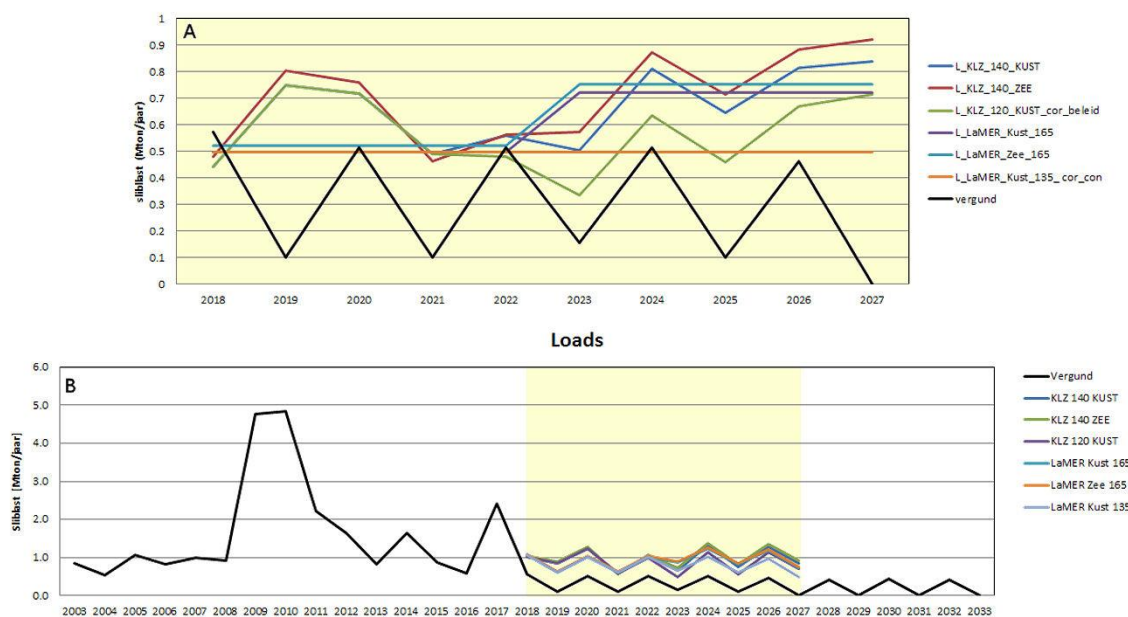
KLZ 140	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	Totaal
Zandwinning per gebied (Mm3/jaar)											
Wadden Noord	5	5	5	1.1	0	3	9	5.1	2	8.1	43.3
Wadden Zuid	0	4	1.8	0	9.5	1.5	2	2	9	4	33.8
Hollandse Kust Noord	0	3	0	0	2	4	0	0	4	0	13
Hollandse Kust Zuid	0.5	2.5	2.3	2	1	1	0	5	0	2	16.3
ZWDelta Noord	0	0.5	0	5.5	0	0	2	1	0	2	11
ZWDelta Zuid	2.6	1	5.5	1.5	1	2	1.5	1.5	4	2	22.6
Totaal	8.1	16	14.6	10.1	13.5	11.5	14.5	14.6	19	18.1	140

KLZ 120	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	Totaal
Zandwinning per gebied (Mm3/jaar)											
Wadden Noord	5	5	5	1.1	0	1.5	6.5	3.6	2	6.6	36.3
Wadden Zuid	0	4	1.8	0	7.5	0.5	1.5	2	7	2.5	26.8
Hollandse Kust Noord	0	3	0	0	2	3.5	0	0	3.5	0	12
Hollandse Kust Zuid	0.5	2.5	2.3	2	0.8	0.5	0	3.5	0	2	14.1
ZWDelta Noord	0	0.5	0	5.5	0	0	2	0.5	0	2	10.5
ZWDelta Zuid	2.6	1	5.5	1.5	1	1.5	1.5	1	3	1.7	20.3
Totaal	8.1	16	14.6	10.1	11.3	7.5	11.5	10.6	15.5	14.8	120

Tabel 4.3 Zandwinning in miljoen m3 per jaar per gebied: LaMERLaMER 165 en LaMERLaMER 135.

LaMer 165	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	Totaal
Zandwinning per gebied (Mm3/jaar)											
Wadden	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	17.6
Kop Noord Holland	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	7.7
Noord Hollandse Kust	3.06	3.06	3.06	3.06	3.06	4.42	4.42	4.42	4.42	4.42	37.4
Zuid Hollandse Kust	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	27.5
Zuid Hollandse Kust Zuid	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	12.1
ZWDelta	5.13	5.13	5.13	5.13	5.13	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	62.7
Totaal	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	165

LaMer 135	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	Totaal
Zandwinning per gebied (Mm3/jaar)											
Wadden	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	14.4
Kop Noord Holland	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	6.3
Noord Hollandse Kust	3.06	3.06	3.06	3.06	3.06	3.06	3.06	3.06	3.06	3.06	30.6
Zuid Hollandse Kust	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	22.5
Zuid Hollandse Kust Zuid	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	9.9
ZWDelta	5.13	5.13	5.13	5.13	5.13	5.13	5.13	5.13	5.13	5.13	51.3
Totaal	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	135



Figuur 4.1 A: Overzicht van de verspreide massa slib per individueel scenario (in miljoen ton per jaar) periode 2018-2027. B: Periode 2003-2031, cumulatieve verspreide massa slib per scenario (dus: scenario+vergund).

4.3 Resultaten slib modellering

Voor de interpretatie en discussie van de resultaten is een aantal gebieden langs de kust gedefinieerd (Figuur C.17). Een aantal hiervan is 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.

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

1. Plots van de jaargemiddelde slibconcentratie in de oppervlaktelaag voor de autonome situatie (zie Appendix C.2). De autonome situatie is gedefinieerd als de som van de natuurlijke (achtergrond) slibconcentraties (weergegeven in Appendix C.1) en de bijdrage van reeds gegunde zandwin- of stortactiviteiten die in de huidige beschouwde periode zullen plaatsvinden.
2. Plots van de jaargemiddelde (additionele) slibconcentraties in de oppervlaktelaag als gevolg van zandwinsten scenario RWS KLZ 140 Mm³ kustwaarts, zie Appendix C.3.1.
3. Plots van het relatieve effect (in procenten) in de oppervlaktelaag van scenario RWS 140 Mm³ kustwaarts ten opzichte van de autonome situatie (Appendix 10C.3.2).
4. Tijdreeksen van de relatieve effecten van de zandwinsten scenario's op de jaargemiddelde slibconcentraties in de oppervlaktelaag, ten opzichte van de vergunde situatie inclusief achtergrond voor een aantal gebieden (waaronder de Natura 2000-gebieden). Deze figuren zijn te vinden in Appendix C.1 en C.4.2.
5. Tabellen van de absolute en relatieve effecten van verschillende zandwinsten scenario's voor RWS KLZ en LaMER en een combinatie hiervan ten opzichte van de vergunde situatie inclusief achtergrond voor de verschillende gebieden, behalve de Waddenzee (zie Appendix C.6).
6. Zoals aangegeven in het validatierapport (van der Kaaij, 2017) zijn de schattingen voor de Waddenzee op basis van het slibmodel veel te laag, maar worden de relatieve effecten wel goed ingeschat. Op basis van een veel fijnschaliger model (het zgn. PACE-model, dat concentraties in het Waddengebied wel goed voorspelt) is voor de Waddenzee een omrekening gedaan die gebruikt is als input voor het ecologische model. Deze data zijn te vinden in Appendix C.6.2.

De reden waarom alleen kleurenplots met absolute en relatieve effecten van scenario RWS 140 Mm³ kustwaarts zijn gegeven is dat de verschillen tussen de verschillende scenario's op een absolute schaal lastig te zien zijn. Dit is al duidelijk in de weergave van de absolute effecten van de autonome ontwikkeling (Appendix C.2), waarin de in de tijd variërende zandwinning geen zichtbaar effect 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.

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 het vergunde scenario.

4.3.1 Algemene effecten voor scenario RWS 140 Mm³ kustwaarts

Op basis van de bovenbeschreven figuren (met name in Appendix C.3) kan worden gezien dat de effecten van zandwinsten scenario RWS 140 Mm³ kustwaarts op de slibconcentraties initieel (2018) vooral lokaal (in de nabijheid van de winlocatie) optreden, waarna het slib zich vervolgens langzaam in hoofdzakelijk noordelijke richting verplaatst. De maximale

concentraties en tevens de maximale relatieve effecten (t.o.v. achtergrond en t.o.v. vergund) als gevolg van de zandwinactiviteiten bevinden zich vaak in 2027, wat ook het laatste winjaar is in de huidige studie. Vanaf 2028 zijn de effecten met name nog zichtbaar in de Waddenzee en ook enigszins in de Voordelta. In het laatste beschouwde jaar (2032) zijn slechts minieme effecten zichtbaar in het beschouwde domein.

Wanneer gekeken wordt naar de verhoging 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 het vergunde scenario, waar slibconcentraties van soms meer dan 20 mg/l optreden, is dit relatief laag. De hoogste concentraties in de oppervlaktelaag in het vergunde scenario treden op in de Voordelta, maar ook langs de Hollandse kust en in de Waddenzee worden op veel plaatsen jaargemiddelde slibconcentraties van 20 tot 30 mg/l berekend. Dit komt ook tot uitdrukking in de contourplots met het relatieve effect van scenario RWS kustwaarts 140 Mm³ ten opzichte van het vergunde scenario. In 2018 is het relatieve effect over het algemeen zeer klein, maar bij Ameland loopt het lokaal op tot meer dan 7 procent. In de daaropvolgende jaren neemt het effect toe tot lokaal (in de nabijheid van de wingebieden) meer dan 15 procent ten opzichte van het vergunde scenario in 2027.

4.3.2 Algemene effecten voor de overige zandwinsten scenario's

Wat betreft de effecten van de overige scenario's op grotere schaal zijn er slechts beperkte 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 RWS kustwaarts 140 Mm³ (Figuur C.5 tot en met Figuur C.7) en zijn daarom niet meegenomen in dit document. De vergelijking tussen de scenario's is gemaakt op basis van een analyse per subgebied.

4.3.3 Effecten in de Natura 2000-gebieden

Wanneer specifiek de Natura 2000-gebieden worden beschouwd (Figuur C.17), kan worden geconstateerd dat in alle gevallen het relatieve effect van de zandwinning toeneemt tijdens de zandwinning periode en vervolgens na 2027 daalt. In 2022 en 2026 worden voor de scenario's RWS KLZ twee maxima bereikt die direct gekoppeld zijn aan de winhoeveelheden (zie bijlage C.3). De reeds vergunde hoeveelheden spelen hierin ook een rol, zie Figuur 2.2. De effecten zullen nu per scenario worden besproken.

4.3.3.1 RWS KLZ 140 Mm³ kustwaarts

Voor dit scenario is duidelijk te zien dat het maximale effect voor de Natura 2000-gebieden tussen 2022 en 2027 zal plaatsvinden. Dit is logisch omdat in dit scenario de zandwinning in de tweede helft van de MER periode hoger ligt dan in het eerste deel, bovendien is er in de begin periode nog sprake van een verhoging in de concentraties ten gevolge van reeds vergunde activiteiten. Over het algemeen zullen de maximale slibconcentraties per gebied tussen 3 en 5 procent hoger zijn in vergelijking met het vergunde scenario, al zijn er gebieden met een groter effect (bijvoorbeeld NZ Kustzone 1k: 7,5%). Een sterke stijging in het relatieve effect is voor de meeste gebieden te verwachten in de periode 2018-2021, waarna de maximale waarde tussen 2022 en 2027 wordt bereikt, afhankelijk van het aantal zandwingebieden vlakbij de Natura 2000-gebieden en hoeveel zand wordt gewonnen. Vanaf dat moment nemen in het eerste jaar (2028) de relatieve effecten sterk af, waarna 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.

4.3.3.2 RWS KLZ 140 Mm³ zeewaarts

Dit scenario lijkt op het scenario kustwaarts, met maximale waarden tussen 2022 en 2027. Een belangrijk verschil is wel dat de concentratieverhoging dichtbij de kust en in de Waddenzee aanmerkelijk lager is dan voor het kustwaartse scenario. Hier staat een aanmerkelijk sterkere concentratietoename verder uit de kust tegenover. Over het algemeen zijn de maximale effecten per gebied ook hier tussen 3 en 5 procent, en vindt het maximaal te verwachten effect plaats in gebied NZ Kustzone 1k (4,7%).

4.3.3.3 RWS KLZ 120 Mm³ kustwaarts correctief beleid

Het maximale relatieve effect is voor dit scenario over het algemeen te verwachten in 2022 en 2027. De waarden liggen over het algemeen tot en met 2022 vlakbij die van het scenario RWS KLZ 140 Mm³ kustwaarts. Pas vanaf 2023 zijn de zandwinnings voor het scenario 120 Mm³ lager dan die voor 140 Mm³ en zijn ook de effecten lager.

4.3.3.4 LaMER 165 Mm³ kustwaarts

Ten opzichte van de scenario's voor RWS KLZ is de zandwinning gelijkmatiger verdeeld in de tijd, maar wel inclusief een stapsgewijze toename vanaf 2024. Verder liggen de wingebieden gemiddeld verder naar het zuiden, geconcentreerd rond de Voordelta en rond IJmuiden. De maximale waarden worden bereikt in 2027 (het laatste jaar van de winningen) en liggen over het algemeen tussen de 3 en 5% (met uitschieters boven 7%). Het verloop in de tijd van de relatieve slibeffecten is vergelijkbaar als voor het eerste scenario.

4.3.3.5 LaMER 165 Mm³ zeewaarts

Ten opzichte van het kustwaartse LaMER scenario zijn de effecten zeewaarts wat groter en kustwaarts wat kleiner. Het uitstralende effect naar het noorden en de Waddenzee is voor het zeewaartse scenario iets groter dan voor het kustwaartse scenario.

4.3.3.6 LaMER 135 Mm³ kustwaarts correctief beleid

De eerste jaren zijn de effecten bijna gelijk aan die van het scenario LaMER 165 Mm³ kustwaarts, maar vanaf 2023 treden er wezenlijke verschillen op. De winning voor de 135 Mm³ wordt dan immers niet geïntensiveerd, in tegenstelling tot de 165 Mm³-variant. Hierdoor is bij de 135 Mm³ variant het effect in de periode 2024 – 2027 zo goed als gelijk aan het effect in de voorafgaande jaren, terwijl de 165 Mm³ variant een verder toename laat zien.

4.3.4 Cumulatieve effecten

Er wordt aangenomen dat effecten van zandwinning op de slibconcentratie proportioneel zijn en dat er geen interacties zijn waardoor bij hogere concentraties, processen anders gaan verlopen. Dit in tegenstelling tot ecologische effecten, waar rekening gehouden moet worden met potentiële non-lineaire effecten. Voor de het berekenen van cumulatieve effecten van vertroebeling op ecologie worden de slibvelden van de individuele initiatieven die beschouwd worden, daarom bij elkaar opgeteld.

5 Scenariostudies algen en schelpdieren

5.1 Inleiding

Verhoging van slibconcentraties in kustwateren kan leiden tot een afname van primaire productie door algen en vervolgens tot een afname van de secundaire productie. De omvang van de effecten op primaire en secundaire productie hangt niet alleen af van de omvang van de verandering in slibconcentraties maar ook van andere lokale omstandigheden. In gebieden en perioden waar de nutriëntenconcentraties zo laag zijn dat ze de groeisnelheid van algen beperken hebben veranderingen in het lichtklimaat door verhoogde slibconcentraties relatief weinig invloed op de primaire productie (Ly et al 2014; Leote en Epping 2015). Dergelijke lage nutriëntenconcentraties treden in de Noordzee en Waddenzee op veel plaatsen op tijdens de zomer. Tijdens de winter is de beschikbaarheid van licht over het algemeen de beperkende factor voor de groei van algen. Een toename van slibconcentraties leidt hierdoor vaak tot een korter groeiseizoen van algen: de winterperiode waarin de lichtbeschikbaarheid in het water voor algen te laag is om goed te groeien duurt langer.

Algen vormen het belangrijkste voedsel voor veel schelpdieren in de Noordzee en Waddenzee. Een afname van de primaire productie leidt hierdoor ook tot een afname van de beschikbaarheid van voedsel voor schelpdieren en daarmee van de secundaire productie. Naast dit indirecte effect van verhoogde slibconcentraties op de voedselbeschikbaarheid voor schelpdieren is er ook een direct effect op de efficiëntie waarmee schelpdieren algenvoedsel uit het water filteren. Ze moeten immers meer moeite doen om het bruikbare algenvoedsel te scheiden van overige deeltjes in het water. Hierdoor kunnen de effecten van verhoogde slibconcentraties op schelpdieren sterker zijn dan die op de primaire productie. Effecten op schelpdierpopulaties zijn van belang voor de schelpdiervisserij, maar ook voor bepaalde vogelsoorten die deze schelpdieren eten.

De effecten van verhoogde slibconcentraties door zandwinningsactiviteiten zijn berekend met een ecologisch model, voor dezelfde jaren en hetzelfde grid als de scenariosommen voor slib (hoofdstuk 3). Voor de precieze opzet en validatie van dit ecologisch model wordt verwezen naar het validatierapport (van der Kaaij et al., 2017). De resultaten worden getoond voor de slibconcentraties, de primaire productiesnelheid, chlorofylconcentraties, secundaire productiesnelheid en biomassa van schelpdieren. Voor de Noordzee is *Ensis* gebruikt als representatief schelpdier en voor de Waddenzee zijn mosselen gebruikt. Naast de totale biomassa-ontwikkeling van deze schelpdieren (van gemiddeld formaat) is ook gekeken naar de ontwikkeling van een individuele schelpdierlarve per modelsegment per jaar. Dit geeft informatie op mogelijke effecten op de broedval van deze schelpdieren. Hierbij wordt aangenomen dat schelpdierlarven minder kwetsbaar zijn voor predatoren als ze zich snel ontwikkelen.

Paragraaf 5.2 beschrijft hoe de modelinvoer voor de scenariosommen is aangepast ten opzichte van het gevalideerde ecologische model voor het jaar 2007. Paragraaf 5.3 beschrijft de resultaten van de modelsimulaties voor de verschillende scenario's en deelgebieden. In paragraaf 5.4 worden de modelresultaten geïnterpreteerd: hoe kunnen de verschillende effecten in deelgebieden worden verklaard en wat zijn de verschillen met uitkomsten van eerdere MER-studies. Dit hoofdstuk besluit met een samenvatting van de resultaten en de conclusies in paragraaf 5.5.

5.2 Opzet scenariosommen

Niet alle scenario's die met het slibmodel zijn doorgerekend zijn ook doorgerekend met het ecologische model. Met het ecologisch model zijn (naast het "vergunde" scenario) alleen de volgende scenario's doorgerekend (zie ook paragraaf 3.4):

- KLZ 140 kustwaarts
- LaMER 165 kustwaarts
- Cumulatieve Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165
- Cumulatieve Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165

Binnen de beschikbare tijd was het niet mogelijk om meer scenario's door te rekenen. Er zijn dus geen aparte scenario's gedraaid voor individuele initiatieven zeewaarts. Effecten van het afzonderlijke zeewaartse scenario's KLZ 140 en LaMER 165 op primaire productie per deelgebied zijn geschat door een combinatie van:

- De relatieve veranderingen in slibconcentraties in het slibscenario KLZ 140 zeewaarts per deelgebied
- De lineaire relatie tussen % slibverandering en % verandering in primaire productie per deelgebied in de andere scenario's.

De lineaire relatie tussen % slibverandering en % verandering in primaire productie is gebruikt als schalingsfactor om het berekende % slibverandering uit het slibmodel te vertalen naar een geschatte verandering in primaire productie per deelgebied. Deze relaties zijn te vinden in Appendix E.2.

Met het Generiek Ecologisch Model (GEM) is steeds, per scenario, een simulatie van 18 jaar (2018 – 2032) achter elkaar gemaakt, 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) verschillen de scenarioberekeningen alleen in:

- 1) de initiële condities
- 2) de hoeveelheid anorganisch slib in het water en
- 3) de nutriëntenvrachten van de rivieren.

ad 1) De initiële condities van het eerste jaar zijn gelijk aan die van de validatieberekening (2007), 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 fytoplankton in de winter worden op deze wijze meegenomen. Alleen de biomassa van schelpdierlarven start ieder jaar op dezelfde lage waarde van 1 larve per modelsegment.

Bij één van de modelscenario's (LaMER 165) bleek achteraf een probleem opgetreden te zijn met de initialisatie. Dit had een invloed op de modeluitkomsten van 2018 en 2019, maar niet op latere jaren. Aangezien deze jaren geen extreme jaren zijn en geen invloed hebben op de overall conclusies is besloten deze runs niet opnieuw te doen, maar deze data buiten beschouwing te laten. In de figuren en tabellen van bijlage D ontbreken deze data.

ad 2) Voor elk scenario en voor de autonome ontwikkeling zijn eerst berekeningen uitgevoerd met het slibmodel (zie hoofdstuk 3). Voor het grootste deel van het modelgebied zijn de slibconcentraties uit het slibmodel rechtstreeks gebruikt als weekgemiddelde invoer voor het ecologisch model, ook voor de scenario's. In de Waddenzee en sommige offshore gebieden waren de slibconcentraties in het slibmodel echter te laag en is een alternatieve benadering gekozen om de achtergrondconcentraties, zonder zandwinningsactiviteiten, te schatten. In alle offshore gebieden waar de jaargemiddelde slibconcentratie in het slibmodel lager was dan 2.5 is een random cosinusfunctie gebruikt, met een jaargemiddelde concentraties van 2.5 mg/l. Dit is consistent met de vorige MER zandwinningsstudie (Keetels et al., 2012). In de

Waddenzee zijn weekgemiddelde slibconcentraties gebruikt zoals die door het slibmodel op het zgn. PACE-rooster in het project “Slibhuishouding Waddenzee” zijn berekend (van Kessel 2015). In de Waddenzee en offshore-gebieden zijn de slibconcentraties in de scenariosommen geschat door de relatieve veranderingen in slibconcentraties, door zandwinning, in het slibmodel toe te passen als relatieve verhoging op de alternatieve achtergrondconcentraties (Van der Kaaij et al 2017). De op basis van het PACE model aangepaste concentratieseries voor de verschillende scenario's zijn weergegeven in bijlage C.6.2. Verondersteld is dat het extra door zandwinning vrijkomende slib dezelfde lichtuitdovingscoëfficiënt heeft als het achtergrondslib.

ad 3) In de autonome ontwikkeling van 2018 tot 2032 is rekening gehouden met een geleidelijke afname van nutriëntenconcentraties in rivieren door implementatie van maatregelen voor de Kaderrichtlijn Water (KRW). 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 5.1).

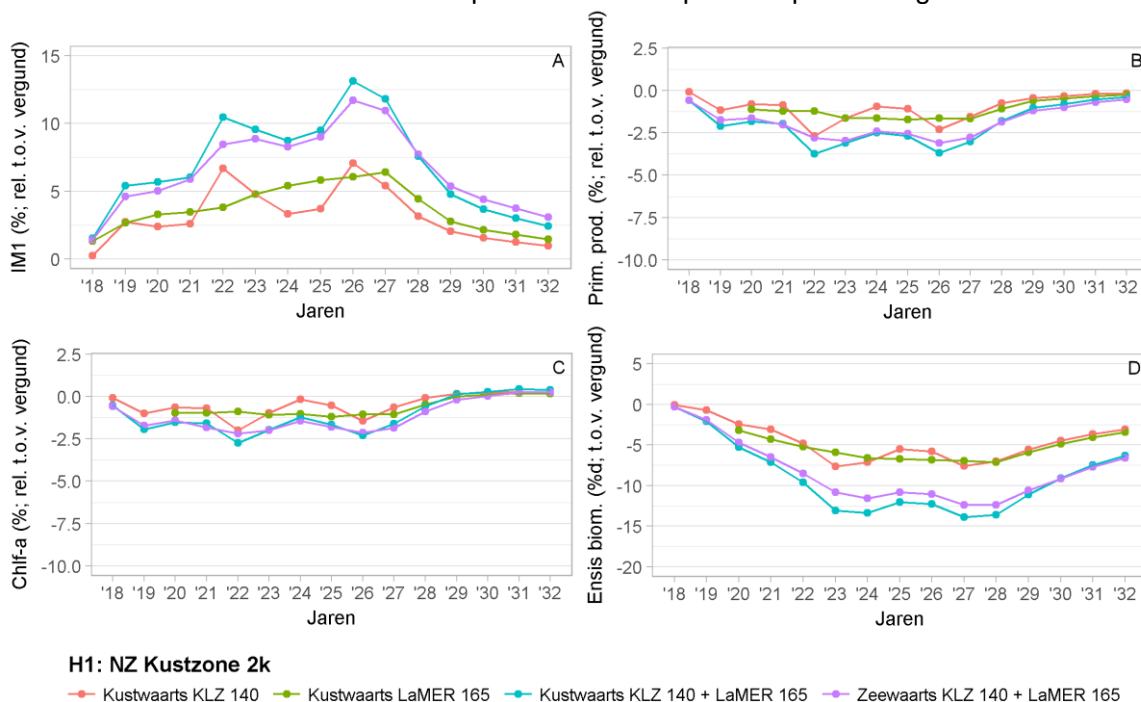
Tabel 5.1 Gehanteerde reductiefactoren (%) op nutriënten ten opzichte van 2007 (gebaseerd op W+B, 2008).

	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
2023	14.0	19.6
2024	14.3	19.9
2025	14.7	20.1
2026	15.0	20.4
2027	15.3	20.7
2028	15.7	20.9
2029	16.0	21.2
2030	16.3	21.5
2031	16.6	21.7

5.3 Resultaten

5.3.1 Veranderingen per deelgebied in de tijd

Tabel 5.1 en Figuur 5.1 (zie ook bijlage 0) geven de percentages afname van primaire productie als gevolg van toegenomen slibconcentraties voor de scenario's, waarvoor ecologische modelsimulaties zijn gemaakt. NB: de resultaten in dit hoofdstuk en in appendix D, zijn de resultaten zoals die direct uit het model komen. Zoals in het validatierapport is aangetoond, is de inschatting van *benthische* primaire productie in dit model te laag (Van der Kaaij et al. 2017). Benthische primaire productie wordt veel minder beïnvloed door vertroebeling en levert wel een bijdrage aan de groei van schelpdieren. In Hoofdstuk 6 wordt een compensatiefactor berekend, waarmee de mate van eventuele overschatting van effecten van zandwinning kan worden berekend. Deze compensatiefactor wordt in dit hoofdstuk nog niet meegenomen. De compensatiefactor heeft alleen betrekking op de data van de Waddenzee. In de Noordzee speelt benthische primaire productie geen rol.



Figuur 5.1 Tijdsreeksen met jaargemiddelde resultaten van scenario's KLZ 140, LaMER 165, kustwaarts cumulatief en zeewaarts cumulatief voor relatieve veranderingen (%) in concentraties slib, primaire productie, chlorofyl en schelpdierbiomassa ten opzichte van het vergunde scenario in deelgebied NZ kustzone 2k.

Het tijdsverloop van de toenames en slibconcentraties en afnames in primaire productie, chlorofyl en schelpdierbiomassa (Figuur 5.1) reflecteert de intensiteit van de zandwinning over de jaren in de verschillende scenario's. De piek in effecten valt niet in ieder scenario en ieder deelgebied in hetzelfde jaar. Effecten nemen in veel scenario's toe tot het jaar 2026 of 2027 en nemen daarna weer af, doordat de nieuwe zandwinningen in alle scenario's na 2027 stoppen.

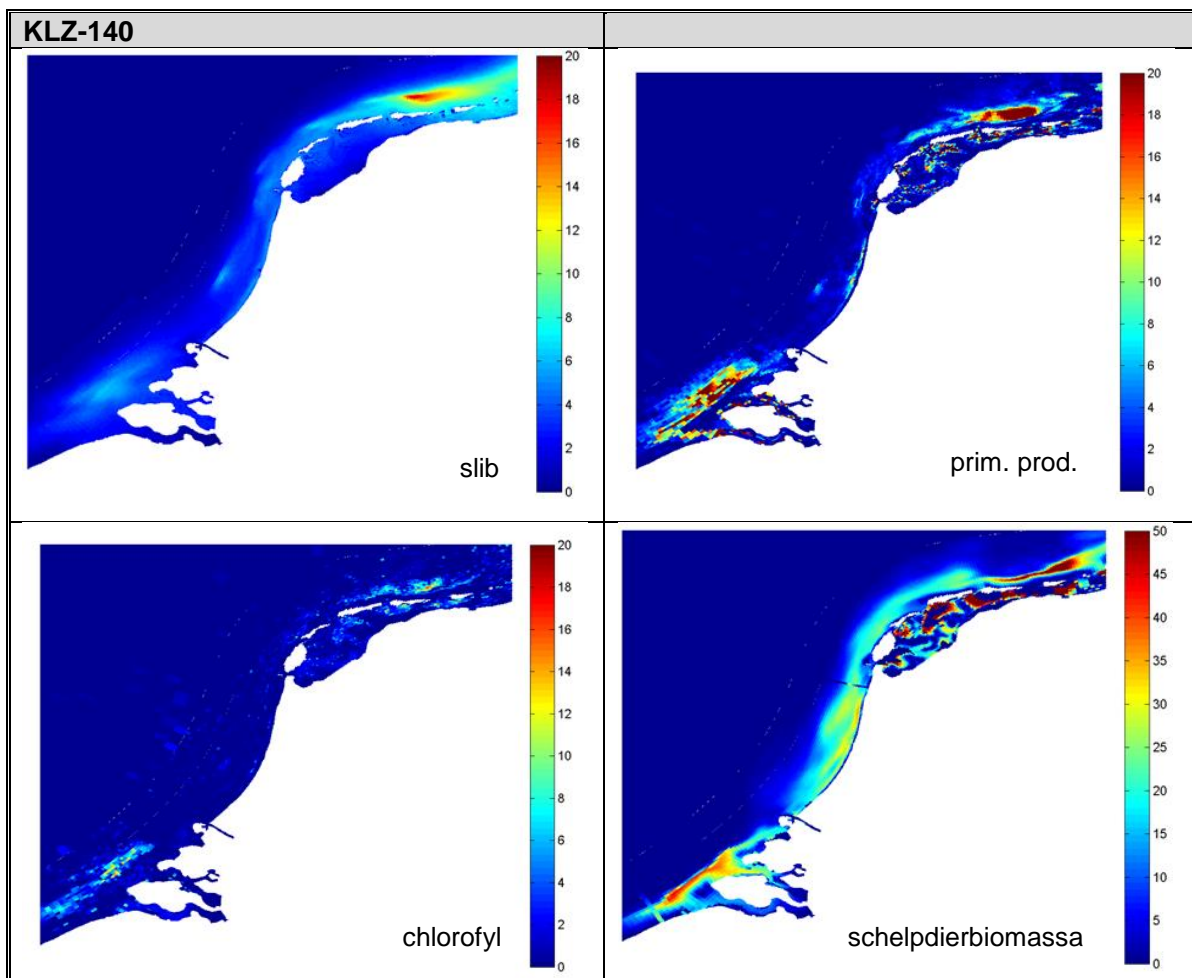
Op veruit de meeste locaties is het effect van de individuele RWS of LaMER scenario's op primaire productie minder dan 2% en van cumulatieve scenario's onder de 4%. De effecten

van zandwinning zijn het sterkst in het scenario kustwaarts cumulatief. In dat scenario worden toenames in slibconcentraties gevonden van rond de 15% bij de Vlake van de Raan en de Voordelta en boven Ameland. Dit komt neer op een verhoging van de lokale slibconcentratie met ongeveer 1-1.5 mg/l rond de Vlake van de Raan en ruim 1 mg/l boven Ameland. In andere gebieden kan de absolute toename groter zijn, maar is verhoudingsgewijs kleiner. In de individuele kustwaartse initiatieven zijn de toenames in slibconcentraties lager. Het kustlijnzorg (KLZ) initiatief kustwaarts geeft de grootste toenames in slibconcentraties boven Ameland (tot bijna 10%; iets minder dan 1 mg/l in absolute termen) en het LaMER initiatief kustwaarts geeft de grootste toenames bij de Vlake van de Raan (9,3%; ± 1.5 mg/l in absolute termen). Ten opzichte van het vergunde scenario geeft het cumulatieve zeewaartse scenario een verhoging in de oostelijke Waddenzee van ruim 10% en in het westelijk deel van 7.3%. De zeewaartse scenario's geven in het oosten een verhoging van 8% en in het westen een verhoging van 6.6%.

5.3.2 Veranderingen in ruimtelijke patronen

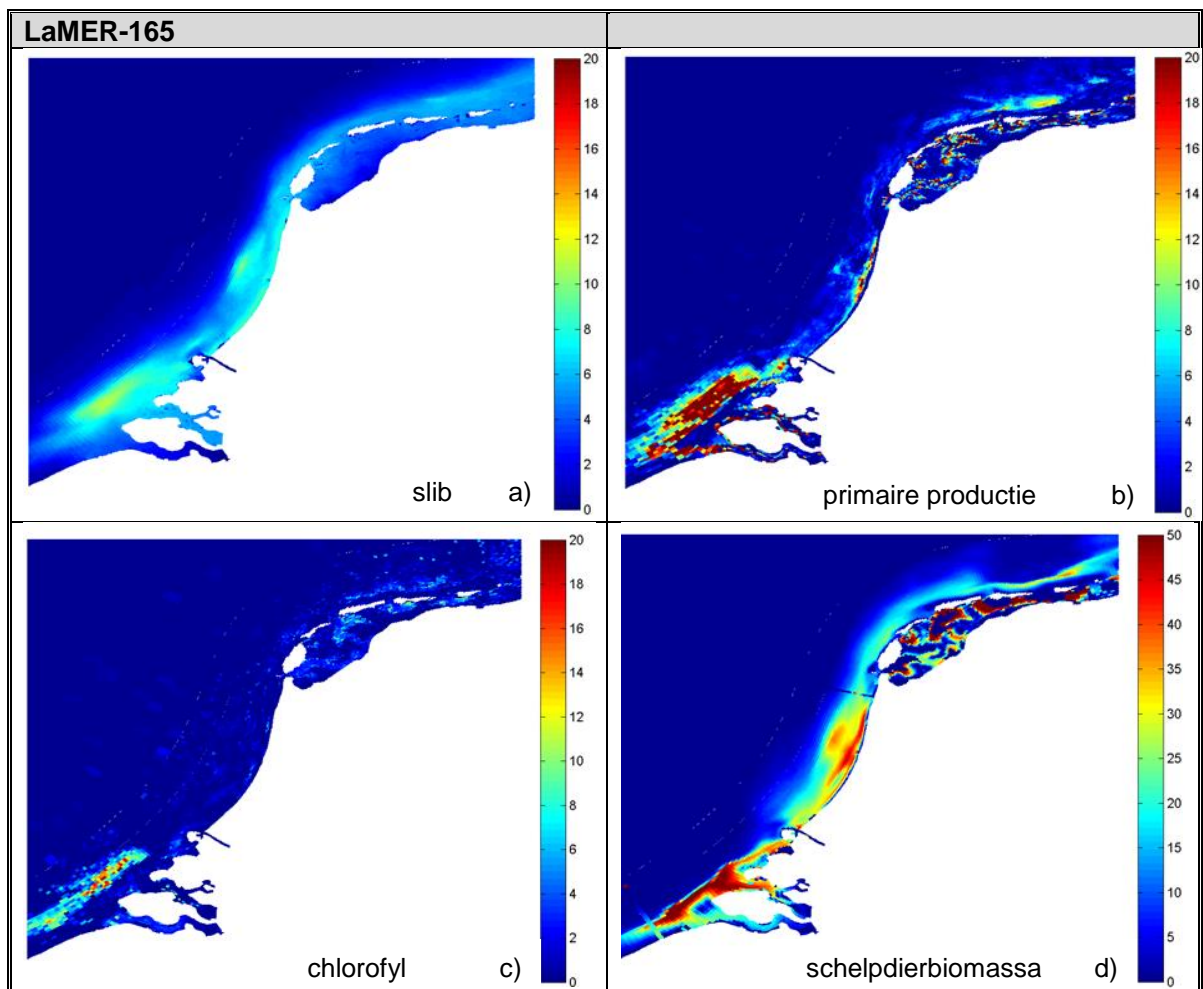
De ruimtelijke patronen in relatieve afnames van algen en schelpdieren verschillen weinig tussen de jaren. Daarom tonen we hier alleen de figuren van het jaar 2027, waarin de verandering van slibconcentraties in veel deelgebieden het grootst was volgens de tijdseries in Appendix C.5.3.

In de resultaten van scenario KLZ 140 (Figuur 5.2) zijn in het grootste deel van de Nederlandse kustwateren de concentratieverhogingen beperkt tot 3 tot 7%. De sterkste verhogingen, tot 20 %, in slibconcentraties zijn te zien in een klein gebied boven Ameland. Als gevolg van deze verhoogde slibconcentraties neemt de primaire productie ook het sterkst af in het gebied boven Ameland, met lokaal meer dan 8%. Ook in de Voordelta op enkele kilometers van de kust neemt de primaire productie lokaal met 10 – 20% af. In de overige kustwateren blijft de afname in primaire productie beperkt tot enkele procenten. In de tabellen van bijlage D2 zijn ook de absolute getallen (in mg C/l/dag) weergegeven. afnames liggen in de orde van enkele duizendsten mg C/l/dag. als voorbeeld: een afname van 0.003 mgC/l/dag (ordegrootte van primaire productie afname in de voordelta, komt overeen met een afname van ongeveer 1 mg C/l/jaar, bij een productiviteit van rond de 25 mg C/l/jaar in het vergunde scenario. de Waddenzee neemt de primaire productie zeer lokaal af met meer dan 5%. Dit betreft in het model de grote geulen, de kleinere geulen worden in het model niet meegenomen vanwege de beperkte ruimtelijke resolutie. De afname in chlorofylconcentraties is lager dan de afname in primaire productie. In de gebieden met de hoogste afnames in primaire productie (boven Ameland en Voordelta) zijn afnames in chlorofylconcentraties te zien tot ongeveer 7%. In de grote geulen in de Waddenzee nemen chlorofylconcentraties af met ongeveer 3% en in de overige Nederlandse kustwateren blijven de afnames in chlorofylconcentraties lager dan 3%. De schelpdierbiomassa neemt ook het sterkst af boven Ameland en in de Voordelta, tot meer dan 50%. In de gebieden vlak langs de kust, waar de hoogste biomassa van *Ensis* wordt gevonden is de afname veel lager: tot minder dan 10% (m.u.v. de Voordelta, waar lokaal ook langs de kust grote afnames zijn. In de Waddenzee neemt de schelpdierbiomassa het meest af langs de randen van de geulen, maar minder lokaal dan de afname van primaire productie. De hoogste afnames, tot meer dan 50%, worden gevonden langs de geulen in het oostelijk deel van de Waddenzee. Dicht langs de kust, waar de biomassa van *Ensis* het hoogst is, zijn de afnames in schelpdierbiomassa juist laag, minder dan 15%.



Figuur 5.2 relatieve verandering (%) in scenario KLZ 140 ten opzichte van het vergunde scenario in a) slib, b) primaire productie, c) chlorofyl, d) schelpdierbiomassa. Veranderingen in slibconcentraties zijn toenames en de veranderingen in de overige variabelen zijn afnames.

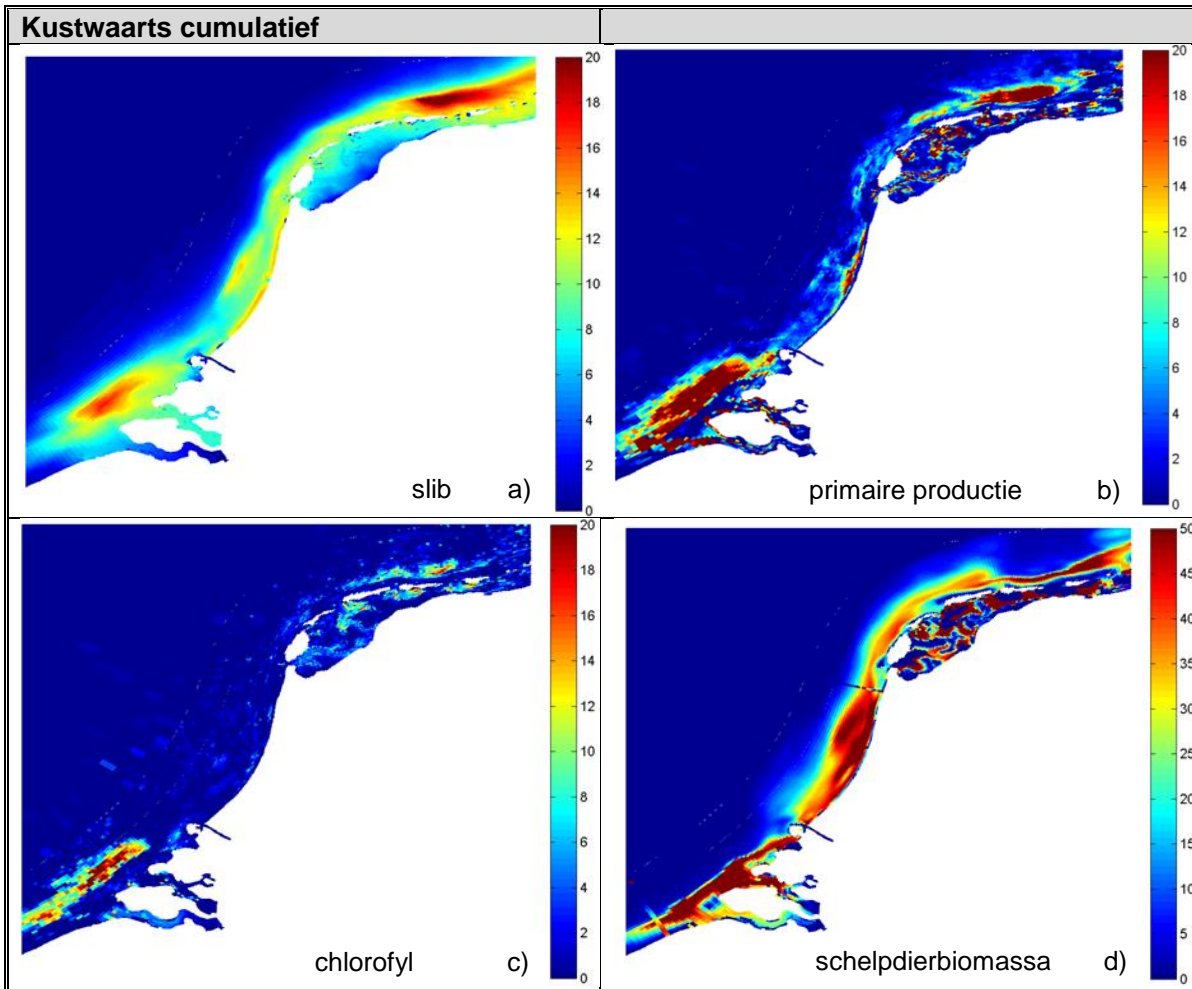
Het scenario LaMER 165 (Figuur 5.3) laat de grootste toenames in slibconcentraties zien in de Voordelta en voor de Hollandse kust. In de Voordelta nemen de slibconcentraties in het water lokaal toe tot ongeveer 10%. Voor de Hollandse kust nemen de slibconcentraties toe met 5 – 9%. In de Waddenzee nemen slibconcentraties toe met 1 tot 5 %, met de laagste toenames bij het vasteland en de hoogste toenames nabij de zeegaten tussen de eilanden. In de kustwateren buiten de Waddenzee nemen slibconcentraties toe met ongeveer 4 tot 6%. Als gevolg van de toename in slibconcentraties neemt ook de primaire productie af. Dit effect is het sterkste in de Voordelta, enkele kilometers uit de kust. Hier neemt de primaire productie lokaal af met meer dan 20%. Ook in een smalle strook langs de Hollandse kust en boven Ameland wordt een afname in de primaire productie van meer dan 10% gevonden, hoewel de slibconcentraties hier niet meer toenemen dan in de nabije omgeving. De afname in chlorofylconcentraties is ook het hoogst in de Voordelta, enkele kilometers uit de kust: lokaal tot 20 %. In de rest van de kustwateren en de Waddenzee is de afname in chlorofylconcentraties lager dan 5%. De afname in schelpdierbiomassa is het sterkst in de kustwateren in de Voordelta en enkele kilometers uit de kust voor de Hollandse kust. In de smalle strook vlak langs de Nederlandse kust, waar de biomassa van *Ensis* het hoogst is, is de afname in schelpdierbiomassa beperkt: lager dan 10%.



Figuur 5.3 relatieve verandering (%) in scenario LaMER 165 ten opzichte van het vergunde scenario in a) slib, b) primaire productie, c) chlorofyl en d) schelpdierbiomassa. Veranderingen in slibconcentraties zijn toenames en de veranderingen in de overige variabelen zijn afnames.

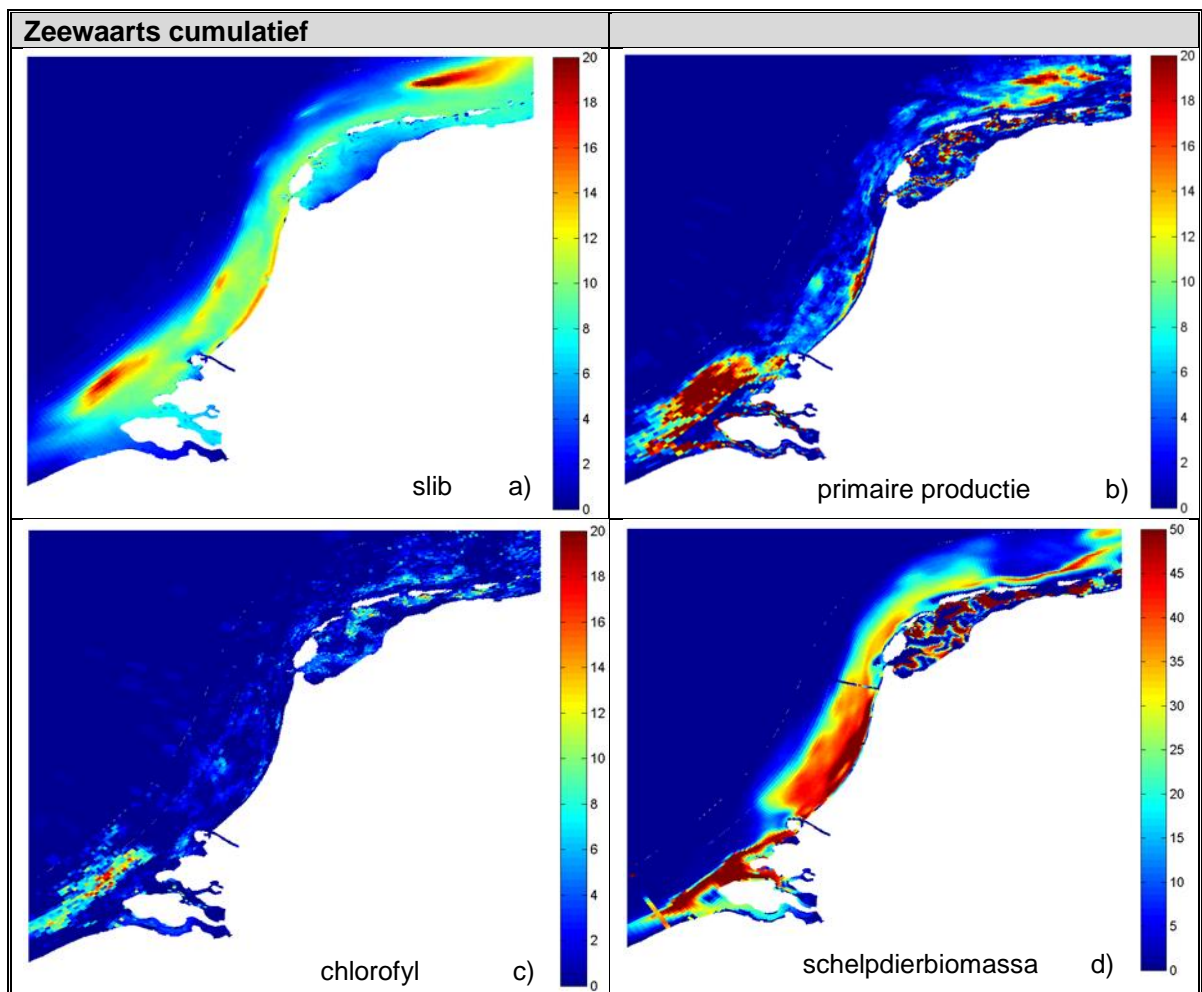
In het scenario kustwaarts cumulatief zijn sterke toenames in slibconcentraties zichtbaar in de Voordelta en boven Ameland (Figuur 5.4a). Ook in een smalle strook vlak langs de Hollandse kust zijn toenames in slibconcentraties zichtbaar van meer dan 10%. In dezelfde gebieden neemt ook de primaire productie af met meer dan 20% (Figuur 5.4b). Een dergelijk hoge afname in primaire productie is ook zichtbaar langs de randen van de geulen in de Waddenzee, hoewel de slibconcentraties daar met minder dan 10% toenemen. De afname in chlorofyl concentraties is overal lager dan de afname in primaire productie en is meer verspreid. Dit is bijvoorbeeld duidelijk zichtbaar in de Waddenzee, waar de chlorofylconcentratie in de geulen overal verhoogd is, terwijl de primaire productie alleen aan de rand was toegenomen. De schelpdierbiomassa neemt in de Waddenzee sterk af langs de randen van de geulen (tot meer dan 50%). In de Noordzee neemt de schelpdierbiomassa niet op dezelfde plaatsen af als de primaire productie en chlorofylconcentraties. Bijvoorbeeld in de Voordelta nemen de schelpdierbiomassa sterk af (> 50%) vlak voor de kust, terwijl de afname in primaire productie en chlorofyl juist verder van de kust plaatsvindt. Ook voor de kust van Ameland vinden de sterkste afnames in schelpdierbiomassa plaats dicht bij de kust dan de sterkste afnames in primaire productie. Voor de Hollandse kust worden ook sterke afnames van schelpdierbiomassa berekend (tot meer dan 50%) in het hele gebied waar

slibconcentraties toenemen. Alleen in een smalle rand vlak langs de kust worden veel beperktere afnames berekend.



Figuur 5.4 relatieve verandering (%) in scenario kustwaarts cumulatief ten opzichte van het vergunde scenario in a) slib, b) primaire productie, c) chlorofyl en d) schelpdierbiomassa. Veranderingen in slibconcentraties zijn toenames en de veranderingen in de overige variabelen zijn afnames.

De resultaten voor scenario zeewaarts cumulatief (Figuur 5.5) laten voor slib, primaire productie en schelpdierbiomassa vergelijkbare patronen zien als het scenario kustwaarts cumulatief. De zwaartepunten van de effecten liggen alleen verder van de kust. Voor chlorofyl is het gebied met grootste effecten (in de Voordelta) niet verplaatst, maar in sterkte afgenomen.



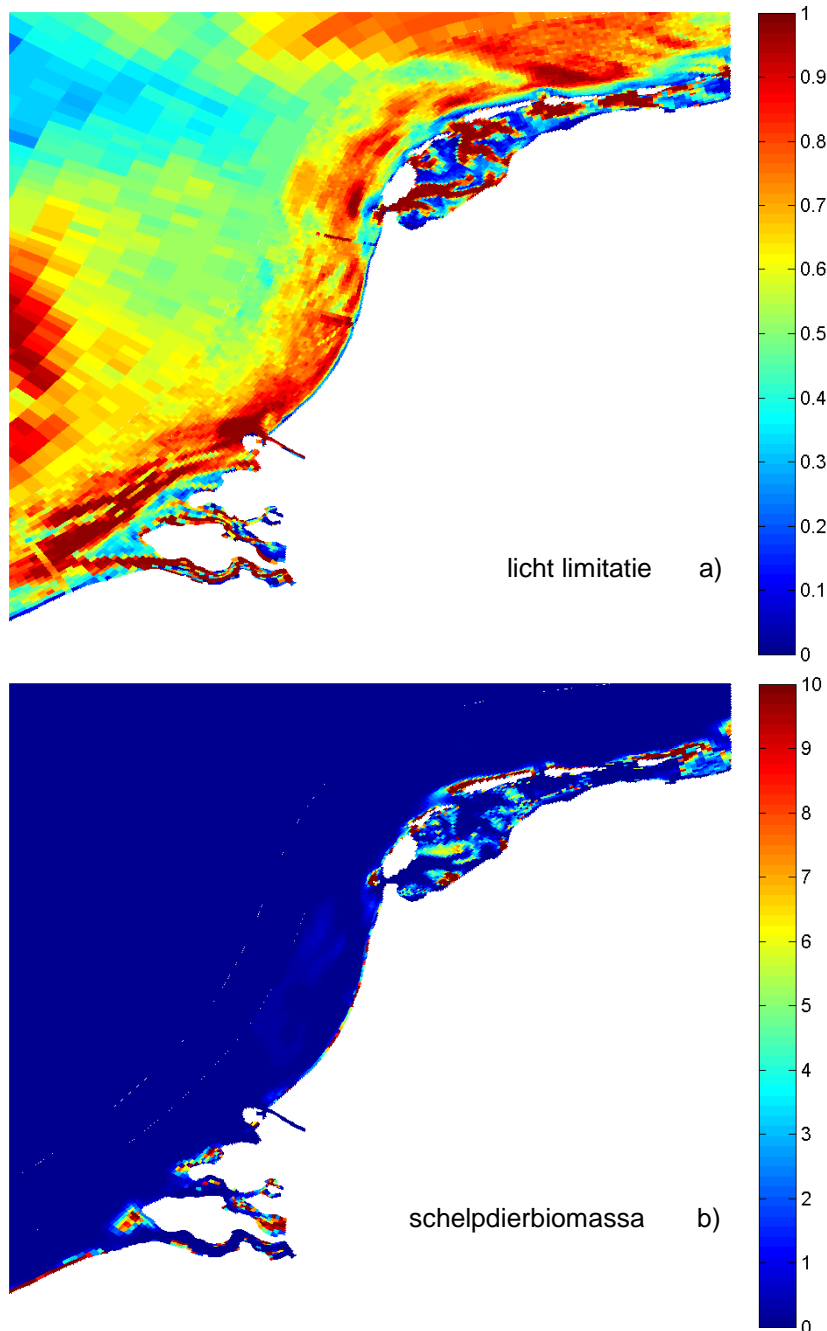
Figuur 5.5 relatieve verandering (%) in scenario zeewaarts cumulatief ten opzichte van het vergunde scenario in a) slib, b) primaire productie, c) chlorofyl en d) schelpdierbiomassa. Veranderingen in slibconcentraties zijn toenames en de veranderingen in de overige variabelen zijn afnames.

5.4 Discussie

5.4.1 Effect van lichtklimaat

In het algemeen zijn de afnames in algen en schelpdieren het sterkst in de gebieden met de sterkste toenames in slibconcentraties. Maar de ruimtelijke patronen veranderen wel in de doorvertaling via primaire en secundaire productie. De relatie met veranderingen in slibconcentraties is het sterkst voor primaire productie. Door de vertroebeling met slib beperkt lichtlimitatie de groei van algen tijdens een groter deel van het jaar. Het belang van lichtlimitatie verschilt per gebied. In zeer ondiepe wateren, zoals de getijplaten in de Waddenzee, speelt lichtlimitatie een relatief kleine rol, doordat er bijna het hele jaar voldoende licht tot op de bodem reikt om primaire productie mogelijk te maken (zie de blauwe gebieden in Figuur 5.6a). Dit verklaart bijvoorbeeld waarom de primaire productie in de Voordelta vlak voor de kust nauwelijks afneemt bij toenemende slibconcentraties. De blauwe gebieden zijn ook de gebieden waar de hoogste schelpdierbiomassa's worden gevonden: zowel in het model (Figuur 5.6b) als in beschikbare metingen (zie validatierapport). In diepe wateren met hoge achtergrondconcentraties aan slib, zoals de geulen in de Waddenzee en de Voordelta enkele kilometers uit de kust wordt de primaire productie vrijwel het hele jaar beperkt door licht (zie de donkerrood-bruine gebieden in Figuur 5.6a). In deze gebieden

neemt de primaire productie vaak onevenredig sterk af bij toenemende slibconcentraties. In het grootste deel van de Nederlandse kustwateren wordt de primaire productie in de winter voornamelijk beperkt door licht en in de zomer door nutriënten. In deze gebieden leidt een toename van slibconcentraties tot een verlenging van de periode met lichtlimitatie en een verkorting van het groeiseizoen voor algen.



Figuur 5.6 jaargemiddelde lichtlimitatie in de validatiesom voor 2007. Dit geeft de fractie van het jaar weer, waarin lichtlimitatie een rol speelt. b) jaargemiddelde schelpdierbiomassa ($gr C/m^2$) in de validatiesom voor 2007.

Door afname van primaire productie nemen ook chlorofylconcentraties af. De afnames in chlorofylconcentraties zijn minder lokaal dan die in primaire productie omdat de algen met het water worden gemengd over grotere gebieden. De voedselbeschikbaarheid voor

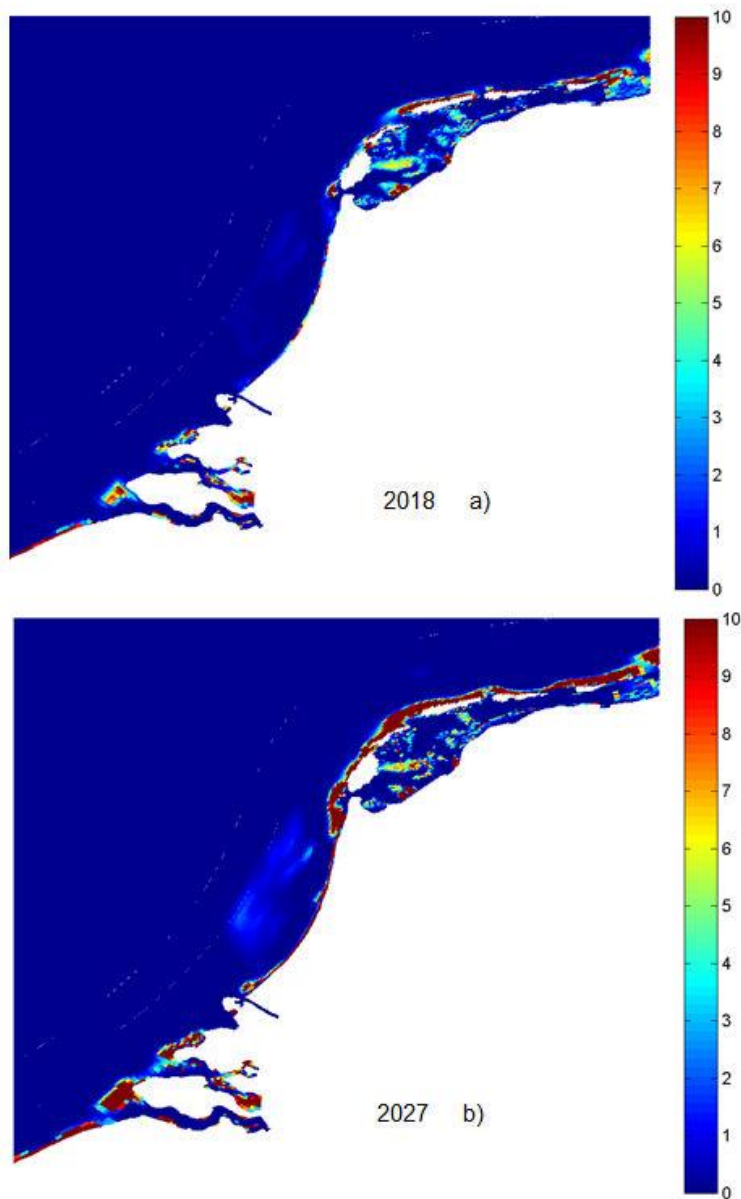
schelpdieren wordt bepaald door een combinatie van lokale primaire productie en aanvoer van chlorofyl van elders. Primaire productie geeft heel lokaal een grote aanvoer van algenvoedsel, waardoor deze ook bij grote graasdruk voldoende voedselaanbod voor de schelpdieren verzorgen. Maar ook op plaatsen waar lokaal weinig primaire productie is kan er toch voldoende algenvoedsel beschikbaar zijn, door aanvoer vanuit nabijgelegen gebieden. Hierdoor is de afname van schelpdierbiomassa door verhoogde slibconcentraties vaak minder lokaal dan de afname in primaire productie.

5.4.2 Effecten van initiële condities voor schelpdierbiomassa

De ruimtelijke patronen van de afname van schelpdierbiomassa laten in veel scenario's de grootste afnames zien (tot meer dan 50%) zien in gebieden met lage schelpdierbiomassa (vergelijk met Figuur 5.4d met Figuur 5.6b). De relatieve afname in deze gebieden is groter dan de afname in primaire productie en chlorofyl in deze gebieden. Nadere analyse van deze effecten heeft laten zien dat deze onevenredige afname van schelpdierbiomassa vooral optreedt:

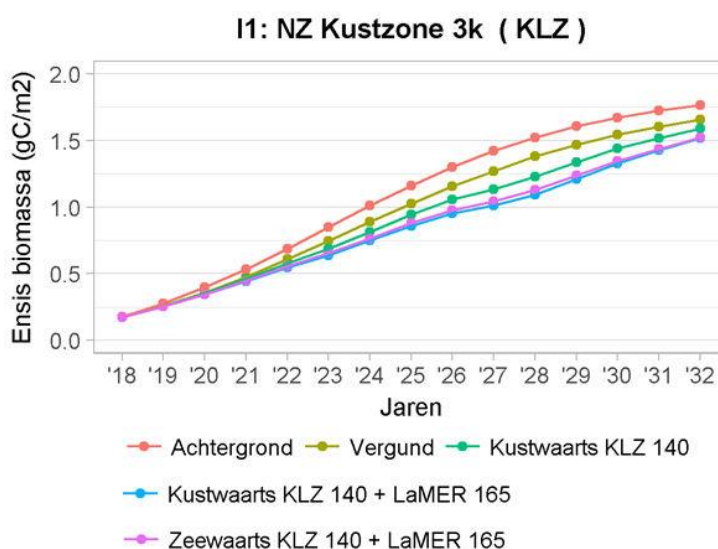
- in gebieden met lage primaire productiviteit zoals voor de Hollandse kust op enkele kilometers uit de kust;
- op de overgang van gebieden met hoge primaire productie naar lage primaire productie, zoals de randen van geulen in de Waddenzee.

In gebieden met lage primaire productie groeit Ensis, met de huidige modelparameters, veel langzamer dan in gebieden met hogere productiviteit (zie analyse in validatierapport, Van der Kaaij et al 2017, bijlage D). Dit leidt ertoe dat de schelpdierbiomassa in gebieden met lage primaire productie aan het begin van de scenariosimulaties (2018) nog niet hun evenwichtsbiomassa hebben bereikt. De biomassa van Ensis neemt hierdoor nog toe in het vergunde scenario tijdens de eerste jaren van de scenariosimulatie (zie Figuur 5.7). Verschillen in primaire productie tijdens deze eerste jaren van de scenariosimulaties leiden tot een sterke uitvergroting van de effecten op schelpdierbiomassa, waarbij effecten over meerdere jaren geaccumuleerd worden.



Figuur 5.7 a) jaargemiddelde schelpdierbiomassa (gr C/m^2) in het vergunde scenario in 2018, b) jaargemiddelde schelpdierbiomassa in het vergunde scenario in 2027.

Dit wordt nog verder geïllustreerd in een voorbeeld van een van de kustvakken in Figuur 5.8. Daarin is de toename van *Ensis* over de tijd te zien. Het achtergrond scenario (een scenario waarin ook geen vergunde activiteiten zijn meegenomen, alleen natuurlijke slibdynamiek) is hier ook nog getoond. Na 14 jaar zijn de populaties nog niet op een evenwichtssituatie beland, al lijkt het achtergrondscenario er dicht tegen aan te zitten, terwijl de cumulatieve scenario's hier nog een eind vandaan zitten.



Figuur 5.8 *Ensis* groei in een kustvak met daarbinnen hoge en lage dichtheden *Ensis*. Populaties zijn ook na 14 jaar niet in evenwicht.

Deze effecten treden met name op in gebieden met lage productiviteit waar de schelpdierbiomassa derhalve ook laag is. Dit is in Figuur 5.8 niet te zien want dit kustvak middelt uit over gunstige delen met hoge dichtheden en minder gunstige delen met zeer lage dichtheden. Voor zeevogels zijn deze gebieden met lage dichtheden nauwelijks relevant doordat zij hun voedsel voornamelijk verzamelen in gebieden met hoge schelpdierdichtheden. In gebieden met zeer lage dichtheden aan *Ensis* is deze soort in feite niet de meest representatieve grazer. In deze gebieden geeft deze modelopzet in feite ook geen juiste respons van grazers op slib weer. Een drempelwaarde van 10 gC/m² *Ensis* biomassa geeft vergelijkbare patronen als de *Ensis*-waarnemingen langs de Nederlandse kust (validatierapport, figuur 5.14). LaMER In Hoofdstuk 7 wordt nader ingegaan op de dichtheidsafhankelijke effecten van zandwinning op de *Ensis* biomassa en de groei van *Ensis*.

LaMER

De lange inspeeltijden bij lage productiviteit verklaren niet de hoge afnames in schelpdierbiomassa langs de randen van geulen in de Waddenzee. De modelparameters voor mosselen leiden niet tot lange inspeeltijden bij lage productiviteit. De grote relatieve afnames langs de geulen worden verklaard doordat de grens tussen het gebied waar voldoende primaire productie is om mosselpopulaties te ondersteunen en de geulen waar het te diep en te donker is voor primaire productie opschuift. De mosselbiomassa in de gebieden met hoge relatieve afnames is echter zeer laag (Figuur 5.7b), waardoor de totale afname van mosselbiomassa in de Waddenzee beperkt blijft tot 5 – 6% in de oostelijke Waddenzee en 2-3% in de westelijke Waddenzee in de cumulatieve scenario's.

5.4.3 Schatting effecten niet gedraaide scenario's middels regressie

Binnen de bestaande tijd en middelen konden niet alle scenario's expliciet met het ecologisch modelinstrumentarium worden doorgerekend. Dit geldt onder meer voor de zeewaartse scenario's van KLZ 140 en LaMER 165. Voor deze scenario's zijn schattingen van de chlorofyl-a concentratie en primaire productie gemaakt door interpolatie tussen wel doorgerekende scenario's op basis van de slibmodellering. De interpolatie gaat uit van de veronderstelling dat de verandering in de jaargemiddelde chlorofyl-a concentratie en primaire productie in een bepaald deelgebied bij goede

benadering lineair afhangt van de verandering in het slibgehalte. Bijlage E licht deze methode verder toe en toont de samenhang tussen veranderingen in slibgehalten en de veranderingen in de ecologische doelvariabelen. Voor sommige deelgebieden en ecologische variabelen is er een goede lineaire relatie tussen de toename in slibconcentraties en de afname van de ecologische variabele. Dit is bijvoorbeeld het geval voor de relatie tussen verandering in slibconcentratie en chlorofylconcentratie in de Waddenzee en kustzone 5z. Voor veel andere relaties is het 95% betrouwbaarheidsinterval (grijs gearceerd in de figuren) redelijk breed. In veel gevallen vallen juist de eerste paar jaar van de scenariosimulaties (zwart gekleurd in de figuren) buiten het betrouwbaarheidsinterval. Dit suggereert dat inspeleffecten van de schelpdieren ook hierbij een rol spelen. De betrouwbaarheid van de door interpolatie bepaalde schattingen verschilt per deelgebied. In gebieden met een goede lineaire relatie tussen variabelen (smal betrouwbaarheidsinterval) zullen de resultaten van deze benadering redelijk dicht liggen bij de resultaten van een expliciete ecologische simulatie. In gebieden met een slechte lineaire relatie (breed betrouwbaarheidsinterval) zal naar verwachting het door interpolatie bepaalde resultaat kunnen afwijken van het resultaat van een expliciete ecologische simulatie. Bij het ontbreken van een expliciete ecologische simulatie is de gemaakte schatting de best mogelijke.

Op de modelvoorspellingen voor schelpdieren zit een nog grotere onzekerheidsmarge dan op die van primaire productie en chlorofyl. Ook de regressierelaties tussen slib en effecten op slib hebben een veel breder 95% betrouwbaarheidsinterval. Deze techniek ook toepassen op de voorspellingen voor schelpdieren om hiermee ook data te verkrijgen voor niet gedraaide scenario's wordt niet meer verantwoord geacht en is dan ook niet uitgevoerd.

5.5 Samenvatting en conclusies

De berekende toenames in slibconcentraties voor de scenario's in deze studie geven lokaal duidelijke afnames van primaire productie, chlorofyl en schelpdierbiomassa. Vooral de Voordelta en het gebied boven Ameland zijn gevoelig voor toename in slibconcentraties, doordat lichtlimitatie hier een grote rol speelt. Als we gebieden met marginale schelpdierpopulaties buiten beschouwing laten leiden de toenames in slibconcentraties in de waterkolom (in de orde van 10 – 20%) lokaal tot afnames in primaire productie, en schelpdierbiomassa van dezelfde ordegrrootte. Wanneer deze effecten worden gemiddeld over de vakken, zijn de relatieve afnames in de Noordzee hoger omdat de gebieden waar groeicondities marginaal zijn en waar in het model grote afnames worden gevonden erg groot zijn. In de Waddenzee zijn de heel kleine gebiedjes langs de geulen waar ook een grote afname wordt gevonden op het totaal niet belangrijk. Over het algemeen is de verandering in chlorofylconcentraties minder extreem dan de verandering in primaire productie en de effecten op schelpdieren. De verlaagde primaire productie resulteert in een lagere groei van schelpdieren, waardoor ook de mate van begrazing verlaagt. De vermindering van schelpdiergraas resulteert daarmee in een minder sterke afname van algenbiomassa (te zien in chlorofyl concentraties) terwijl de productie wel is afgenomen. Het is dus essentieel om te kijken naar effecten op primaire productie en in mindere mate naar effecten op algenbiomassa of chlorofylconcentraties.

Er zitten aan de directe modelberekeningen nog wel een aantal onzekerheden. Ten eerste is uit het validatierapport (Van der Kaaij et al, 2017) duidelijk geworden dat in de Waddenzee (vooral in het oostelijk deel) de effecten iets overschat kunnen zijn vanwege het feit dat het model bentische primaire productie onderschat. Deze bentische diatomeeën kunnen, wanneer ze opwervelen, bijdragen aan het voedsel voor schelpdieren. In Hoofdstuk 6 wordt een inschatting gegeven van dit effect en in welke mate de negatieve effecten op schelpdieren daarmee onderschat worden.

Daarnaast is de manier waarop schelpdieren zijn gemodelleerd (zonder leeftijds- of grootte opbouw) een versimpeling van de werkelijkheid. In de praktijk zullen kleine dieren anders reageren dan grote exemplaren. Dit heeft vooral een impact op de voorspellingen voor *Ensis* in de Noordzee. In hoofdstuk 7 wordt een nadere analyse gegeven van de model respons van *Ensis* op veranderingen in slib. Hierin wordt ook een analyse en een interpretatie gegeven van de groei van *Ensis*larven en wat dit uiteindelijk betekent voor de interpretatie van de modelresultaten voor gebruik bij de MER.

6 Compensatiefactor microfytobenthos

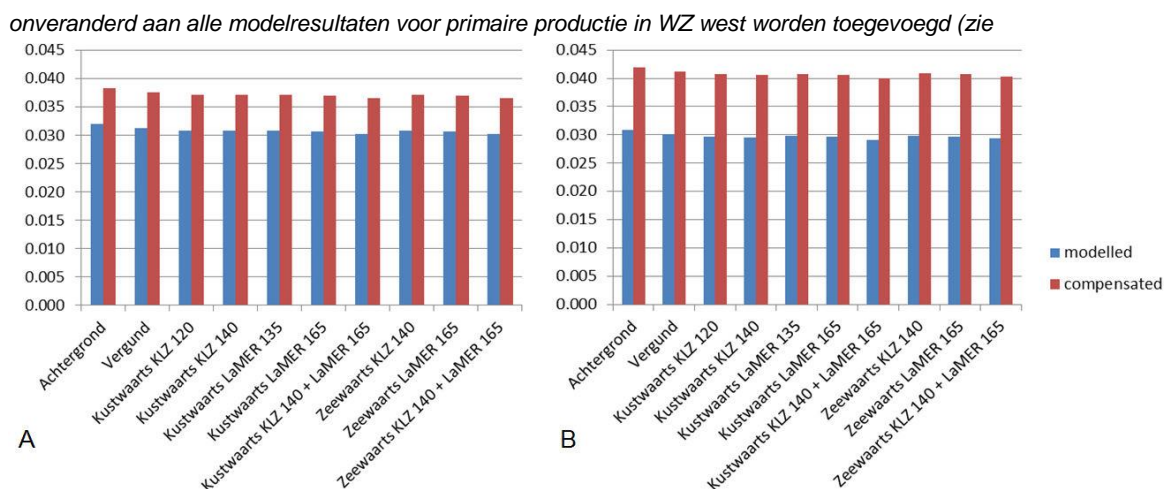
In de Waddenzee speelt microfytobenthos een belangrijke rol als voedsel voor schelpdieren. In de modellering van de Waddenzee voor de MER Zandwinning wordt microfytobenthos wel meegenomen, maar geven de modelresultaten een lagere schatting dan meetgegevens laten zien. Bodemalgen groeien in zeer ondiep gebied en voor een belangrijk deel in het intergetijdengebied. De hoogste productiviteit wordt vaak bereikt op platen die al vrijwel droog liggen, maar waar nog een heel dun laagje water op staat. Op deze locaties dringt licht altijd door tot op de bodem. Hierdoor ondervinden bentische algen (anders dan de pelagische algen) weinig tot geen effect van (veranderingen in) slib. Het gemodelleerde tekort van bodemalgen kan daarmee tot een overschatting van de effecten van de zandwinning op primaire productie leiden. Hieronder wordt een kwantitatieve inschatting gemaakt van het tekort. Vervolgens worden de gemodelleerde effecten op primaire productie en mosselbiomassa in de twee monitoringsgebieden in de Waddenzee hiervoor gecompenseerd. De methodiek is reeds beschreven in het validatierapport, maar wordt hier herhaald als referentie.

6.1 Compensatie primaire productie

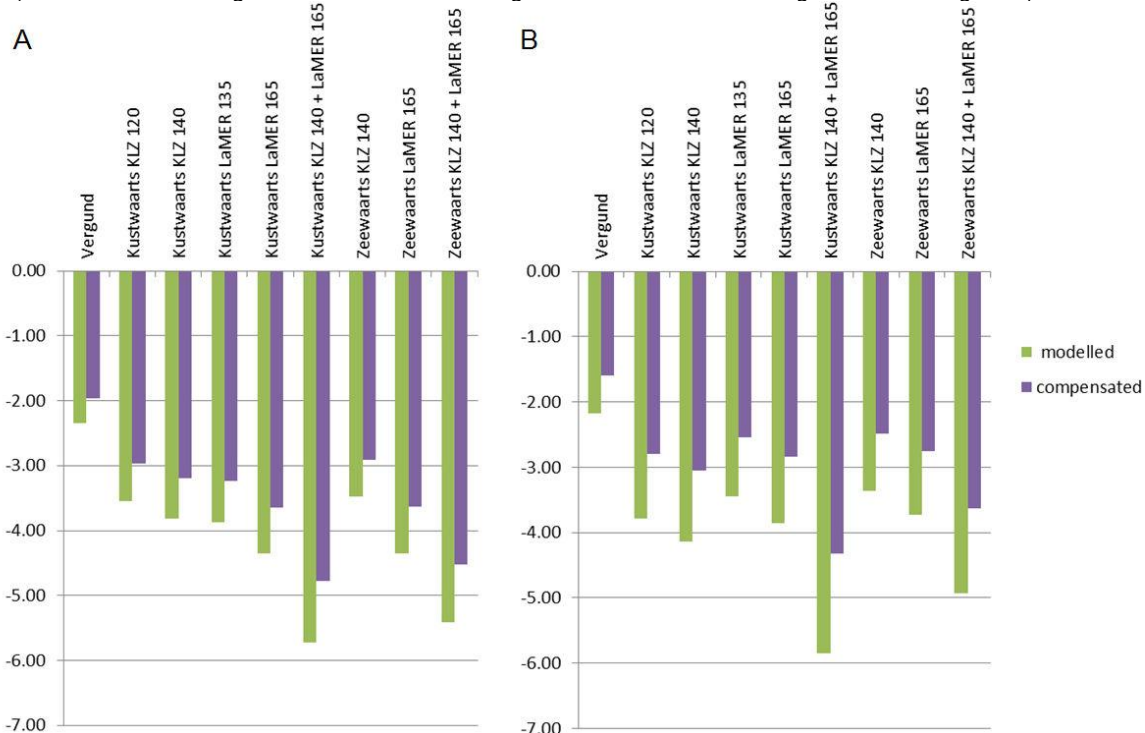
6.1.1 Compensatie primaire productie westelijke Waddenzee

- Voor de westelijke Waddenzee berekent het model voor de validatiesom (val02007) een primaire productie van 166 gC/m²/jaar in de westelijke Waddenzee, waarvan 6% door (benthische en geresuspendeerde) bodemalgen. Voor het pelagische deel is dit in dezelfde orde grootte als gepubliceerde (pelagische) primaire productiewaarden: 146 g C/m²/jaar in de Noordelijke Waddenzee in 2004 (Loebl *et al* 2007) en 120-170 g C/m²/jaar rond Marsdiep in 2000-2004 (Philippart *et al* 2007). Voor onderstaande afleiding gaan we voor de referentie-situatie uit van een pelagische primaire productie in de WZ west van 150 gC/m²/jaar.
- In de oostelijke Waddenzee berekent het model een primaire productie van 102 gC/m²/jaar, waarvan 7% door (benthische en geresuspendeerde) bodemalgen. Voor onderstaande afleiding gaan we voor de referentie-situatie uit van een pelagische primaire productie in de Waddenzee oost van 100 gC/m²/jaar.
- De hoeveelheid primaire productie door bodemalgen is 20% van de totale primaire productie in de westelijke Waddenzee (Philippart & Cadée, 2000).
- Bodemalgen liggen op droogvallende platen en zullen daarom weinig tot geen effect ondervinden van verhoogde slibconcentraties zoals in de scenario's.

*Uit bovenstaande punten volgt dat de benthische primaire productie in de westelijke Waddenzee (150 g C/m²/jaar / 80% * 20%)=38 gC/m²/jaar zal zijn. In het model is de benthisch primaire productie 6% van totale productie; dit komt neer op 10 gC/m². Het tekort aan benthische primaire productie in het model is dus 28 gC/m²/jaar. Bij een gemiddelde diepte van 12 m komt dit overeen met een productie van 2.3 gC/m³/jaar, ofwel 0.0063 mgC/l/dag. Het model mist dit deel van de productie in de referentiesituatie, maar ook in de scenario's. Omdat dit deel van de productie niet wordt beïnvloed door (veranderingen in) slib, zal deze hoeveelheid*



Figuur 6.1a). Uit de nieuw verkregen waarden kunnen vervolgens de relatieve veranderingen t.o.v. achtergrond (



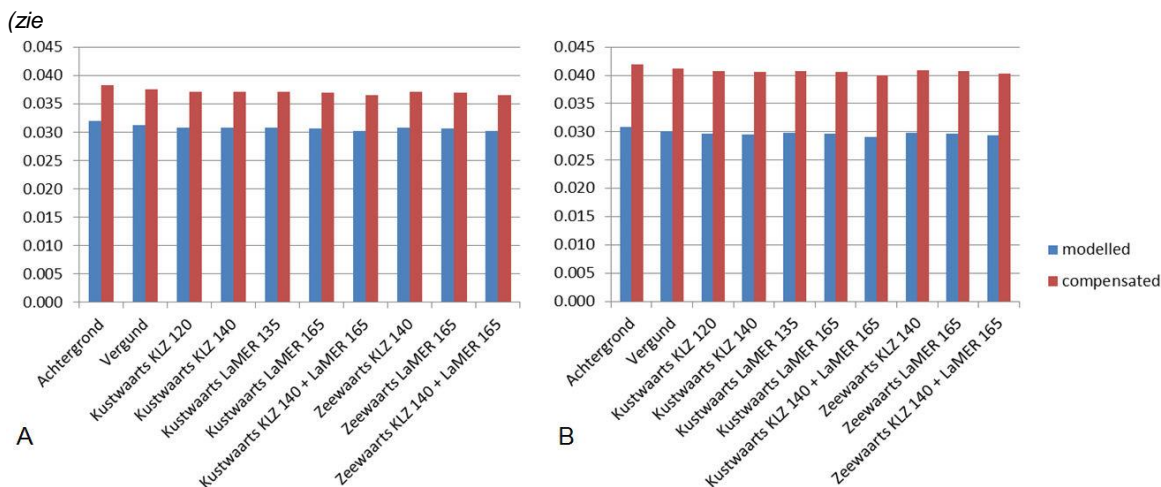
Figuur 6.2a) en vergund (Figuur 6.3a) worden afgeleid.

6.1.2 Compensatie primaire productie Waddenzee oost

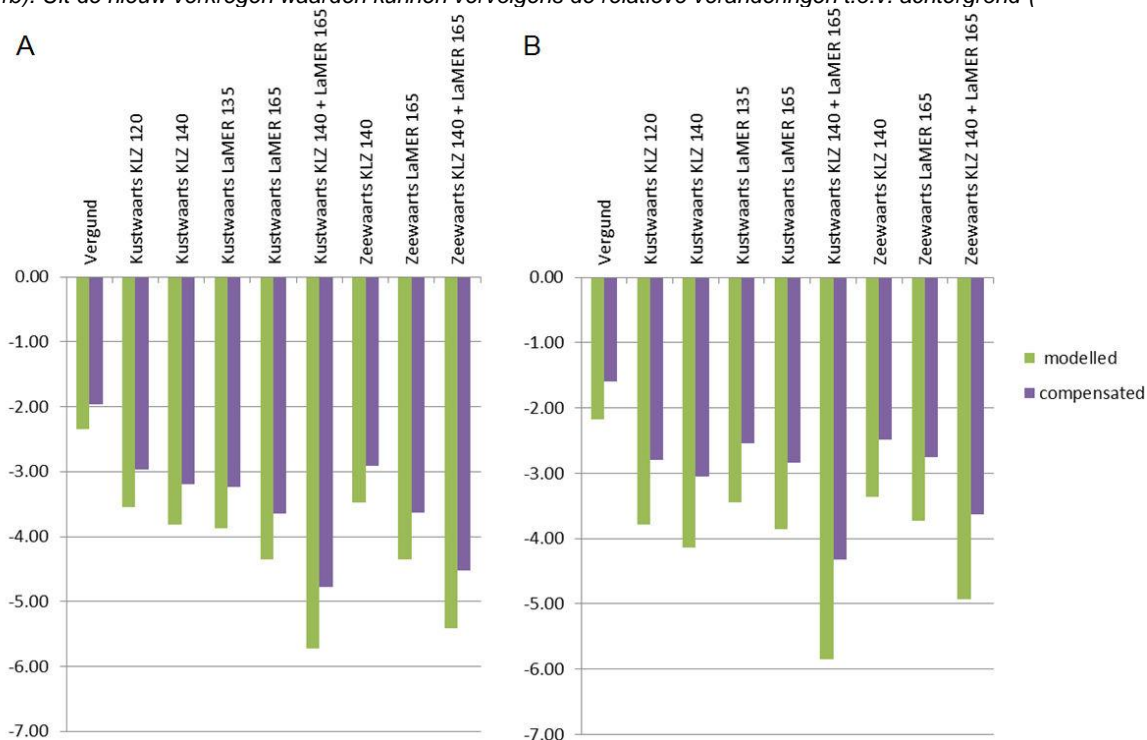
- Voor de oostelijke Waddenzee is het aandeel benthische primaire productie onbekend. Dit aandeel wordt hieronder afgeleid, waarbij we veronderstellen dat de hoeveelheid benthische primaire productie gerelateerd is aan percentage plaatoppervlak t.o.v. het totaal areaal. In ons modelrooster is (uitgaande van een laagwaterlijn van 2m) het relatieve plaatoppervlak in Waddenzee west = 33% en in Waddenzee oost = 47%. Als we daarbij veronderstellen dat bij een droogvalduur van 50% of minder (d.w.z. halverwege de hoog- en laagwaterlijn) de dichtheid bodemalgen lineair afneemt met de diepte (tot 0 op de laagwaterlijn) (van der Wal et al. 2010) dan is het gewogen plaatoppervlak in Waddenzee west 24% en Waddenzee oost 33%. Deze getallen worden berekend op basis van de respectievelijke

hypsometrische curves van de beide deelgebieden. Beide ratio's (47/33 en 33/24) liggen dicht bij elkaar en suggereren dat de benthische productie in de oostelijke Waddenzee 28% van de totale primaire productie zal zijn.

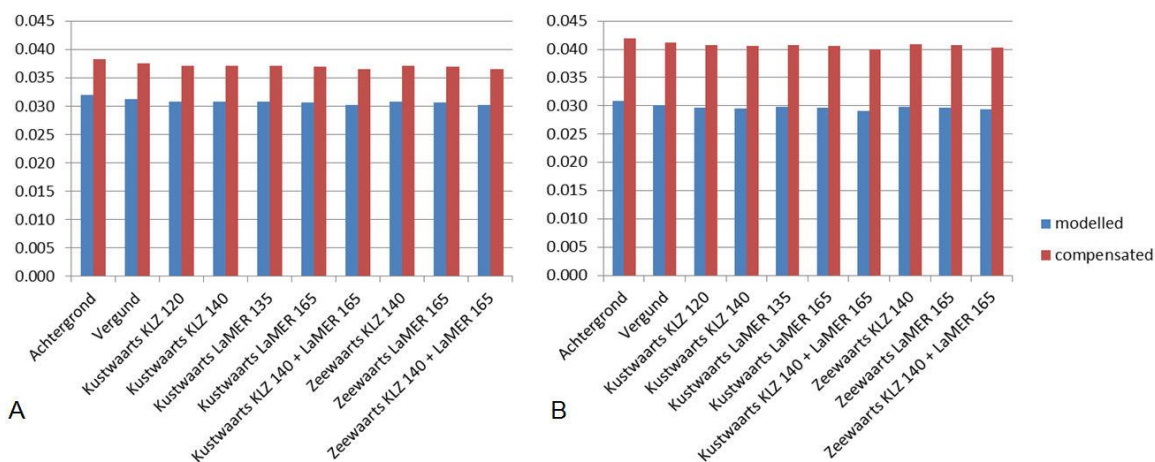
Uit bovenstaande punten volgt dat de benthische primaire productie in de oostelijke Waddenzee ($100\text{gC/m}^2/\text{jaar} / (100-28)\% * 28\%$)= $39\text{gC/m}^2/\text{jaar}$ zal zijn. In het model is de benthisch primaire productie 7% van totale productie; dit komt neer op $7\text{gC/m}^2/\text{jaar}$. Het tekort aan benthische primaire productie in het model is dus $32\text{gC/m}^2/\text{jaar}$. Bij een gemiddelde diepte van 8 m komt dit overeen met een productie van $4.0\text{gC/m}^3/\text{jaar}$, oftewel 0.011mgC/l/dag . Het model mist dit deel van de productie in de referentiesituatie, maar ook in de scenario's. Omdat dit deel van de productie niet wordt beïnvloed door (veranderingen in) slib, zal deze hoeveelheid onveranderd aan alle modelresultaten voor primaire productie in WZ oost worden toegevoegd. (zie



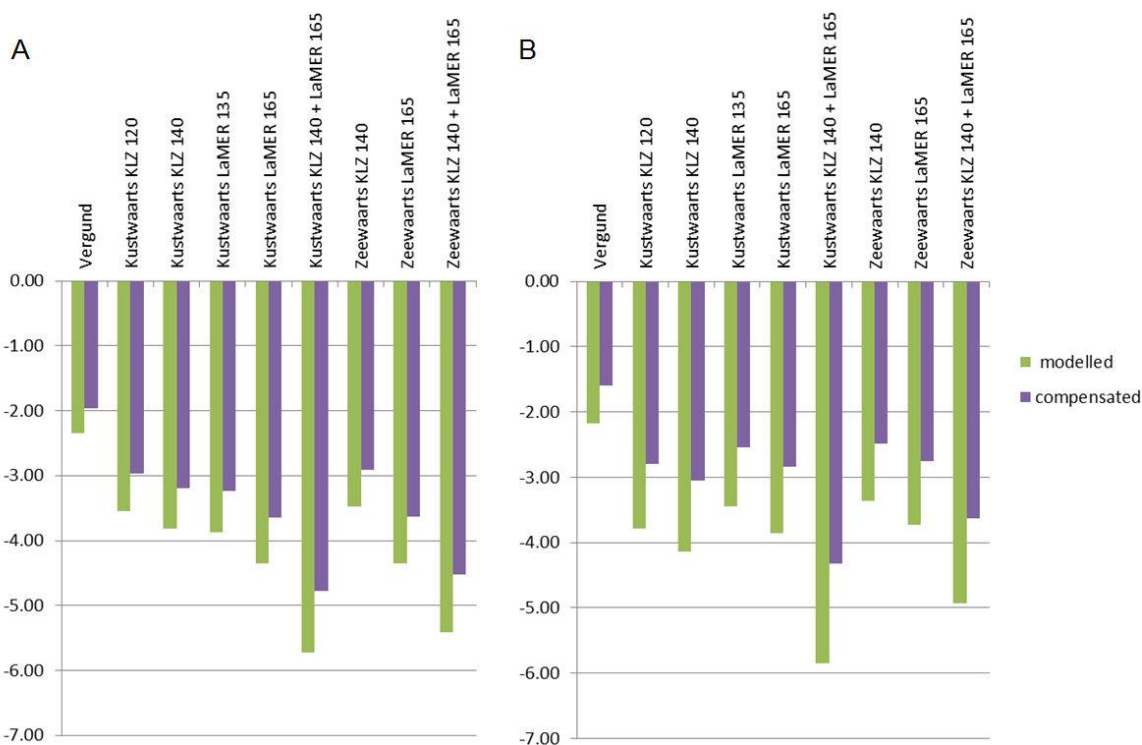
Figuur 6.1b). Uit de nieuw verkregen waarden kunnen vervolgens de relatieve veranderingen t.o.v. achtergrond (



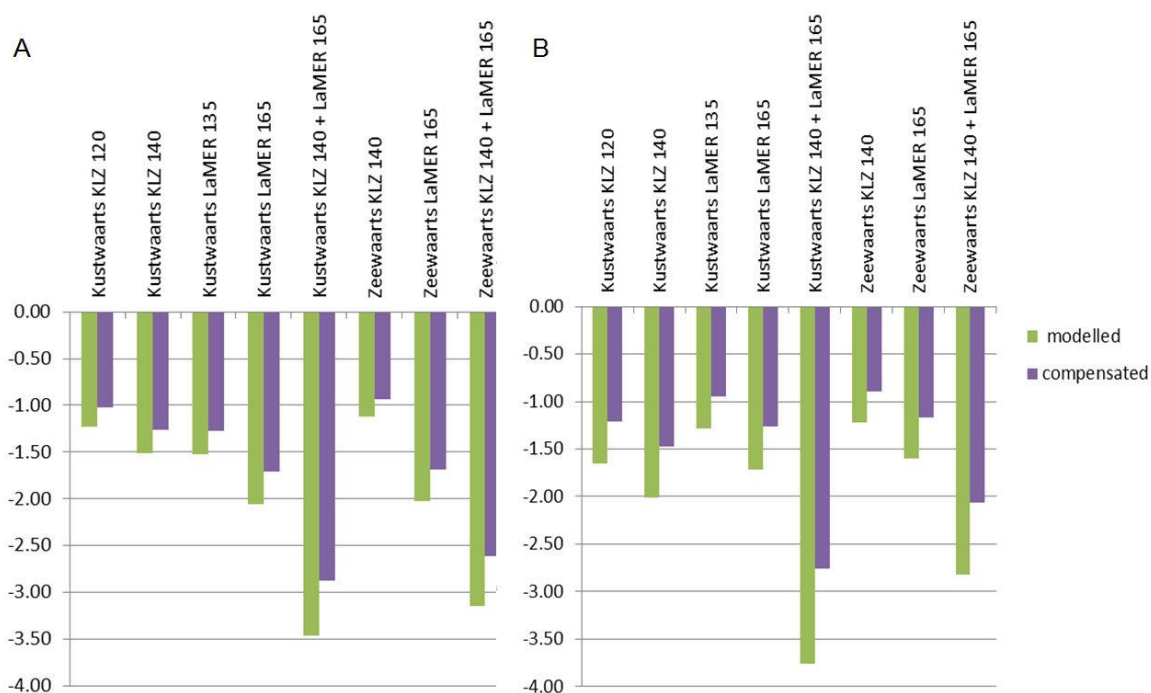
Figuur 6.2b) en vergund (Figuur 6.3b) worden afgeleid.



Figuur 6.1 Gemodelleerde en gecompenseerde primaire producties (mgC/l/dag) voor de verschillende scenario's in 2027 in (A) de westelijke Waddenzee en (B) de oostelijke Waddenzee.



Figuur 6.2 Relatieve veranderingen in de gemodelleerde en gecompenseerde primaire producties in 2027 in de westelijke Waddenzee (A) en oostelijke Waddenzee (B) onder de verschillende scenario's t.o.v. achtergrond.



Figuur 6.3 Relatieve veranderingen in de gemodelleerde en gecompenseerde primaire producties in 2027 in de westelijke Waddenzee (A) en Oostelijke Waddenzee (B) voor de verschillende scenario's t.o.v. vergund.

6.2 Compensatie chlorofyl concentraties

Er wordt in deze analyse niet berekend hoe een toename van de benthische productie doorwerkt in chlorofyl. Dit omdat er bij deze omzetting veel feedbacks plaatsvinden met graas door schelpdieren. Dit leidt tot het zgn. 'skipped level transmission' fenomeen, waarbij opeenvolgende trofische niveaus heel verschillend en zelfs tegengesteld kunnen reageren op een verandering (Casini et al. 2008, Heath et al. 2014).

6.3 Compensatie schelpdierenbiomassa's

- Niet alle benthische productie is beschikbaar voor schelpdieren, want de bodemalgen liggen een deel van de tijd op de bodem. Christianen et. al (2015) vermelden dat benthische primaire productie ongeveer 13% bijdraagt aan het voedsel van mosselen in de Waddenzee. Voor kokkels is dit aanmerkelijk lager (<5%) en voor Japanse oesters hoger (34%). Wij schatten de beschikbare fractie op basis van het percentage van de tijd dat bodemalgen in resuspensie zijn. Geresuspendeerde bodemalgen vormen in de Eems-Dollard naar schatting enkele tientallen procenten van de totale hoeveelheid algen in de waterkolom (de Jonge en van Beusekom 1995). Analyses van watermonsters tijdens de voorjaarsbloei (april / mei) op het Balgzand, gaven aan dat ongeveer 10% van de algen in de waterkolom uit benthische diatomeeën bestond (Kamermans 1994). In de huidige studie bevinden de bodemalgen in de westelijke Waddenzee zich 9% van de tijd in de waterfase, en in de oostelijke Waddenzee 25% van de tijd. In De Jonge and Van Beusekom (1992) wordt een relatie beschreven voor de Eems-Dollard voor het percentage microfytobenthos dat in suspensie komt bij een bepaalde windsnelheid: $\%MFB = 5.41 \cdot V - 5.41$ Waarbij " $\%MFB$ " = het percentage chlorofyl afkomstig van microfytobenthos dat wordt geresuspendeerd en V = 'effectieve windsnelheid'. Dit laatste is de gemiddelde windsnelheid over 3 hoogwater getijden voorafgaande aan de meting. Voor het jaar 2007 is de gemiddelde windsnelheid 6.74

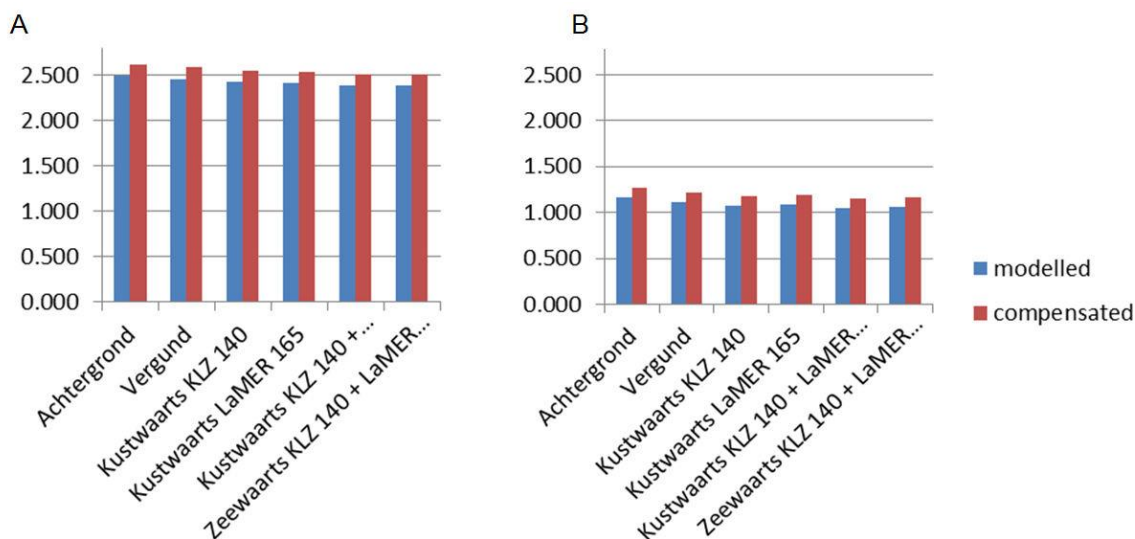
m/s. Dit zou neerkomen op een jaargemiddeld percentage van 25.7% voor benthische algen die beschikbaar komen als voedsel voor schelpdieren. Dit komt dus goed in de buurt van het gemiddelde percentage tijd dat benthische algen in de waterfase doorbrengen, zoals gemodelleerd voor de oostelijke Waddenzee (25%).

- De extra beschikbare benthische productie wordt omgezet in extra schelpdierbiomassa op basis van de ratio tussen jaarlijkse gemiddelde schelpdierbiomassa (gC/m^2) en de primaire productie ($\text{mgC}/\text{l}/\text{dag}$) zoals gemodelleerd in de twee gebieden. Deze ratio neemt af over de jaren, waarschijnlijk gerelateerd aan de afname van nutriëntenlozingen door KRW maatregelen, en stabiliseert op 78 voor de westelijke Waddenzee en 37 voor de oostelijke Waddenzee (dit zijn de gemiddelde ratio's over de verschillende scenario's). Hierbij wordt verondersteld dat deze ratio's niet veranderen bij een toename in primaire productie, m.a.w. dat er een lineaire relatie bestaat tussen primaire productie en schelpdierbiomassa.

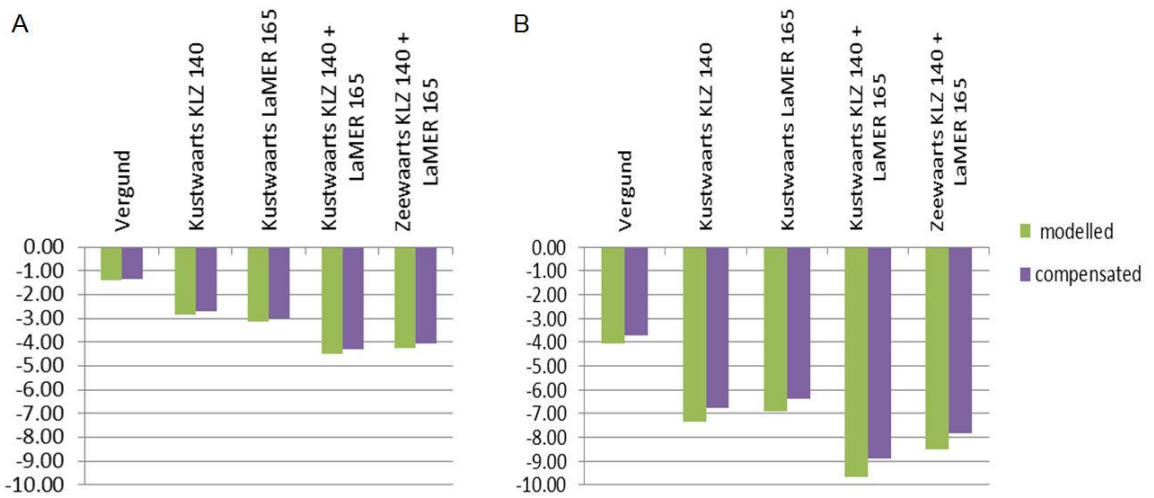
Op basis van bovenstaande punten kan worden afgeleid dat de extra schelpdierbiomassa door bodemalgen in de Waddenzee west neer komt op: $25\% * 0.0063 * 78 = 0.12 \text{ gC}/\text{m}^2$

De extra schelpdierbiomassa door bodemalgen in Waddenzee oost kom neer op: $25\% * 0.011 * 37 = 0.10 \text{ gC}/\text{m}^2$

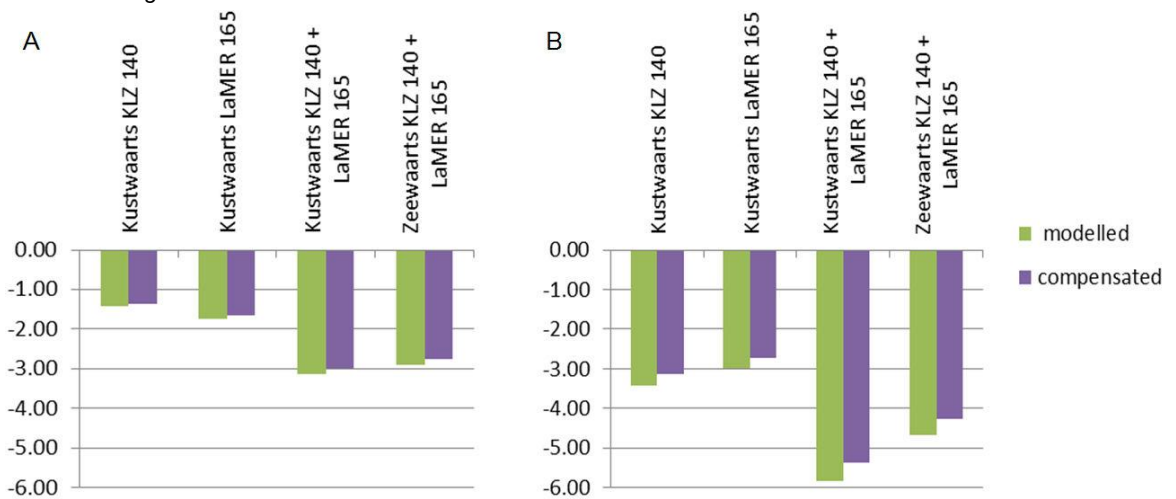
Omdat deze extra biomassa niet wordt beïnvloed door (veranderingen in) slib, worden deze hoeveelheden onveranderd aan alle modelresultaten voor primaire productie toegevoegd. (zie Figuur 6.4b). Uit de nieuw verkregen waarden kunnen vervolgens de relatieve veranderingen t.o.v. achtergrond (Figuur 6.5b) en vergund (Figuur 6.6b) worden afgeleid.



Figuur 6.4 Gemodelleerde en gecompenseerde mosselbiomassa's (gC/m^2) voor de verschillende scenario's in 2027 in (A) de westelijke Waddenzee en (B) de oostelijke Waddenzee.



Figuur 6.5 Relatieve veranderingen in de gemodelleerde en gecompenseerde mosselbiomassa's in 2027 in de westelijke Waddenzee (A) en oostelijke Waddenzee (B) onder de verschillende scenario's t.o.v. achtergrond.



Figuur 6.6 Relatieve veranderingen (%) in de gemodelleerde en gecompenseerde mosselbiomassa's in 2027 in de westelijke Waddenzee (A) en oostelijke Waddenzee (B) voor de verschillende scenario's t.o.v. vergund.

7 Gevoeligheidsanalyses *Ensis* in de Noordzee

7.1 Vraagstelling

In het validatierapport (Van der Kaaij et al., 2017) is vastgesteld dat de parameterkeuze van het DEB model voor *Ensis* en de keuze voor een V1 morf afgeregeld op een vrij grote gemiddelde individuen mogelijk een overschatting kan geven van de effecten op *Ensis* in de Noordzee. In dit hoofdstuk wordt hier verder op ingegaan en worden een aantal gevoeligheidsanalyses gepresenteerd die de implicaties van deze overschatting beter in beeld kunnen brengen. De basisvraagstelling van deze gevoeligheidsanalyse is hoe de gemodelleerde effecten van de scenario's op de biomassa en de groei van filtrerende schelpdieren in de Noordzee ("*Ensis*" in het model) dienen te worden vertaald naar effecten op natuurwaarden. Gegeven het feit dat er geen evenwichtssituatie is bereikt, is de vraag of dat implicaties heeft voor de geschatte effecten. Verder zijn er vragen naar de implicaties van de gebruikte grootteklasse voor de "V1-morf", en naar de interpretatie van de resultaten voor de groei van de juvenielen ("isomorf"). Meer specifiek worden volgende vragen behandeld:

- Er is geobserveerd dat de modelvariabelen slechts traag in evenwicht komen, waardoor inspeleffecten een rol zouden kunnen spelen in de schatting van scenario-effecten. Dit is onderzocht door scenario-effecten te vergelijken met 'trend' (stijging, daling) van de variabele in het achtergrondscenario tussen de jaren 2027 en 2031. De onderzochte hypothese is dat de mate van onevenwicht (gekwantificeerd als de 'trend') sterk correleert met de sterkte van het berekende scenario-effect, en daardoor als een versturende factor in de berekeningen kan worden aangemerkt.
- Sterke relatieve effecten (% vermindering) zijn geobserveerd in zones waar de biomassa minimaal is. Zulke relatieve veranderingen hebben daardoor weinig ecologische gevolgen, omdat de absolute verandering ("van bijna niets tot minder dan bijna niets") beperkt is. De hypothese is dat dergelijke punten sterk doorwegen in de berekening van het gemiddelde effect, en daardoor tot een overschatting van het globale effect leiden.
- Er is geobserveerd dat de twee responsvariabelen (biomassa van de V1-morf en groeisnelheid van de kleine isomorf) niet altijd in dezelfde richting wijzen, en kwantitatief een ander relatief effect van de scenario's vertonen. Dit verschil in respons kan veroorzaakt worden door de verschillende fysiologie van de grootteklassen, door ruimtelijke verschillen, of door dichtheidsafhankelijke interacties. Fysiologische verschillen zijn eerder in kaart gebracht in een algemene gevoeligheidsanalyse van het DEB model. Hier worden de hypothesen getoetst (1) dat het verschil te wijten is aan ruimtelijke effecten en (2) te wijten is aan dichtheidsafhankelijke interacties. Tenslotte wordt op basis van de resultaten een voorstel gedaan om de effecten op natuurwaarden zo goed mogelijk in te schatten.

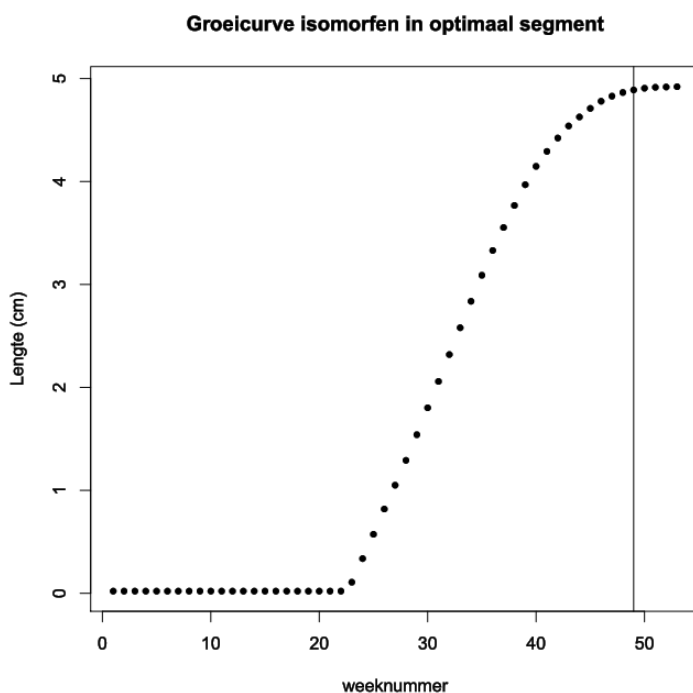
7.2 Aanpak

De analyses zijn gebaseerd op de map-bestanden die door Delwaq worden uitgevoerd. Deze bestanden bevatten gegevens over de meest relevante variabelen in elk van de berekeningscellen, op één tijdstip per week. Uit een jaarlijkse run worden 53 tijdstippen weggeschreven, dit is inclusief de startwaarden.

Er zijn voor de analyses alleen gegevens gebruikt van de Noordzee, met uitsluiting dus van de Waddenzee. In de Waddenzee wordt de mossel als grazer gemodelleerd, terwijl dit in de Noordzee de soort *Ensis* betreft.

Omdat het benthische gegevens betreft, zijn alleen waarden uit de onderste waterlaag ingelezen. Dit geldt ook voor chlorofyl, omdat de aandacht in de huidige analyse uitging naar mogelijke uitputting van chlorofyl in de onderste waterlaag. Alleen primaire productie betreft in de huidige analyse de volledige, geïntegreerde waterkolom.

De gegevens voor de biomassa van Ensis (de "V1" biomassa), de chlorofylconcentratie in de onderste waterlaag, de geïntegreerde kolomproductie zijn jaargemiddeld¹. De lokale diepte is een gegeven dat niet varieert in de tijd. Voor de lengte van de isomorf van Ensis is de waarde rond 1 december (49^e tijdsuitvoer) gebruikt. Dit wordt verantwoord door de groeicurve van de isomorf in de tijd, zoals weergegeven in Figuur 7.1. Voor deze figuur is de modelcel met de hoogste groei gekozen; andere cellen vertonen lagere groei maar de verhoudingen zijn relatief constant. De isomorfen bereiken aan het eind van het jaar een lengte tussen 2 en bijna 5 cm. Die lengte wordt zo goed als volledig bereikt begin december, het ogenblik dat is gebruikt voor de studie van de lengtevariatie in isomorfen (aangegeven met een verticale lijn in Figuur 7.1). Het DEB model berekent het structurele volume als toestandsvariabele, en hanteert een vaste (soortafhankelijke) relatie tussen structureel volume en lengte. Voor de duidelijkheid is hier gebruik gemaakt van lengte.



Figuur 7.1 Lengte-ontwikkeling van de isomorf over de tijd. Voor deze grafiek is de locatie gekozen waar de lengte het hoogst was van het volledige studiegebied.

Als standaard is het jaar 2027 gebruikt. Voor de controle op stabiliteit van de oplossing in 2027 is bovendien het jaar 2031 ingelezen voor de biomassa van de V1 Ensis.

Gegevens zijn ingelezen voor drie verschillende scenario's: de achtergrond (BL), het vergunde scenario (Aut1) en het cumulatieve kustwaartse scenario (Kmc). De keuze voor dit scenario wordt verantwoord door de observatie dat dit systematisch het scenario met de sterkste effecten is. Effecten van andere scenario's (alleen kustlijnzorg, alleen LaMER, meer zeewaartse scenario's) zijn intermediair tussen achtergrond en cumulatief scenario, maar de

¹ Voor de V1 biomassa is gecontroleerd of scenario-effecten op de jaargemiddelde biomassa ook worden teruggevonden in scenario-effecten op de groei tijdens het zomerseizoen. De correlatie was heel hoog, vandaar dat verder alleen met jaargemiddelden is gewerkt.

verhoudingen zijn goed gedocumenteerd en dus niet van groot belang om deze gevoeligheidsanalyse extensief mee te nemen.

Relatieve scenario-effecten zijn standaard berekend op basis van het verschil (per punt in de ruimte) tussen de scenario's Kmc en Aut1, als:

$$\text{RelatiefScenarioEffect}_{\text{vergund}} = (\text{Kmc}_{2027} - \text{Aut1}_{2027}) / \text{Aut1}_{2027}$$

waarin Kmc₂₀₂₇ staat voor de waarde (jaargemiddeld of 1 december) in het cumulatieve scenario Kmc voor het jaar 2027, en vergelijkbaar voor Aut1₂₀₂₇

Voor de meeste variabelen is ter controle het scenario-effect van het cumulatieve scenario (Kmc) ten opzichte van Achtergrond (BL) berekend:

$$\text{RelatiefScenarioEffect}_{\text{achtergrond}} = (\text{Kmc}_{2027} - \text{BL}_{2027}) / \text{BL}_{2027}$$

Dit scenario-effect is altijd groter dan het effect ten opzichte van het Vergunde scenario (Aut1), maar beide effecten correleren sterk en de patronen die hier worden onderzocht verschillen niet wezenlijk. Om het aantal figuren te beperken is het resultaat niet altijd grafisch weergegeven. Een voorbeeld is opgenomen in Figuur 3. Waar niet verder gespecificeerd, is altijd het scenario-effect van het cumulatieve t.o.v. het vergunde scenario bedoeld. In sommige plots zijn absolute verschillen tussen scenario's gebruikt. Deze zijn eenvoudig het verschil tussen het cumulatieve en vergunde scenario.

$$\text{AbsoluutScenarioEffect} = (\text{Kmc}_{2027} - \text{Aut1}_{2027})$$

Trends in de biomassa van Ensis V1 zijn berekend door de waarde van de variabele voor het scenario in 2031, te vergelijken met de waarde in 2027, als volgt:

$$\text{Trend}_{\text{BL}} = (\text{BL}_{2031} - \text{BL}_{2027}) / \text{BL}_{2027}$$

$$\text{Trend}_{\text{Kmc}} = (\text{Kmc}_{2031} - \text{Kmc}_{2027}) / \text{Kmc}_{2027}$$

waarin de notatie (bv. Kmc₂₀₃₁) dezelfde is als voor de scenario-effecten. Er is opgemerkt dat relatieve veranderingen zeer groot kunnen zijn wanneer de achtergrondwaarde van de variabele zeer klein is. Het betreft dan, in absolute waarde, verwaarloosbaar kleine veranderingen die echter op een grafiek van relatieve veranderingen het beeld kunnen domineren. Om dergelijke artefacten te vermijden, is een filter toegepast op de gegevens. Alleen cellen waarin de biomassa van de V1 Ensis > 0.1 gC/m² worden gebruikt. Of het filter is gebruikt wordt steeds aangegeven op de betreffende grafiek; vaak zijn grafieken voorbereid met en zonder filtratie.

Voor enkele verbanden zijn arrow plots gemaakt, die aangeven hoe het verband tussen twee variabelen verandert met het scenario. Om de duidelijkheid van deze grafieken te verbeteren is een random selectie gemaakt uit de gegevens. Het beeld van de grafieken verandert niet wezenlijk als deze random selectie een aantal keer wordt herhaald. Alle grafieken van dit type zijn gemaakt met dezelfde random selectie van gegevens.

7.3 Resultaten

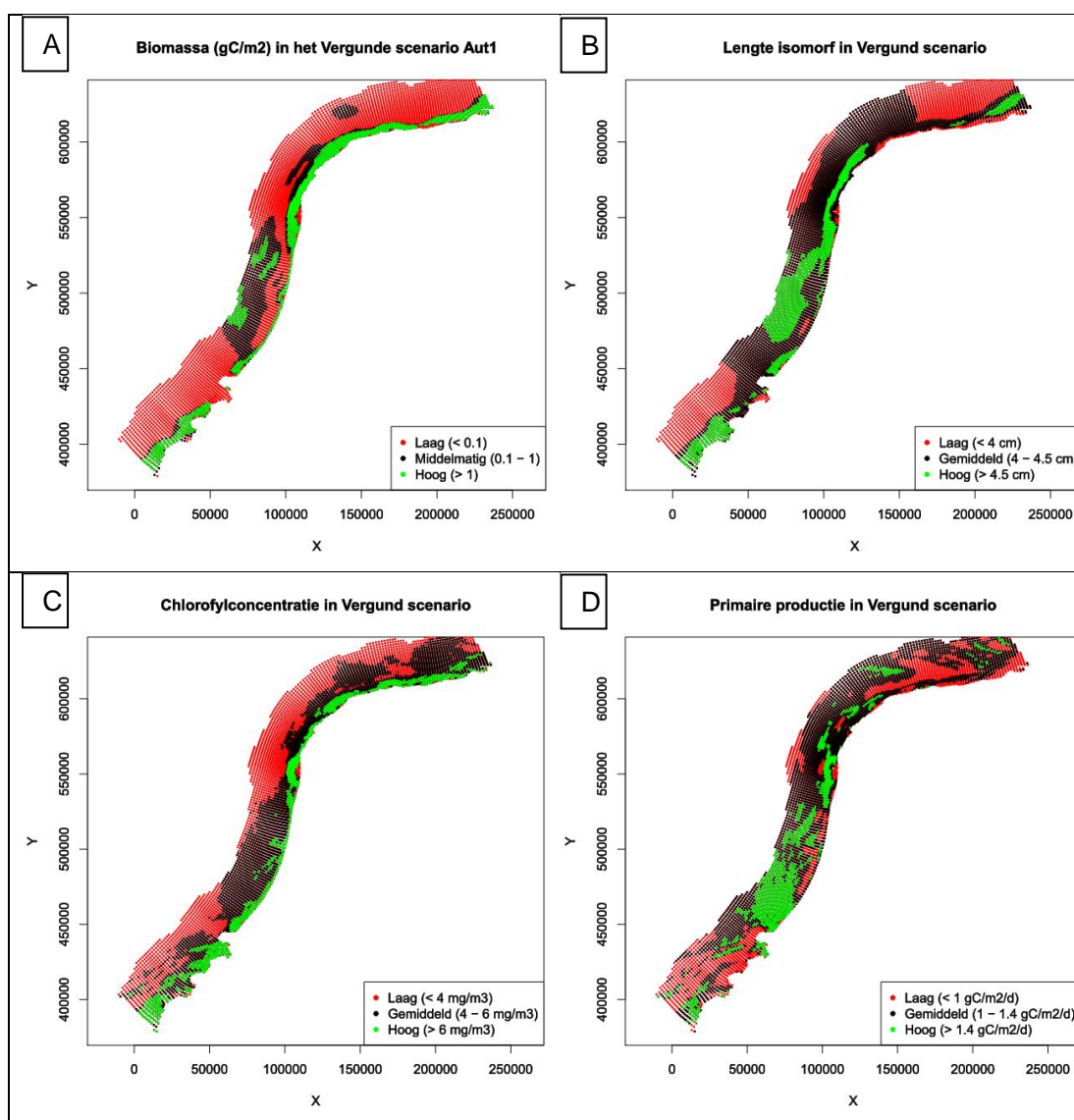
7.3.1 Tijdsevolutie groei isomorf onder verschillende scenario's.

Hiervoor wordt verwezen naar Appendix D.5. Die figuren zijn op dezelfde manier gemaakt als de overige figuren in de studie, en dus niet op basis van de map-files zoals de andere resultaten in dit hoofdstuk. In de figuren is een okergeel kader rond bepaalde ecovakken

gebruikt, om aan te geven dat het vakken betreft met zeer lage *Ensis* biomassa, die bij het bepalen van de effecten niet moeten worden meegenomen.

7.3.2 Ruimtelijke verdeling van de belangrijkste variabelen

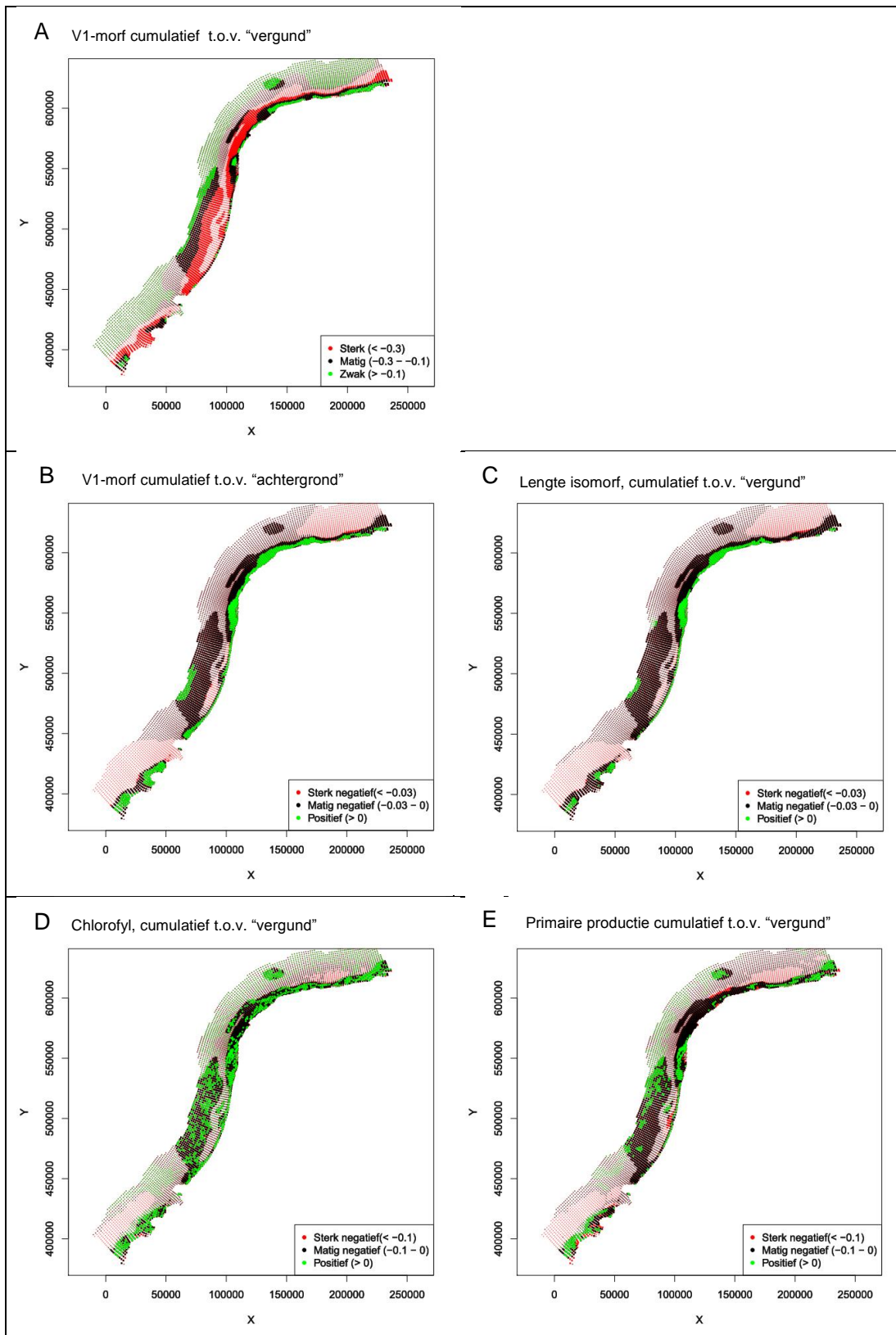
De ruimtelijke verdeling van de belangrijkste variabelen (lengte isomorfen, biomassa van de V1, chlorofylconcentratie, primaire productie) wordt weergegeven in Figuur 7.2. Relatief hoge biomassawaarden van de V1 worden gevonden in een strook langs de kust en in een zone voor de Hollandse Kust. De gebieden die op de figuur rood zijn ingekleurd, hebben een biomassa lager dan 0.1 gC/m^2 , en zijn in vele analyses verder buiten beschouwing gelaten. Het ruimtelijke patroon in de lengtegroei van de isomorf komt in grote lijnen overeen met het patroon in biomassa van de populatie, met enkele bijzondere uitzonderingen. De lengtegroei is relatief laag vlakbij de Waddenkust, en is relatief hoger dan de biomassa in de zone voor de Hollandse Kust. De variatie in de lengte van de isomorf is daarnaast ook veel kleiner dan de variatie in de V1 biomassa, die meerdere orden van grootte bedraagt. Ook de ruimtelijke patronen zijn veel minder uitgesproken. Het algemene ruimtelijke patroon in biomassa van de populatie, en in lengtegroei van de juvenielen, komt beter overeen met het ruimtelijke patroon in chlorofyl dan met het patroon in primaire productie. Transportprocessen van de geproduceerde algen door getijdenstroming en netto noordwaartse stroming spelen wellicht een rol in de bepaling van de voedselvoorziening van *Ensis*. Goede groeizones bevinden zich over het algemeen iets noordwaarts en kustwaarts van zones met hoge primaire productie, en ook is de verdeling van de groeizones minder patchy dan die van primaire productie.



Figuur 7.2 Ruimtelijke verdeling van a) biomassa van de V1 morf van *Ensis* (gC/m^2); b) lengte van de juveniele isomorf op 1 december (cm); c) chlorofylconcentratie in de onderste waterlaag (mg/m^3) d) primaire productie geïntegreerd over de waterkolom ($\text{gC}/\text{m}^2/\text{d}$). Alle gegevens zijn voor het Vergunde scenario in 2027. Behalve voor de lengte van de isomorf betreft het jaargemiddelden.

7.3.3 Ruimtelijke verdeling van relatieve scenario-effecten

De ruimtelijke verdeling van veranderingen als gevolg van scenario's zijn weergegeven in Figuur 7.3. In gebieden met zeer lage biomassa van de V1 zijn kleinere punten met transparante kleuren gebruikt, om aan te geven dat het hier gebieden betreft waar de veranderingen ecologisch niet zeer relevant zijn.



Figuur 7.3 a) relatief effect van het cumulatieve scenario op de V1 biomassa; b) relatief effect van het cumulatieve scenario (vergeleken met achtergrond) op de lengte van de isomorf; c) als b maar vergelijking tussen

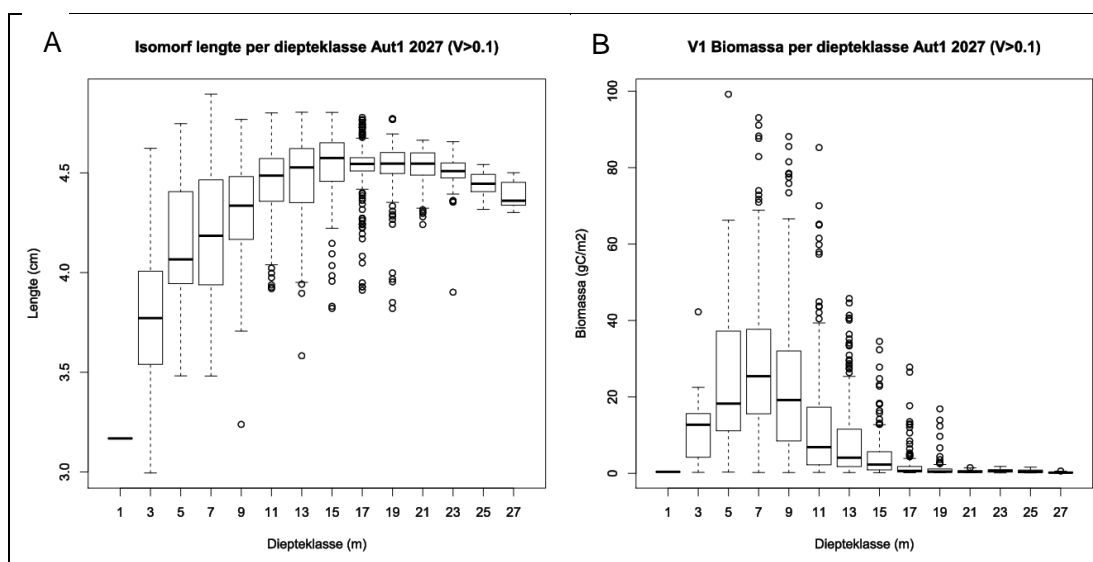
cumulatief en vergund scenario; d) relatief effect van cumulatief scenario op chlorofylconcentratie; e) relatief effect van cumulatief scenario op primaire productie

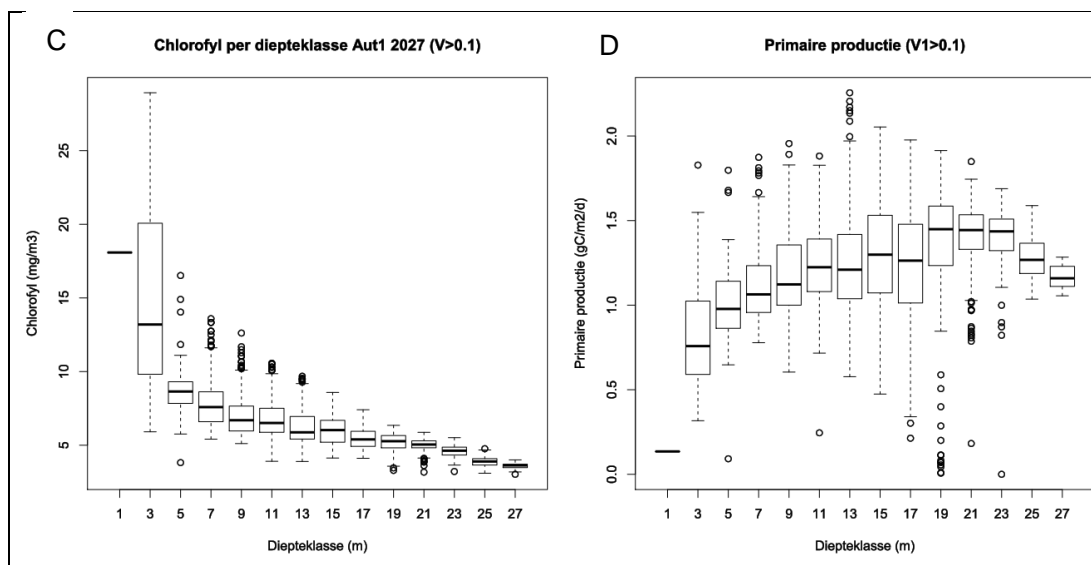
Het relatief effect van het cumulatieve scenario op de V1 biomassa neemt, globaal genomen, af van de kust naar zeewaarts. De enige uitzondering hierop vormen relatief ondiepe gebieden vlakbij de kust, waar de biomassa zeer hoog is en het relatief scenario-effect beperkt. De groei van de isomorfen vertoont een zeer verschillend beeld. Het kan opgemerkt worden dat de basis voor de vergelijking (achtergrond in Figuur 7.3b; Vergund in Figuur 7.3c) niet veel verschil maakt voor het patroon. Het relatief effect wordt sterker vanaf de kust zeewaarts. Sterke negatieve effecten worden alleen waargenomen in gebieden met zeer lage biomassa. In de kustnabije gebieden met een hoge V1 biomassa is het effect vaak positief: de lengtegroei neemt toe in het cumulatieve scenario. Scenario-effecten op chlorofyl zijn zeer klein en ruimtelijk variabel in de gebieden waar de V1 biomassa hoog is. Voor primaire productie overheersen in dit gebied de beperkt negatieve effecten (0 tot 10% vermindering), al komen ook hier plaatsen met een positief effect voor.

7.3.4 Diepte-afhankelijkheid van de variabelen

Voor de analyse van de diepteafhankelijkheid zijn alle cellen van het model ingedeeld in diepteklassen van 2 m. De klassen worden aangeduid met hun gemiddelde diepte. Het aantal cellen per diepteklasse is variabel. Merk op dat de klasse 0-2 m slechts één cel bevat, en dus heel weinig representatief is. Ook de klasse 2-4 m bestaat slechts uit een beperkt aantal cellen.

De kolomgeïntegreerde primaire productie (Figuur 7.4d) neemt zeewaarts toe met de diepte van de waterkolom en de hogere helderheid van het water, maar af met de verminderde nutriënten en de grotere ratio fotsche diepte / diepte. Daardoor wordt een zwak optimum gevonden bij een diepte van ongeveer 20 m. De chlorofylconcentratie (Figuur 7.4c) weerspiegelt de verdunning van een weinig variërende primaire productie in een steeds diepere waterkolom (afnemende trend met de diepte), maar de steilheid van die trend wordt waarschijnlijk verminderd door de sterkere graas in ondiepe gebieden. In de meest ondiepe klassen (0 - 4 m) is de concentratie maximaal, omdat hier weinig graas is. De biomassa van de V1 (Figuur 7.4b) toont een optimum rond 8 m diepte, waar de chlorofylconcentratie nog steeds hoog is, maar de slibconcentratie in het water beperkter dan in de zeer ondiepe wateren. De lengte van de isomorf is eveneens laagst in de meest ondiepe klassen (0-4 m), maar vertoont pas een optimum bij ongeveer 15 m diepte. Deze verschuiving in het optimum, in vergelijking met de V1 biomassa, is merkwaardig en wordt verderop nader toegelicht.

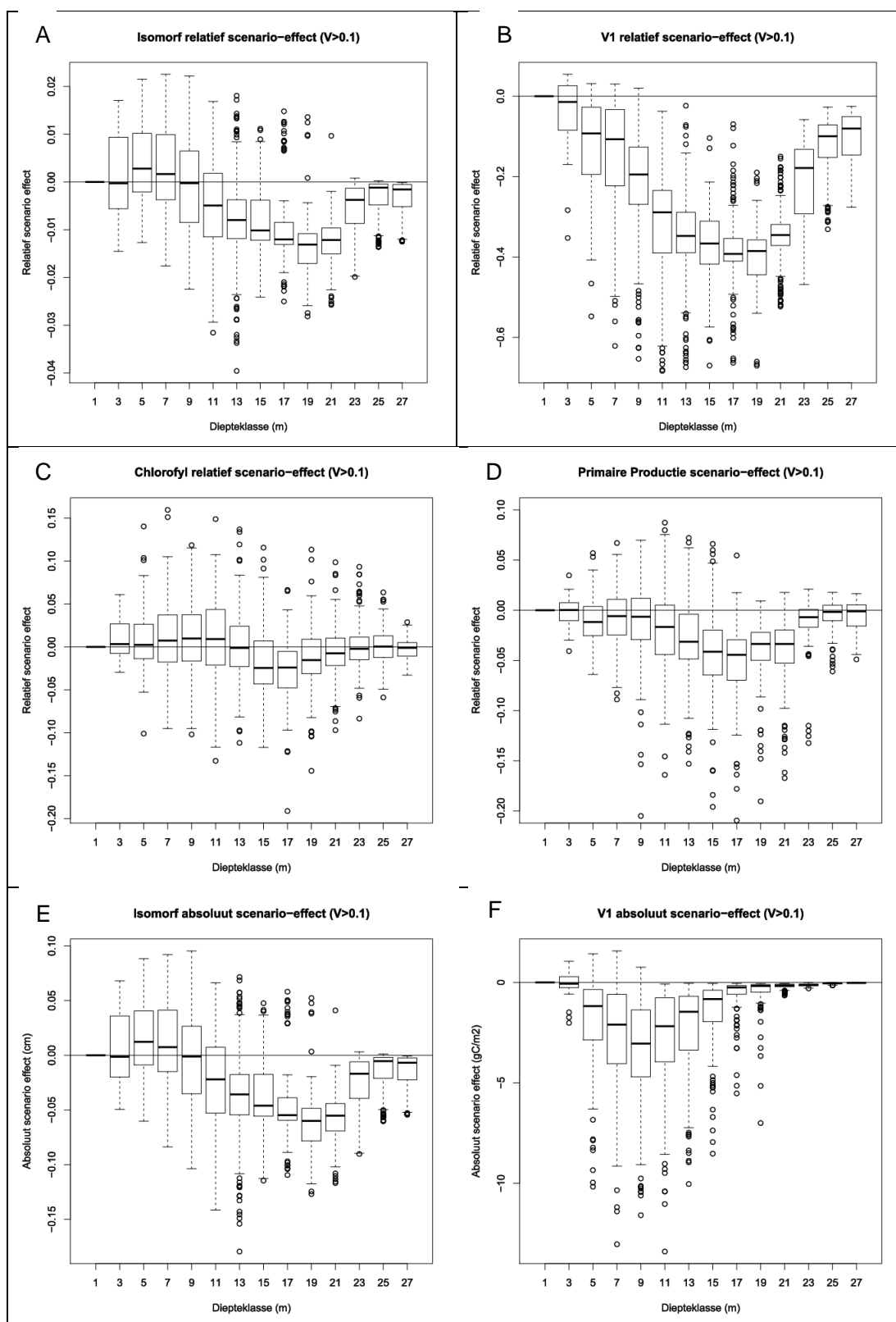




Figuur 7.4 Relatie tussen de diepte (in klassen van 2 m) en a) de lengte van de isomorfen; b) de biomassa van de V1; c) de chlorofylconcentratie in de onderste waterlaag; d) de primaire productie in de waterkolom. Alle waarnemingen voor het vergunde scenario en beperkt tot zones met een relatief hoge V1 biomassa ($V1 > 0.1 \text{ gC/m}^2$).

Het scenario-effect (cumulatief t.o.v. vergund) op de verschillende variabelen wordt getoond in Figuur 7.5. Voor de *Ensis* variabelen wordt zowel het relatief als het absoluut scenario-effect getoond. Het relatief effect van het cumulatieve scenario op de groei van de isomorfen (Figuur 7.5a) is neutraal tot positief in de dieptezone 0-10 m, en is negatief in de daarop volgende 14 m, waarna het opnieuw neutraal wordt. Het effect op de V1 (Figuur 7.5b) is overall negatief, maar de sterkte van het effect bereikt een piek op een diepte van ongeveer 20 m. Dit is ook de dieptezone waar het scenario het meest rechtstreeks ingrijpt op de ecologie. In de zone waarin de biomassa maximaal is (2-12 m, Figuur 7.4b) is het gemiddeld effect ongeveer half zo groot als in de diepere zone van 14-22 m. Het effect op chlorofyl (Figuur 7.5c) is relatief beperkt en opvallend is dat het in de ondiepere zone (0-12 m) positief is. Het dieptepatroon van isomorfenlengte (Figuur 7.5a) en chlorofylconcentratie (Figuur 7.5c) is gelijkaardig, niet alleen in verloop maar ook in grootte. Het diepteverloop van effecten op de V1 biomassa (Figuur 7.5b) lijkt veel sterker op het verloop van het effect op de primaire productie (Figuur 7.5d), met zwakker negatieve effecten in de 0-12 m zone, en sterkste effecten in de 14-22 m zone.

Het relatieve scenario-effect op de groei van de isomorfen is veel kleiner dan op de biomassa van de V1 (orde -2 % maximaal vs -40% - zie figuur). Het effect is maximaal bij grotere diepte (18 m), wat vergelijkbaar is met het maximaal negatieve effect op de V1.



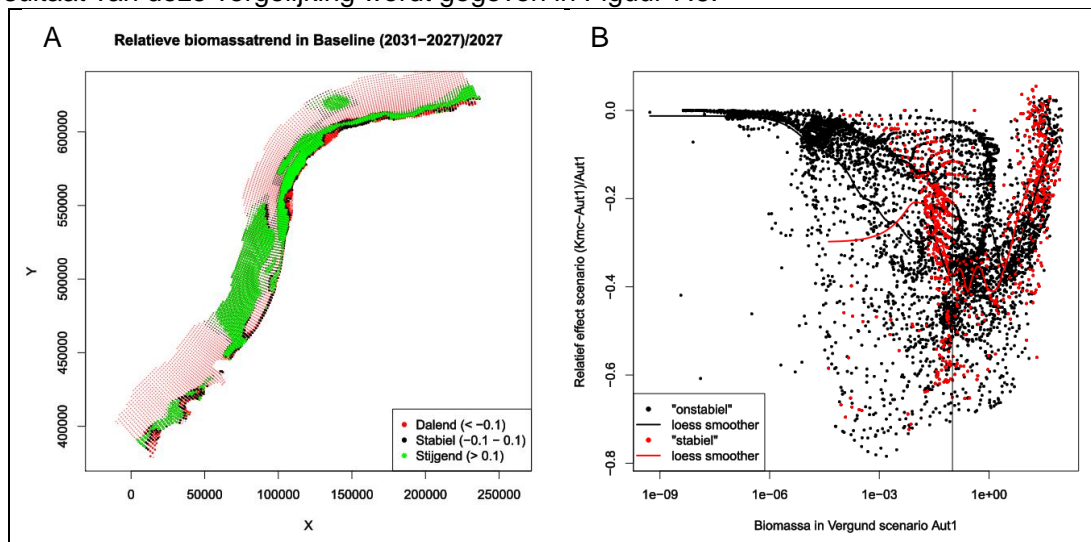
Figuur 7.5 Scenario-effect van het cumulatieve scenario ten opzichte van het vergunde scenario. a) relatief effect op de lengte van isomorfen; b) relatief effect op de biomassa van de V1; c) relatief effect op chlorofyl; d) relatief effect op primaire productie; e) absoluut effect op de lengte van de isomorfen; e) absoluut effect op de biomassa van de V1. Alle berekeningen gebaseerd op het jaar 2027

Het diepte-profiel van absolute scenario-effecten voor isomorfenlengte (Figuur 7.5e) is gelijkaardig aan het verloop van de relatieve effecten (Figuur 7.5a), maar dit is niet het geval voor de V1 biomassa, die een veel grotere variatie met diepte vertoont in de biomassa (vergelijk Figuur 7.4 met Figuur 7.4a). Die grootste absolute effecten op de populatiebiomassa worden voorspeld in de zone 4-14 m, waar zich ook de grootste biomassa bevindt.

De gemiddelde waarde van biomassa en isomorflengte per diepteklasse, de bijdrage van de verschillende diepteklassen aan de totale populatie, en het relatieve scenario-effect per diepteklasse, wordt ook numeriek weergegeven in Tabel D.10 (Appendix D.6).

7.3.5 Belang van inspeleeffecten

Het relatieve belang van inspeleeffecten voor de kwantificering van de scenario-effecten, is onderzocht door voor ieder punt te berekenen in welke mate de V1 biomassa evenwicht had bereikt. Door het relatieve verschil in biomassa tussen het jaar 2031 en het jaar 2027 te berekenen, kon onderzocht worden of deze trend een relatie vertoont met het scenario-effect. Het resultaat van deze vergelijking wordt gegeven in Figuur 7.6.



Figuur 7.6 a) ruimtelijk patroon van de trend in V1 biomassa. Punten in cellen waar de biomassa van de V1 laag is (<math>< 0.1 \text{ gC/m}^2</math>) zijn klein en in transparante kleuren weergegeven. b) Relatie tussen de sterkte van het scenario-effect op de V1 biomassa, en de biomassa V1 in het vergunde scenario. Er is in de kleuren een onderscheid gemaakt tussen relatief 'stabiele' punten (<math>-0.1 < \text{trend} < 0.1</math>) en onstabiele punten (sterk dalende of stijgende trend). Het verloop van beide puntenwolken is niet essentieel verschillend, zoals aangeduid door de twee smootherlijnen.

De trend in V1 biomassa is, voor de gebieden met relatief hoge biomassa, bijna overall positief. De populatie speelt nog in. Dat is niet het geval in de gebieden dicht bij de kust met zeer hoge biomassa van de V1. In die optimale gebieden is de populatie min of meer ingespeeld, en vertoont ze een zwak negatieve of positieve trend.

Figuur 7.6b geeft geen aanleiding om te denken dat de sterkte van het scenario-effect sterk varieert met de mate waarin een populatie is ingespeeld. Er is geen fundamenteel verschil te vinden tussen het verloop van de 'stabiele' en 'onstabiele' punten. Wel toont de figuur dat de sterkte van het scenario-effect varieert met de V1 biomassa. Hoge biomassa's vertonen relatief weinig scenario-effect. Intermediaire biomassa's, tussen ongeveer 0.1 gC/m^2 (de

verticale lijn in Figuur 7.6) en 1-10 gC/m² hebben het sterkste effect. Waar de biomassa zeer laag is (meestal zeewaarts gelegen gebieden), is het scenario-effect gewoonlijk ook kleiner.

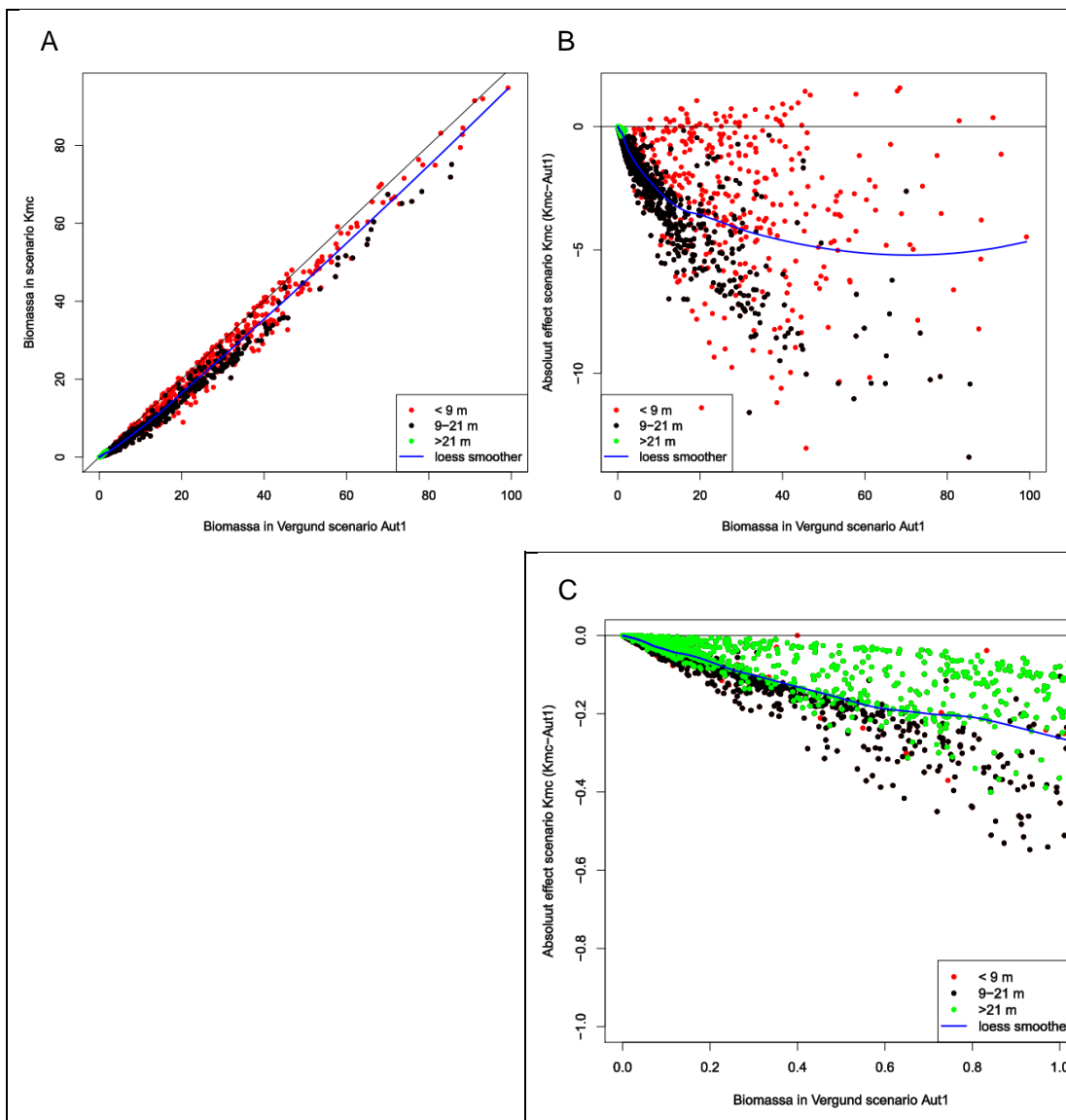
7.3.6 Belang van dichtheidsafhankelijke beperking

Het is opvallend in Figuur 7.6 dat er een relatie is tussen biomassa van de V1 en sterkte van het scenario-effect. Verder is opvallend in Figuur 7.5 dat het scenario-effect op de groei van isomorfen en op chlorofyl een positieve mediaan heeft in de ondiepe zone. Beide patronen suggereren dichtheidsafhankelijke processen, die hier nader worden onderzocht.

Figuur 7.7a toont de relatie tussen de V1 biomassa in het vergunde en cumulatieve scenario. De insets in Figuur 7.7b en Figuur 7.7c illustreren de data verder, als verschilplot van alle data in Figuur 7.7b, en met aandacht voor de laagste biomassa's in Figuur 7.7c.

Voor lage biomassa treedt er een ongeveer proportionele vermindering op. Deze vermindering neemt echter niet meer substantieel toe vanaf ongeveer een biomassa van 20 gC/m², en blijft constant op ongeveer -5 gC/m². Deze afvlakking kan door meerdere oorzaken worden verklaard. Enerzijds is er de correlatie met het ruimtelijke patroon van verstoring door het scenario. Deze treedt vooral in de dieptezone tussen ongeveer 12 en 25 m op, en deze zone heeft meestal intermediaire biomassa. De hoogste biomassawaarden worden gevonden in de ondiepere kustnabije zone, waar de verstoring wordt aangevoerd door de stroming, maar minder sterk is. Dat blijkt ook uit de kleinere scenario-effecten op primaire productie (Figuur 7.5c).

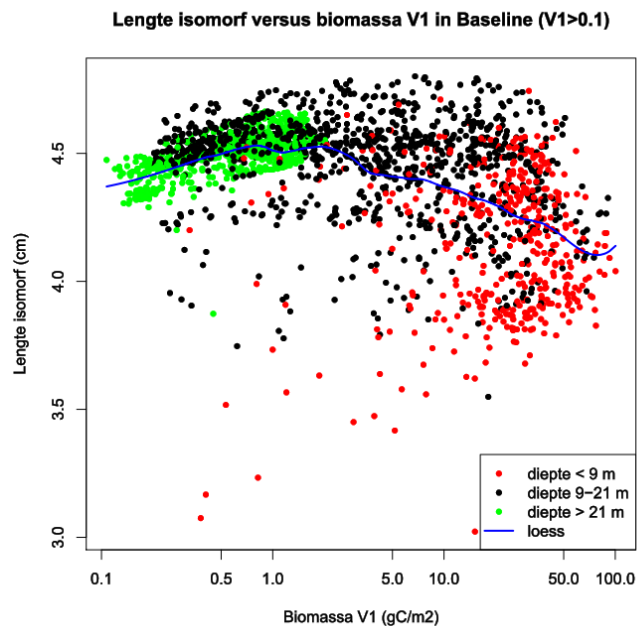
Toch zien we dat binnen de dieptegroepen, zowel 0-9 m als 9-21 m, de afvlakking van het effect met toenemende biomassa voorkomt (Figuur 7.7b). Wellicht draagt ook dichtheidsafhankelijke regulering bij aan deze afvlakking. Waar de biomassa van *Ensis* hoog is, wordt de lokale hoeveelheid voedsel beperkt door de graas. Als de biomassa door een verandering (bv. een scenario) vermindert, dan zal ook de controle op het voedsel verminderen. Er komt voor de overblijvende biomassa meer voedsel per dier beschikbaar, en daardoor kan de groei verbeteren. Uiteindelijk ontstaat hierdoor een nieuw evenwicht. Dit mechanisme is sterkst waar de biomassa het hoogst is, en zal daardoor de relatieve vermindering op plaatsen met hoge biomassa beperkt houden. Op plaatsen met minder biomassa is het mechanisme onbelangrijk, en treedt een proportionele vermindering van biomassa op als de omstandigheden met een zekere factor verslechteren.



Figuur 7.7 Relatie tussen de V1 biomassa in het vergunde scenario en het cumulatieve scenario. a) als x-y plot van beide variabelen. De smoother is een 'locally weighted regression' (loess) die de trend in de puntenwolk weergeeft; b) als verschil Kmc-Aut1 versus Aut 1 (alle data); c) als verschilplot, beperkt tot de lage biomassawaarden. De kleurcodering geeft de dieptezone van de waarden weer. Alle waarden zijn voor modeljaar 2027.

De relatie tussen biomassa en scenario-effect is verschillend voor de twee dieptezones (beperkt in de diepere offshore zone dan in de kustnabije, maximaal verstoorde zone), maar binnen elke groep is de relatie ongeveer lineair.

Verdere aanwijzingen voor dichtheidsafhankelijke regulering worden gevonden in de relatie tussen de lengte van de isomorf en de biomassa van de V1 (Figuur 7.8). Over de verschillende diepteklassen wordt een relatie gevonden met een optimum bij een intermediaire biomassa van de V1. Deze figuur is opgesteld voor het achtergrond-scenario, zodat er geen interferentie is van diepte-afhankelijke verstoring. Als we ervan uitgaan dat de beste groeiomstandigheden voor *Ensis* worden geïndiceerd door de hoogste V1 biomassa, dan is de beste verklaring voor de lagere groei van de isomorf bij deze hoge biomassawaarden, beperking door concurrentie van de aanwezige populatie.



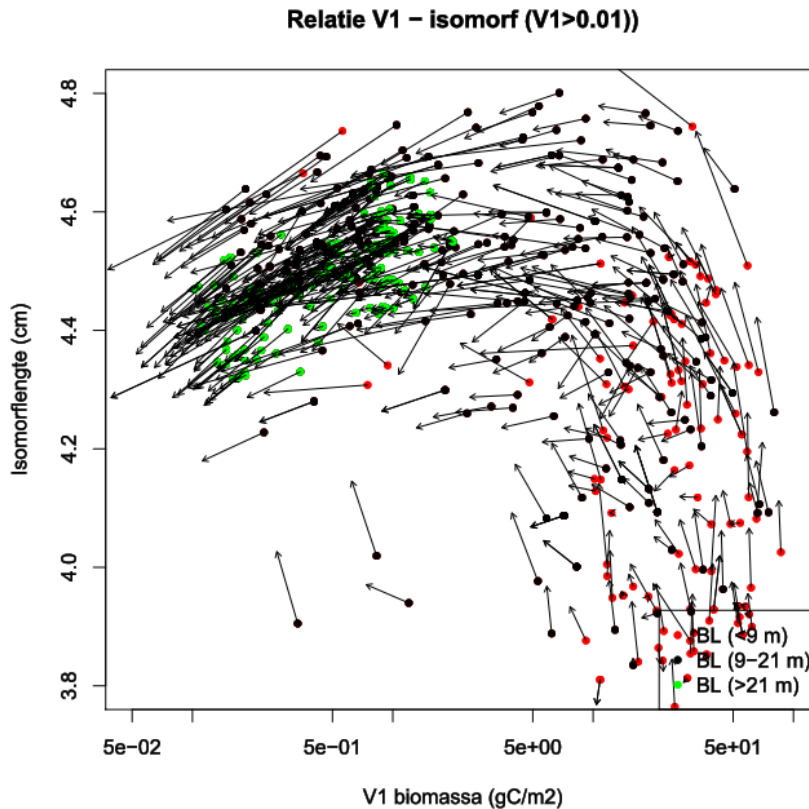
Figuur 7.8 Relatie tussen de groei van de isomorf, en de biomassa van de V1. De verschillende dieptezones zijn aangegeven met kleurcodering. De loess-smoother geeft het algemene patroon in de puntenwolk weer. De waarden zijn gebaseerd op het achtergrond scenario in modeljaar 2027.

Wellicht kan dichtheidsafhankelijke regulering van de isomorfengroei de positieve scenario-effecten in de ondiepe zone mee verklaren. Deze mogelijkheid is verder onderzocht in Figuur 7.9, die scenario-effecten en onderlinge afhankelijkheid van V1 en isomorf tegelijk voorstelt. In de figuur wordt in een fasevlak (lengte isomorf versus biomassa V1) zowel het achtergrond als het cumulatieve scenario geplot. Per cel in het model is een pijl getekend van het achtergrond naar het cumulatieve scenario, zodat de verandering door het scenario kan worden gevolgd. De kleurcodering geeft de dieptezone weer. Voor de duidelijkheid bevat de figuur slechts een random sub-set van alle punten.

Het overheersende patroon van de pijlen in deze figuur geeft een helder beeld van de verschillende afhankelijkheden. We zien dat de V1 overal achteruitgaat door het cumulatieve scenario (alle pijlen wijzen naar links, dus naar lagere V1). Het relatieve effect op de V1 is echter niet overal even sterk (merk op dat de figuur logaritmische assen heeft - bij gelijk relatief effect zijn de pijlen in een bepaalde richting van gelijke lengte). Het relatieve effect van het scenario op hoge V1 is kleiner dan op lagere V1: de pijlen gaan minder ver naar links in het rechterdeel van de figuur dan in het linkerdeel.

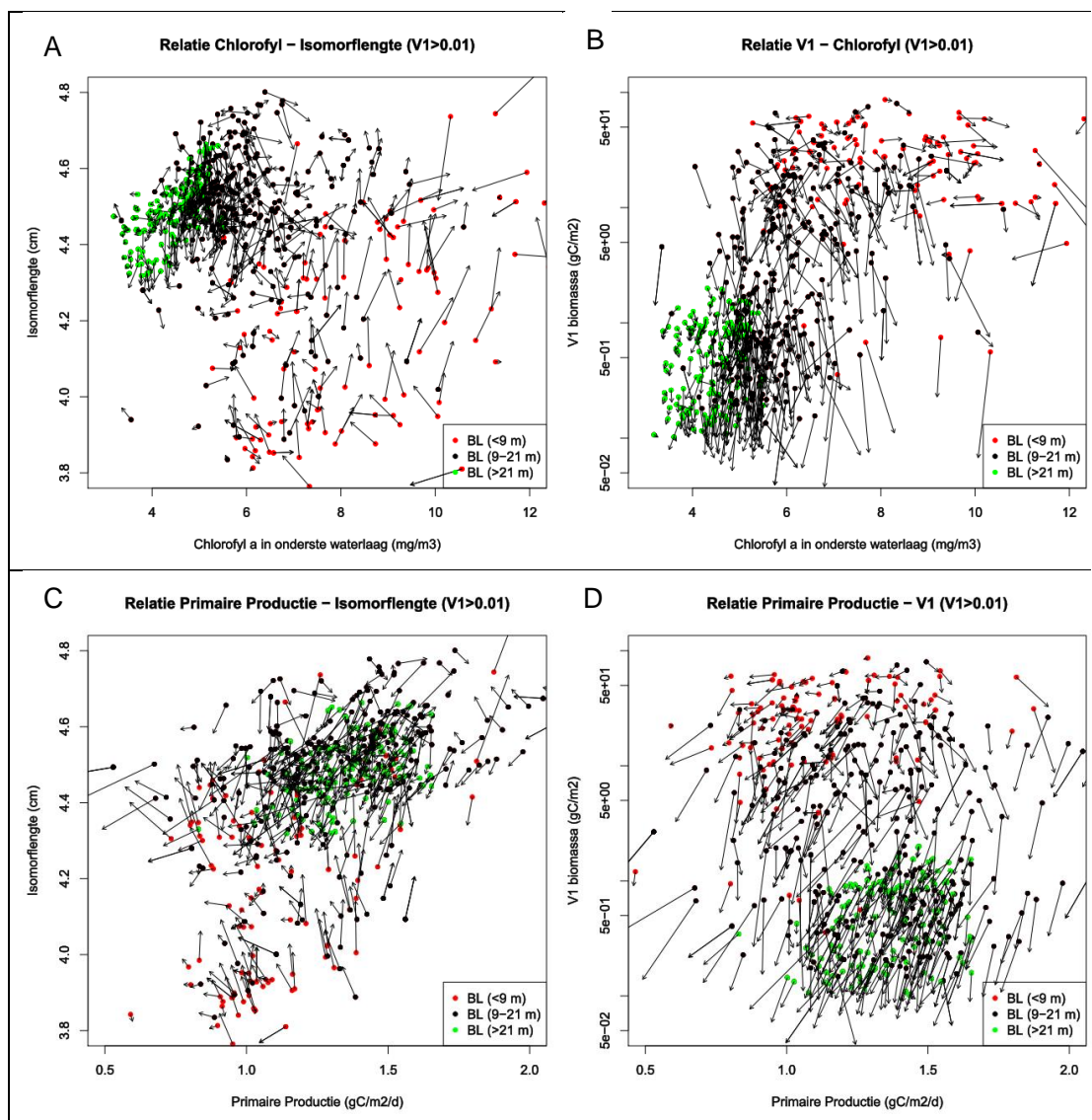
Voor wat betreft de isomorf zien we dat bij hoge biomassa van de V1, de meeste pijlen naar boven wijzen: in deze punten verhoogt de groei van de isomorf als gevolg van het scenario. Bij gemiddelde biomassa van de V1 draaien de pijlen, en bij lage biomassa van de V1 is er een algemene daling van de groei van de isomorfen door het cumulatieve scenario. Wij interpreteren deze resultaten als het gevolg van enerzijds groeibeperking van de isomorf bij hoge biomassa van de V1, en anderzijds een relatief sterker scenario-effect op de biomassa van de V1 dan op de groei van de isomorf. Wanneer het scenario leidt tot een biomassavermindering van de V1 in omstandigheden dat deze de groei van de isomorf beperkt, is de afname van concurrentie relatief belangrijker dan de vermindering van voedsel door het scenario, en neemt de isomorf in lengte toe. Waar de beperking van de groei door concurrentie klein is (lage V1 biomassa), is het scenario-effect op voedsel dominant en vermindert de groei van de isomorf. De verschillende dieptezones overlappen slechts gedeeltelijk qua biomassa van de V1, maar vormen samen een coherent patroon. Binnen een

biomassaklasse van de V1 is er geen duidelijk waarneembaar verschil tussen de pijlen van de verschillende dieptezones.



Figuur 7.9 Verandering in biomassa van V1 en lengte van de isomorf als gevolg van het cumulatieve scenario, vergeleken met de achtergrond. De pijlen vertrekken van een koppel (V1, lengte) in een modelcel van het achtergrond scenario, en wijzen naar het koppel (V1, lengte) van dezelfde cel in het cumulatief scenario. De kleurcodering geeft de dieptezone aan. Alle waarden zijn voor het modeljaar 2027.

De veranderingen in V1 en isomorfgroei als gevolg van het cumulatieve scenario worden nader geanalyseerd in Figuur 7.10, waarin ze worden uitgezet tegenover veranderingen in chlorofyl en primaire productie. De figuur is opgebouwd op dezelfde wijze als Figuur 7.9. Ze levert een gemengd beeld op over de relatieve invloed van de forcerende variabelen. Voor de V1 biomassa zien we dat deze, globaal genomen, beter correleert met chlorofyl dan met primaire productie, wat ook op basis van ruimtelijke patronen eerder was geconcludeerd. Maar de veranderingen door het scenario (de pijlen in de figuur) geven een ander beeld. Uit Figuur 7.10b blijkt dat de chlorofylconcentratie slechts zeer beperkt vermindert door het scenario. De pijlen lopen essentieel verticaal naar beneden: de V1 vermindert, terwijl de chlorofylconcentratie zo goed als ongewijzigd blijft. Dit kan mede worden verklaard door de terugkoppeling van graas op de concentratie van het chlorofyl.



Figuur 7.10 Verandering in biomassa V1 en lengte van de isomorf door het cumulatieve scenario, vergeleken met achtergrond. a) lengte isomorf versus chlorofyl; b) V1 biomassa versus chlorofyl; c) lengte isomorf versus primaire productie; d) V1 biomassa versus primaire productie. Zie Figuur 7.9 voor de opbouw van de figuur.

Het beeld is heel verschillend voor de relatie met primaire productie (Figuur 7.10d). We zien dat er overall nauwelijks een correlatie (op niveau van cellen) is tussen lokale primaire productie en V1 biomassa, maar dat de pijlen allemaal min of meer parallel naar schuin links lopen: beide variabelen verminderen simultaan door het scenario. De pijlen zijn het sterkst voor de intermediaire diepteklasse, en relatief kort voor zowel de ondiepe (rode) als de diepe (groene) punten. De combinatie van beide figuren suggereert dat de V1 biomassa voornamelijk afneemt door een gemeenschappelijke, en ruimtelijk heterogene, externe factor. Dit kan de ruimtelijk variabele toename van gesuspendeerd materiaal zijn, die via het licht de primaire productie beïnvloedt, en via de fysiologie de organismen. Er is echter ook een rechtstreekse causale lijn van primaire productie naar biomassa van de V1, via het voedsel. Zoals eerder opgemerkt is er weinig directe ruimtelijke correlatie tussen primaire productie en V1 biomassa, als gevolg van transportprocessen. Toch is het duidelijk dat het voedsel niet aanwezig kan zijn (in het model) zonder primaire productie in de nabijheid.

Voor isomorfen is het beeld veel complexer. De pijlen in Figuur 7.10a en Figuur 7.10c vertonen weinig samenhang. Hun verloop wordt veel beter beschreven als effecten in relatie tot de V1 biomassa worden beschouwd (Figuur 7.9), dan als een rechtstreeks effect van chlorofyl of primaire productie.

7.3.7 Inschatting van ruimtelijk gemiddeld effect

We hebben aangetoond dat de sterkst negatieve invloeden op de groei van de isomorfen zijn voorspeld in zones die voor de soort van weinig of geen belang zijn, zoals blijkt uit de extreem lage biomassa's daar.

Om tot een verantwoorde inschatting van het effect van de scenario's op de populatie van *Ensis* in de Noordzee te komen stellen we daarom voor om de berekening alleen uit te voeren voor die ecovakken waarin voldoende cellen een biomassa $> 0.1 \text{ gC/m}^2$ hebben. Als criterium hebben we gehanteerd dat $>10\%$ van de cellen hieraan moeten voldoen, met een minimum van 30 cellen.

Tabel 7.1 vergelijkt de ruimtelijk gewogen gemiddelde biomassa van de V1 per ecovak, berekend volgens deze procedure, met het gemiddelde berekend op alle cellen. Tabel 7.2 toont dezelfde berekening voor de lengte van de isomorf.

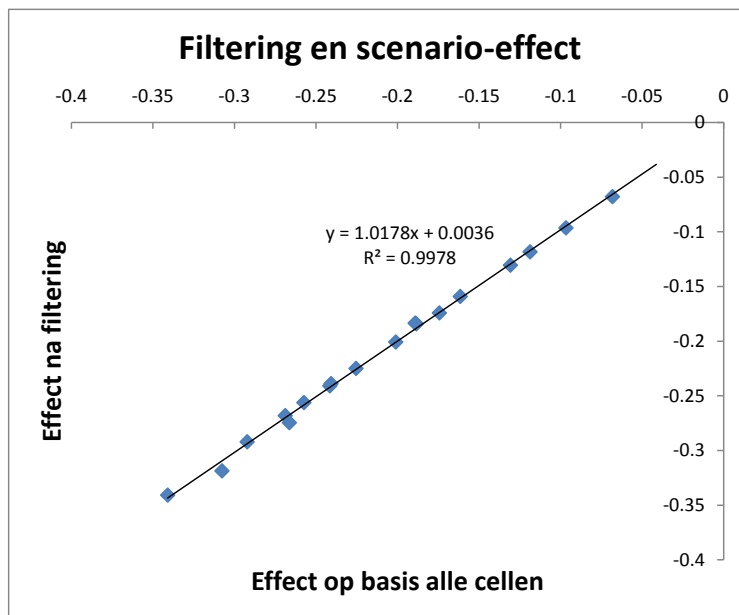
Tabel 7.1 Vergelijking van de gemiddelde biomassa van de V1 voor drie scenario's, berekend op basis van (links) alle cellen, en op basis van enkel die cellen met biomassa > 0.1 gC/m² (rechts).

Vak	Alle cellen			V1 > 0.1 gC/m ²		
	Achtergr	Vergund	Cumulatief	Achtergr	Vergund	Cumulatief
VlaktevanRaan1k	8.3	6.9	5.2	12.7	10.5	8.0
VlaktevanRaan1z	0.0	0.0	0.0			
Voordelta1k	8.8	6.5	4.6	12.7	9.4	6.6
Voordelta1z	0.0	0.0	0.0			
Voordelta2k	2.5	2.0	1.7			
Voordelta2z	0.0	0.0	0.0			
HollandseKustboog1k	6.0	3.8	2.5	7.2	4.6	3.0
HollandseKustboog1z	0.1	0.1	0.0	0.4	0.3	0.2
HollandseKustboog2k	2.3	1.9	1.6	4.3	3.5	3.0
HollandseKustboog2z	1.0	0.9	0.7	1.0	0.9	0.7
HollandseKustboog3k	3.4	2.7	2.2	7.1	5.7	4.6
HollandseKustboog3z	0.8	0.7	0.5	0.8	0.7	0.5
NZKustzone1k	9.7	8.3	6.5	12.7	10.9	8.5
NZKustzone1z	0.5	0.4	0.3	0.8	0.7	0.5
NZKustzone2k	13.8	12.8	11.2	14.4	13.4	11.6
NZKustzone2z	0.0	0.0	0.0			
NZKustzone3k	17.4	15.6	12.4	17.4	15.6	12.4
NZKustzone3z	0.1	0.1	0.0	0.3	0.2	0.2
NZKustzone4k	14.6	14.1	12.7	18.9	18.2	16.5
NZKustzone4z	0.1	0.1	0.0	0.3	0.3	0.2
NZKustzone5k	8.6	8.0	7.1	16.8	15.7	13.9
NZKustzone5z	0.0	0.0	0.0			
NZKustzone6k	16.3	16.1	15.0	20.3	20.0	18.6
NZKustzone6z	1.1	1.0	0.7	5.6	5.0	3.7

Tabel 7.2 Vergelijking van de isomorfenlengte voor drie scenario's, berekend op basis van (links) alle cellen, en op basis van enkel die cellen met biomassa > 0.1 gC/m² (rechts).

Vak	Alle cellen			V1 > 0.1 gC/m ²		
	Achtergr	Vergund	Cumulatief	Achtergr	Vergund	Cumulatief
VlaktevanRaan1k	4.48	4.50	4.38	4.58	4.62	4.57
VlaktevanRaan1z	2.74	2.68	2.35			
Voordelta1k	4.35	4.39	4.32	4.42	4.49	4.47
Voordelta1z	3.05	3.00	2.74			
Voordelta2k	4.15	4.01	3.89			
Voordelta2z	3.91	3.89	3.78			
HollandseKustboog1k	4.44	4.48	4.44	4.50	4.55	4.50
HollandseKustboog1z	4.34	4.34	4.32	4.48	4.48	4.45
HollandseKustboog2k	4.37	4.37	4.29	4.52	4.53	4.48
HollandseKustboog2z	4.57	4.58	4.56	4.58	4.58	4.56
HollandseKustboog3k	4.41	4.42	4.32	4.44	4.47	4.40
HollandseKustboog3z	4.53	4.53	4.48	4.54	4.54	4.49
NZKustzone1k	4.45	4.47	4.44	4.54	4.56	4.54
NZKustzone1z	4.41	4.41	4.37	4.47	4.47	4.44
NZKustzone2k	4.38	4.40	4.39	4.41	4.43	4.41
NZKustzone2z	4.07	4.07	4.04			
NZKustzone3k	4.37	4.40	4.39	4.37	4.40	4.39
NZKustzone3z	4.21	4.21	4.17	4.42	4.42	4.36
NZKustzone4k	4.08	4.10	4.08	4.10	4.12	4.13
NZKustzone4z	4.26	4.26	4.21	4.43	4.44	4.41
NZKustzone5k	3.97	3.97	3.86	4.25	4.26	4.22
NZKustzone5z	3.52	3.51	3.28			
NZKustzone6k	4.00	3.99	3.90	4.07	4.08	4.04
NZKustzone6z	3.92	3.91	3.67	4.42	4.42	4.37

De schatting van de ruimtelijk gemiddelde biomassa en (in veel beperkter mate) de lengte van de isomorf verschilt afhankelijk van de filtering. Bij filtering wordt immers alleen een gemiddelde berekend over die cellen die een relatief hoge biomassa hebben. De berekening van de scenario-effecten wordt hierdoor echter nauwelijks beïnvloed. Figuur 7.11 toont de correlatie van het effect van het cumulatieve scenario tegenover het vergund scenario voor beide berekeningswijzen. De correlatie is zeer hoog, met intercept zeer dicht bij 0 en helling zeer dicht bij 1. Er kan worden geconcludeerd dat de filtering geen wezenlijk effect heeft op de schatting van de scenario-effecten, en dat dus de berekeningen per ecovak voor alle scenario's en jaren, die elders worden gegeven, als leidraad voor het inschatten van effecten kunnen worden gebruikt. Uit de kaartbeelden van Figuur 7.3 kan echter worden afgeleid dat dit niet geldt voor de ecovakken met zeer lage biomassa. Voor die ecovakken geven wij er de voorkeur aan geen schatting te geven. De ecologische relevantie van die schattingen is immers uiterst beperkt.



Figuur 7.11 Correlatie tussen de schatting van het scenario-effect van cumulatief t.o.v. vergund op basis van alle cellen in de ecovakken, en op basis van enkel de cellen met relatief hoge biomassa. Alleen ecovakken met voldoende cellen met hoge biomassa zijn gebruikt.

7.3.8 Inschatting van de ecologische effecten

Onze analyses hebben aangetoond dat de juveniele isomorfen relatief weinig invloed ondervinden in hun groei van het scenario, en dat bovendien in een aanzienlijk deel van hun verspreiding dichtheidsafhankelijke effecten worden waargenomen. Op plaatsen met een hoge biomassa van de V1 zijn de effecten op de groei van de isomorf zelfs positief. In algemene zin is deze observatie coherent met de gevoeligheidsanalyse van het DEB model, waaruit eveneens bleek dat grotere dieren gevoeliger zijn voor verslechtering van de groeiomstandigheden dan kleinere dieren.

In een leeftijdsgestructureerde populatie in de natuur kan dus verwacht worden dat bij verslechtering van de groeiomstandigheden (meer slib, minder primaire productie en dus minder voedsel) de leeftijdsopbouw van de populatie zal verschuiven in de richting van een groter aandeel kleinere dieren, en een afnemend aandeel grotere dieren. Er zal echter voor de populatie als geheel, inclusief de juvenielen, een terugkoppeling met voedsel optreden. Onze modelberekeningen van de V1 biomassa overschatten dus het effect op de populatie,

door aan te nemen dat de gehele populatie bestaat uit de gevoeligste grote dieren. Tegelijk onderschatten de berekeningen aan de lengtegroei van de juveniele isomorf het effect op de juvenielen, omdat voor de isomorf geen terugkoppeling met het voedsel in het model zit. Het verwachte effect op de populatie zal tussen beide uitersten (hoog effect op de populatie als geheel, laag of geen effect op de juvenielen) in zitten.

Het relatieve belang van de terugkoppeling (dichtheidsafhankelijkheid) varieert over de verschillende dieptezones. In de diepere strata (>21 m) speelt het nauwelijks een rol; hier is de schatting van het scenario-effect op zowel juvenielen als V1 biomassa klein, maar ook de populatiebiomassa is klein en de ecologische effecten van de scenario's zijn dus beperkt. In de intermediaire strata (9-21 m) zijn de scenario-effecten op zowel V1 als isomorf maximaal, maar de biomassa is intermediair. In de ondiepe strata (<9 m) zijn de geschatte scenario-effecten op de V1 beperkter, en dit is bovendien de zone met maximale V1 biomassa. De geschatte effecten op de isomorf zijn hier neutraal of zelfs positief, maar dit kan vooral verklaard worden als een gevolg van de gebrekkige inschatting van dichtheidsafhankelijkheid in de huidige modelopzet.

Ecologisch gesproken kan een verandering in de populatie van *Ensis* (die hier model staat voor alle filtrerende schelpdieren) effect hebben op twee verschillende belangrijke oorzaak-effectketens. Ten eerste hebben filtrerende schelpdieren een belangrijke invloed op de nutriëntencycli en primaire productie in een ecosysteem. Filtratie leidt tot het onmiddellijk recyclen van een groot deel van de nutriënten die in de algen zijn opgenomen (een relatief klein deel wordt in de biomassa van de filtreerder opgeslagen). Voor andere benthische processen, zoals voedselopname door detritivoren en bacteriële afbraak, komen de algen eerst in een detrituspool, waaruit ze relatief langzaam worden opgenomen. Hierdoor is de nutriëntenrecyclage vertraagd in vergelijking met de processnelheden bij filtratie. Als een gevolg hiervan kan een toename van filtratie leiden tot een relatieve verhoging van de primaire productie, omdat dezelfde nutriënten vaker kunnen worden gerecycleerd binnen een seizoen. Het ecologisch functioneren van het kuststelsel wordt dus beïnvloed door het relatieve belang van filtratie als opnameproces van algen. Als dit proces als gevolg van vertroebeling wordt verminderd in belang, dan heeft dat in principe ecologische gevolgen voor het systeem als geheel. Maatgevend voor dit type effect is de activiteit van de filtreerders, die ongeveer proportioneel is met hun biomassa. Verschuiving in de leeftijdsstructuur van de filtreerders leidt echter tot een relatieve toename van activiteit per eenheid biomassa. Voor wat betreft scenario-effecten op filtreerders langs de Nederlandse kust, kunnen we concluderen dat de modelschattingen van de effecten op de V1 biomassa dus een overschatting zullen vormen van het effect op het functioneren van het ecosysteem, omdat zeer gevoelige grote dieren zijn gemodelleerd en aangenomen kan worden dat in de natuur de leeftijdsverdeling naar kleinere dieren zal verschuiven. Hoe groot de overschatting is, valt moeilijk te berekenen. Een zeer ruwe schatting, gebaseerd op expert judgement en de gevoeligheidsanalyses op de DEB parameters (Van der Kaaij et al, bijlage D), is dat het werkelijke effect eerder op 2/3 van het berekende effect zal vallen. Geïntegreerd over de Nederlandse kustzone is onze modelschatting van het effect van cumulatief t.o.v. vergund ongeveer -16%. Een voorzichtige inschatting van het effect op leeftijdsgestructureerde populaties zal hieronder liggen, in de orde van 10%.

Voor schelpdieretende duikeenden (zoals de zwarte zee-eend), is het effect waarschijnlijk kleiner omdat de prooien van de vogels voornamelijk uit 0- en 1-jarige *Ensis* bestaan. Als we ervan uitgaan dat de modelschatting van het effect op de groei van isomorfen met name in de zone van hoge biomassa mede door dichtheidsafhankelijke effecten wordt bepaald, en als we verder rekening houden met het feit dat ook 1-jarige *Ensis* belangrijk zijn, moeten we concluderen dat de effectschatting op de isomorfen een onderschatting geeft van het

werkelijke effect op juveniele *Ensis*. Anderzijds zal het effect onder de orde grootte 10% voor de adulten liggen. Waar precies het effect in die vork te situeren is, is zeer moeilijk uit te maken op basis van de voorhanden resultaten. Een zeer ruwe schatting zou orde grootte 5 % liggen.

7.4 Conclusies

Het feit dat de populatie nog niet overall is ingespeeld, heeft waarschijnlijk een beperkt of geen effect op de inschatting van het scenario-effect. Er werd geen correlatie vastgesteld tussen de sterkte van het scenario-effect, en de mate waarin de populatie nog naar een evenwicht tendeeft. Deze factor werd in latere beschouwingen niet verder meegenomen.

Scenario-effecten op de V1 zijn proportioneel tot de aanwezige biomassa voor lagere biomassa's, maar vanaf ongeveer 10-20 gC/m² neemt het scenario-effect niet meer toe met de biomassa. Daardoor wordt het relatief effect kleiner met toenemende biomassa. Dit is gedeeltelijk een effect van ruimtelijke correlatie, omdat de maximale effecten op het ecosysteem voorkomen op plaatsen (dieptes) waar de biomassa niet bijzonder hoog is. Gedeeltelijk is het ook terug te voeren op dichtheidsafhankelijke relaties, waardoor afname van de biomassa (door scenario) de overblijvende dieren betere groei mogelijkheden geeft. Dat laatste wordt met name geobserveerd bij hoge biomassa.

Relatieve scenario-effecten op de isomorf zijn veel kleiner dan op de V1 biomassa. Gedeeltelijk zou dit te verklaren kunnen zijn door seizoenseffecten: de isomorf groeit alleen in het zomerseizoen, terwijl de V1 effecten over het hele jaar (en in feite over meerdere jaren) integreert. Gedeeltelijk is het ook te wijten aan de terugkoppeling met het voedsel, die voor de V1 wel, en voor de isomorf niet in het model is opgenomen. Belangrijk zijn tevens dichtheidsafhankelijke interacties met grotere dieren, bij hoge biomassa van die laatste. Positieve scenario-effecten op de isomorflengte, bij hoge biomassa van V1, zijn een duidelijke aanwijzing daarvoor.

De isomorflengte is geen absolute indicator voor scenario-effecten op het voedsel van zee-eenden, omdat de modelvariabele het effect van terugkoppeling naar het voedsel, en dichtheidsafhankelijke effecten, niet weergeeft. Toch is het waarschijnlijk dat de jonge dieren aanzienlijk minder gevoelig zijn voor verstoringen door de scenario's, in overeenstemming met de karakteristieken van hun fysiologie.

De V1 morf is wellicht evenmin een realistische schatting van echte effecten op de voedselvoorziening. Deze variabele incorporeert immers negatieve effecten op grote individuen die niet meer tot het voedsel behoren, en die gevoelig zijn voor langjarige accumulatie van slechte omstandigheden. De V1 modelleert in feite de gehele populatie, dus eveneens de juvenielen, maar is niet in staat een relatieve verschuiving in de leeftijdsstructuur weer te geven. In de natuur kan verwacht worden dat deze wel zal plaatsgrijpen, omdat de omstandigheden voor de juvenielen relatief minder verslechteren dan voor de oudere individuen.

Er is een methodiek voorgesteld die alleen rekening houdt met negatieve scenario-effecten in het deel van de Nederlandse kustzone waar de biomassa van filtrerende bodemdieren significant is. In de methodiek wordt een ruimtelijk gewogen gemiddelde van scenario-effecten op juvenielen en op de totale biomassa berekend voor alleen die plaatsen waar de biomassa *Ensis* ecologisch relevant is. Toepassing van de methodiek leert dat de schattingen

van het scenario-effect, zoals aangeleverd door de modelstudie, kunnen worden gebruikt voor die ecovakken waar *Ensis* talrijk voorkomt in redelijk hoge biomassa. Er wordt voorgesteld de schattingen van de andere ecovakken niet te gebruiken.

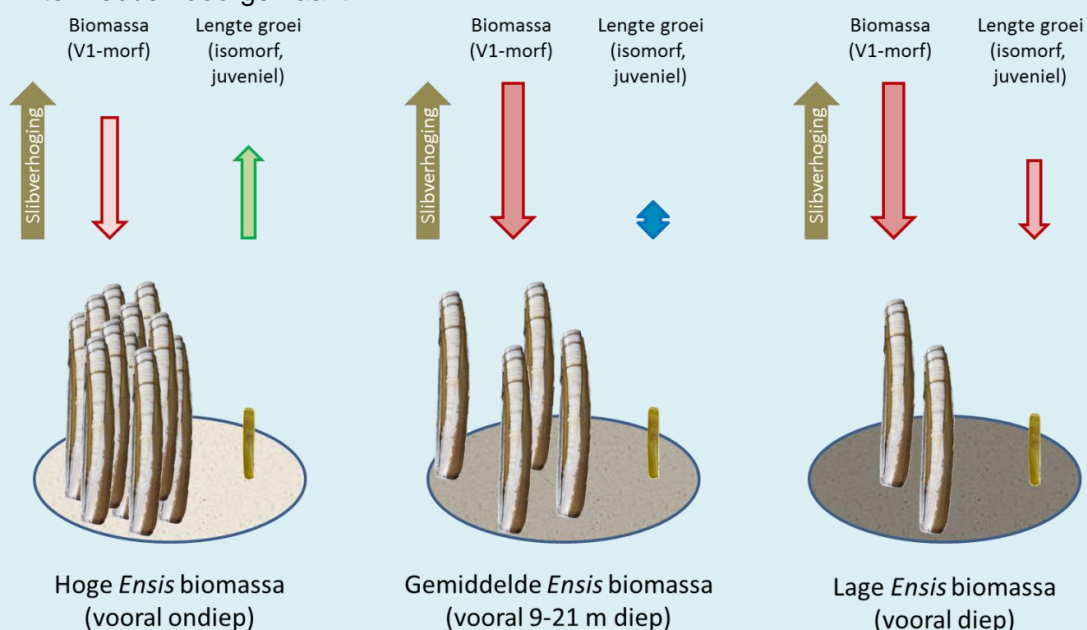
Er wordt voorzichtig geconcludeerd dat de effecten van het cumulatieve scenario (in vergelijking met vergund) op het ecosysteemfunctioneren via *Ensis*, in de orde 10% vermindering zijn in te schatten. Het effect op het voedsel van zee-eenden wordt hoger ingeschat dan het berekende effect op de groei van de isomorf, als gevolg van terugkoppelingen die belangrijk kunnen zijn. De effecten zullen echter lager liggen dan de ingeschatte effecten op de populatie-omvang en het ecologisch functioneren, omdat verwacht kan worden dat de populatie een verschuiving naar kleinere grootte-klassen zal kennen, waardoor de waarde als voedsel voor eenden minder zal afnemen dan de totale populatie-biomassa. Een ruwe eerste schatting van het effect ligt in de orde van 5 %.

Vereenvoudigde samenvatting van de modelresultaten en de interpretatie

De reactie van het systeem is complex en het model kan niet de volledige complexiteit van relaties weergeven. Figuur 7.12 geeft een sterk vereenvoudigde samenvatting van de modelresultaten.

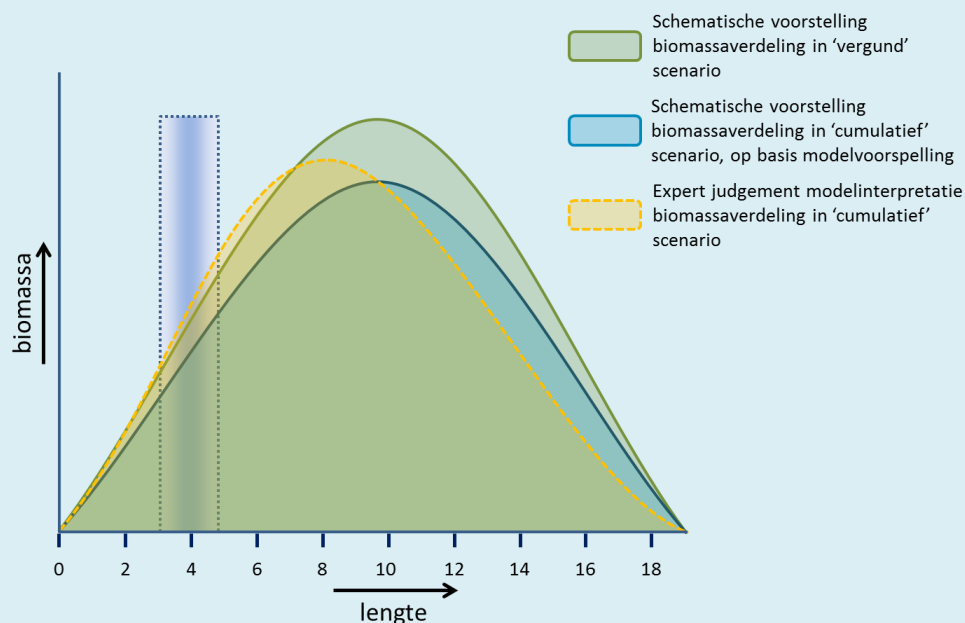
Gebieden met hoge dichtheden van *Ensis* (vaak relatief ondiep gelegen), tonen een matige afname in biomassa (gemodelleerd met de V1-morf) als reactie op een verhoging van de slibconcentratie. Deze ondiepe gebieden zijn vaak rijk aan nutriënten en licht bereikt een groot deel van de waterkolom. Primaire productie is hier hoog en er kan een hoge biomassa aan schelpdieren ontstaan. De hoge schelpdierbiomassa heeft een zeer grote filtratiecapaciteit en de schelpdieren reguleren door hun graas de biomassa van de algen. Afname van de schelpdierbiomassa in deze gebieden t.g.v. vertroebeling, reduceert de schelpdierbiomassa, maar reduceert ook de lokale graasdruk. De isomorfen (kleine dieren die als indicator in het model voorkomen met een verwaarloosbare biomassa) gaan beter groeien in het cumulatieve scenario dan in het vergunde scenario, omdat zij profiteren van de afname van de graasdruk door de grote dieren. Zelf oefenen ze immers geen graasdruk uit, en ze zijn fysiologisch beter bestand tegen een verhoging van de vertroebeling.

Gebieden met een gemiddelde biomassa (vaak aangetroffen op dieptes van 9-21 meter, maar kan ook dieper of ondieper), nemen sterker af in biomassa van de V1 dan dieren uit ondiepere zones, ook als het in verhouding met de toename van de slibconcentratie wordt bekeken. Lengtegroei van jonge *Ensis* kan zowel positief als negatief worden beïnvloed, maar verandert weinig. In delen met relatief lage biomassa nemen zowel biomassa's af als ook de groei van de isomorfen. In deze gebieden kunnen isomorfen niet meer profiteren van de verminderde graasdruk, omdat de graas door *Ensis* hier de algenbiomassa nauwelijks onderdrukt. Afname in groei van juveniele (isomorfen) is nog wel kleiner dan de afname van de totale biomassa (gedomineerd door grote individuen) omdat juvenielen energetisch beter met verhoogde slibconcentraties kunnen omgaan en omdat zij nog geen winter hebben doorgemaakt.



Figuur 7.12: sterk vereenvoudigde schematische weergave van de modelresultaten. De pijlen geven de richting en de relatieve grootte van het effect aan, t.o.v. de verandering in slibconcentratie.

Deze resultaten leiden tot de conclusie dat de modelresultaten van scenariostudies in het model in de praktijk iets anders zullen uitpakken. Als deze studie uitgevoerd zou zijn met een isomorfe, leeftijd- of grootte gestructureerde populatie van *Ensis* dan zouden de resultaten er uitzien zoals in Figuur 7.13.



Figuur 7.13 Schematische weergave van de interpretatie van de modeldata als rekening gehouden wordt met de effecten op de hele populatie. De blauwe balk geeft (bij benadering) de grootte-range aan van de isomorfe juvenielen op 1 december.

De V1 morf is gebaseerd op een populatie met een gemiddelde grootte van 10 cm. In een modelsimulatie met zandwinning, neemt de populatie af in biomassa, maar de gemiddelde grootte van de individuen blijft gelijk, want dit ligt vast in de parameterisatie van de V1-morf. Omdat kleinere individuen iets minder gevoelig zijn voor lage algenconcentraties en hogere slibconcentraties zal de populatieopbouw in werkelijkheid waarschijnlijk verschuiven naar meer kleine individuen en minder grote individuen. In een leeftijds- (of grootte-) gestructureerde populatie zal de totale biomassa (hele populatie) waarschijnlijk minder afnemen dan in de huidige modelsimulatie.

8 Interpretatie van modelresultaten en implicaties voor hogere trofische niveaus

8.1 Gebruikte modellen en benadering

In deze studie is gebruikgemaakt van een geïntegreerde set modellen binnen de Delft 3D suite van Deltares, die allemaal op hetzelfde modelrooster gedraaid zijn. Deze set bestaat uit Delft-3D flow voor hydrodynamica, Delft3D-WAQ, voor de slibdynamiek en Delft3D-eco voor primaire productie en groei van schelpdieren. De aanpak voor de hydrodynamische modellering en de slibmodellering is vrijwel gelijk aan die in eerdere effectstudies op zandwinning. De ecologische modellering is op een aantal punten fundamenteel anders dan in eerdere studies. Vooral de DEB-modellering van schelpdieren met een dynamische terugkoppeling op primaire productie en algenbiomassa is in principe een grote verbetering, maar is nog veel minder uitgebreid gevalideerd en gekalibreerd dan de andere modules en modellen zoals ECOWASP die in eerdere studies zijn gebruikt. Een uitgebreide analyse van de kwaliteit van alle modelonderdelen is te vinden in het validatierapport (Van der Kaaij et al., 2017). Een algemene beschouwing hoe met dit soort modelresultaten moet worden omgegaan en korte samenvatting van de conclusies van het validatierapport volgen hieronder.

8.1.1 Deterministische modellen

In de studie is voor de meeste scenario's gebruik gemaakt van deterministische modellen. Dit soort modellen is gebaseerd op veel parameters, instellingen en data die soms uit literatuur, soms uit veldobservaties en soms uit laboratorium proeven bepaald zijn. Op basis van jarenlange ervaring en expertise van verschillende mensen zijn de beste parametersets en input gegevens gekozen die voorhanden zijn.

Een deterministisch model geeft één uitkomst. Dat is voor sommige zaken handig – je kunt met eenzelfde parameterset effecten van één factor er goed uitpikken. Men moet er echter ook voorzichtig mee omgaan, zeker als op sommige parameters een grote onzekerheid zit, dan zit er ook onzekerheid op de modeluitkomst. In principe kunnen er gevoeligheidsanalyses gedraaid worden voor verschillende factoren om inzicht te krijgen in deze onzekerheden, maar dat is hier niet uitgevoerd.

De modellen zijn vooral bedoeld om kennis op te doen over systeemgedrag en orde-grootte van veranderingen. Dus: geeft een toename van 10% slib een afname van 1, 5, 10 of 20% in primaire productie? Er moet voorzichtig omgegaan worden met het vergelijken van getallen van individuele jaren tussen individuele scenario's. Dit geldt zeker voor onderlinge vergelijkingen tussen resultaten die direct afkomstig zijn uit modelscenario's en resultaten van "gecorrigeerde modelscenario's" (bijv. de correctie van effecten als rekening gehouden wordt met bentische primaire productie in de Waddenzee) en geëxtrapoleerde scenario's op basis van statistische relaties. Een directe vergelijking tussen resultaten direct afkomstig uit het model en een dataset van een niet gerund scenario (bijv. KLZ-140-kustwaarts of LaMER-165-kustwaarts), op basis van een statistische extrapolatie van andere modeldata (bijv. de kleinere initiatieven KLZ-120 en LaMER-135, of de individuele zeewaartse initiatieven) kan tot artefacten leiden, zeker als de verschillen klein zijn.

8.1.2 Hydrodynamica en slib

Het hydrodynamische model is vooral gevalideerd door middel van een vergelijking met de resultaten van het MOS² project, waarin uitgebreide kalibraties zijn uitgevoerd op basis van *in*

situ meetdata en remote sensing. Opgemerkt wordt dat in de MOS² studie de Waddenzee buiten beschouwing is gelaten. Op basis van de beschikbare gegevens van saliniteit en debiet door het Marsdiep is het hydrodynamische model in de Waddenzee zo goed mogelijk gevalideerd. Er zijn helaas geen gegevens beschikbaar van debieten door andere zeegaten en de spatiële en temporele resolutie van data m.b.t. saliniteit is matig. Op basis van de vergelijking met beschikbare gegevens constateren we dat de uitwisseling tussen de Waddenzee en de Noordzee wordt onderschat. Dit geldt overigens in gelijke mate voor de modellering van de vorige MER-zandwinning van 2011.

Ook het slibmodel is in eerste instantie gevalideerd op de resultaten van het MOS² model en voor de Waddenzee op basis van de MWTL meetgegevens. Hierbij bleek dat het model op de Noordzee in overeenstemming met MoS² resultaten was. Net als in het MOS² project zijn ver op open zee de concentraties lager dan metingen en worden geen seizoensfluctuaties gemodelleerd, die wel in de data te zien zijn. In de Waddenzee worden echter consistent te lage concentraties voorspeld. Dit kan komen door een te lage uitwisseling tussen Noordzee en Waddenzee, maar ook door de (te grove) resolutie van de Waddenzee. Een ander model op een zeer fijn rooster uit het project “Verkenning Slibhuishouding Waddenzee” (het PACE-model) gaf resultaten die wel goed overeenkomen met de meetwaarden in de Waddenzee. In de Waddenzee is daarom uitgegaan van de weekgemiddelde slibconcentraties zoals die in het project “Verkenning slibhuishouding Waddenzee” zijn berekend. Met deze aanpassingen en een kleine correctie op de open zee (ver van de kust) zijn de voorspelde patronen voldoende voor het uitvoeren van scenariostudies met het GEM-model.

8.1.3 Ecologische modellering

Het GEM model is gekalibreerd op meetwaarden van nutriënten, chlorofyl-*a* en de biomassaverdeling van schelpdieren gemeten in het WOT-programma van Wageningen Marine Research. In het model wordt geen forcering opgelegd op basis van habitatgeschiktheid voor schelpdieren. De biomassa verdeling is in het model uitsluitend het gevolg van voedselbeschikbaarheid. Desondanks is de verdeling van biomassa van schelpdieren redelijk in overeenstemming met de waargenomen distributies. Hierbij is het belangrijk de resolutie van het model in acht te nemen. De roostercellen van het model zijn te grof om uitspraken te doen over ligging van individuele mossel- of *Ensis*banken. De locaties waar schelpdieren goed konden groeien bleken zeker op de Noordzee zeer gevoelig voor het slibveld. Patronen van nutriëntenconcentraties en chlorofylconcentraties werden in het algemeen goed gereproduceerd. In delen van de Westelijke Waddenzee zijn gemodelleerde nutriëntenconcentraties aan de hoge kant en bleken in het model algen ook meer lichtbeperkt en minder nutriëntenbeperkt dan uit andere studies blijkt. Ook dit wijst op een onderschatting van de uitwisseling tussen de Waddenzee en de Noordzee in het hydrodynamische model. Dit kan in scenariostudies leiden tot een overschatting van effecten van vertroebeling, maar vanwege het feit dat in de Waddenzee lichtbeperking en nutriëntenbeperking gelijktijdig voorkomen, is dit effect waarschijnlijk beperkt.

In de Waddenzee wordt benthische primaire productie onderschat. Dit kan leiden tot een overschatting van de effecten van vertroebeling door zandwinning, aangezien benthische primaire productie een significante bijdrage kan leveren aan de groei van schelpdieren. In Hoofdstuk 6 van dit rapport is geconcludeerd dat dit effect op schelpdieren gemiddeld tot een overschatting van negatieve effecten in de orde van grootte van 10% leidt in de oostelijke Waddenzee. Het blijft een zeer lastig punt dat er erg weinig gegevens voorhanden zijn van primaire productie in het algemeen en benthische primaire productie in het bijzonder. Dit maakt het maken van een accurate validatie en, voor dit specifieke onderzoek, een inschatting van een eventuele compensatie factor erg moeilijk. Het feit dat een volledig onafhankelijke bepaling van de bijdrage van microfytobenthos aan het voedsel voor mosselen

(Waddenzee-breed) op 13% uitkomt en daarmee behoorlijk in de buurt ligt van bovenstaande schatting is de enige 'validatie' die op dit punt voor handen is. De effecten zijn sterk soortspecifiek en gebiedsspecifiek (o.m. afhankelijk van de morfologie van het systeem). Getallen uit andere gebieden kunnen dan ook niet gemakkelijk gebruikt worden als validatiemateriaal voor de Waddenzee.

De *Ensis*-DEB parameterinstellingen blijken te leiden tot een model met een zeer lange inspeeltijd. Nadere analyses in Hoofdstuk 7 van dit rapport hebben aangetoond dat er weinig relatie bestaat tussen gebieden met een lange inspeeltijd en de voorspelde effecten van zandwinning. Vanwege de vereenvoudiging in de DEB-modellering (waarin geen leeftijd of groottestructuur in de populatie is aangebracht en wordt uitgegaan van een individu van 10 cm lang) kan het model zeer gevoelig reageren in gebieden waar de groeiomstandigheden voor *Ensis* marginaal zijn, terwijl het model in gebieden waar omstandigheden goed zijn minder gevoelig reageert. In gebieden met een extreem lage *Ensis* biomassa is de gemodelleerde *Ensis* (dus grote individuen) niet de meest representatieve grazer. Gemodelleerde effecten in deze deelgebieden moeten dus niet worden meegenomen.

De analyses in hoofdstuk 7 suggereren dat noch de V1 modellering van de relatief grote *Ensis* noch de modellering van de isomorfen (die wel kunnen profiteren van een verlaagde graasdruk door verminderde groei van de V1-morfen, maar geen terugkoppeling op de primaire productie en op de algenbiomassa kunnen uitoefenen) een exact beeld geven van de te verwachten effecten op de ontwikkeling van schelpdieren en ecosysteemfunctioneren in het algemeen. De V1 modellering van de grote *Ensis* geeft een onvolledig beeld van de effecten op groei en lengteverdeling in de *Ensis*-populatie. Bij de modellering van de isomorf ontbreekt de terugkoppeling van graas op het fytoplankton. Echter uit de gecombineerde interpretatie van de modeldata in hoofdstuk 7 kan wel geconcludeerd worden dat de effecten op systeemchaal proportioneel zijn met voedselaanbod.

8.2 Consequenties voor interpretatie data

Zoals uit het validatierapport en uit Hoofdstuk 5, 6 en 7 volgt zijn de effectschattingen op primaire productie en op groei van schelpdieren t.o.v. vergund eerder worst-case dan meest waarschijnlijke effecten en moeten zeker de effecten zoals die berekend zijn op *Ensis* tot ongeveer 2/3 gereduceerd worden. Daarnaast moeten de effecten op mosselen in de Waddenzee met zo'n 10% worden gereduceerd tot de getallen zoals weergegeven in de tabellen in Appendix C.6.

8.2.1 Schaaleardeffecten

Een van de elementen die het moeilijk maken effecten op schelpdieren met dit type modellen in te schatten is het feit dat de meeste soorten meestal in dichte banken voorkomen die veel kleiner zijn dan de roostercellen van het model. Effecten op individuele banken kunnen hiermee dus niet worden ingeschat.

Niet alleen ruimtelijke schaal speelt een rol, maar ook tijdschaal. Door verschillende stuurfactoren, die op dit moment nog niet of slechts ten dele zijn begrepen, zoals predatie en stormen is recrutering extreem variabel. Bij vergelijkende estuarium studies (op basis van velddata) worden duidelijke relaties gevonden tussen schelpdierbiomassa's en primaire productie. In het model werken effecten op schelpdieren zeer direct door (al reageren schelpdieren uiteraard wel trager dan algen). Echter in het veld wil dat niet zeggen dat bij een afname van productiviteit het jaar er op meteen een proportionele afname (of toename) in schelpdier aantallen of biomassa's te zien zal zijn.

Additionele stuurfactoren kunnen dus de relaties, die in het model direct sterk zijn, vertroebelen. Echter op systeemchaal blijkt voedsel de meest belangrijke factor voor het voorkomen van bodemdieren (Kröncke, 2006).

8.2.2 Soorten vs. ecosysteembenadering

Een van de zeer belangrijke vereenvoudigingen in het model is het kiezen van één 'representatieve modelgrazer' voor de Noordzee en één voor de Waddenzee. Zoals uit de DEB-modellering snel duidelijk wordt zijn reacties op veranderingen niet alleen soort-specifiek, maar ook leeftijd/grootte specifiek. Het lijkt er op dat *Ensis* relatief gevoelig is voor de doorwerking van slib op primaire productie, in vergelijking met andere soorten filtreerders, zelfs als de modelartefacten veroorzaakt door de modelopzet worde meegewogen. Op basis van Kröncke (2006) moet echter geconcludeerd worden dat voedsel ook voor andere soorten in de Noordzee en Waddenzee de sturen de factor is. De beste aanname op dit moment is dat andere filtreerders (andere schelpdieren, maar ook bijv. zoöplankton) proportioneel zullen reageren op een afname van primaire productie. Dit geldt dus ook voor die gebieden waar *Ensis* in heel lage dichtheden voorkomt en de vrij grote effecten op *Ensis* in deze gebieden disproportioneel groot is. Andere biota zal in die gebieden veel belangrijker zijn.

8.3 Doorvertaling van effecten naar hogere trofische niveaus

Voor de Noordzee worden vooral de effecten op zwarte zee-eenden in alle beschouwingen over natuurwaarden als belangrijk gezien. Deze soort staat onder druk en foerageert op schelpdieren. Bij deze soort is er waarschijnlijk een verband tussen schelpdierbeschikbaarheid (en bereikbaarheid) in de kust en de draagkracht voor deze soort. Echter, uit onderzoek aan het compensatiegebied voor Maasvlakte 2 blijkt dat ook voor zwarte zee-eenden voedsel niet de enige bepalende factor is. Dit wil niet zeggen dat er geen effecten op andere soorten kunnen zijn, maar voor bijvoorbeeld vis-etters is de link moeilijker te leggen.

De beschikbaarheid van *Ensis* voor de Zwarte zee-eend is afhankelijk van het aanbod en energie gehalte van *Ensis* van verschillende lengte klassen. Het DEB model komt met een gerealiseerde biomassa bij verschillende zandwin-scenario's, maar geeft geen informatie over de hoeveelheid energie van *Ensis* (m.a.w. de kwaliteit van het vlees) gegeven de lengte. Er is geen kwantitatieve informatie m.b.t. de populatie lengte frequentieverdeling maar hoofdstuk 7 laat zien dat het zeer waarschijnlijk is dat er (in gebieden waar zandwinning een impact heeft op de *Ensis* biomassa) een verschuiving zal plaatsvinden richting kleinere individuen.

8.3.1 Noordzee

In de vorige MER studie is vastgesteld dat er een zeer sterk verband bestaat tussen de zwarte zee-eend en locaties van schelpdierbanken van *Ensis* en *Spisula* (de halfgeknotte strandschelp). *Spisula* heeft de voorkeur maar is in de afgelopen decennia sterk afgenomen in de Nederlandse kust. De waarneming van een sterke toename van *Spisula* in 2016 t.o.v. 2015 (Perdon et al. 2016) ging gepaard met meldingen van grote concentraties Zwarte zee-eenden op deze locatie.

Sinds het (bijna) verdwijnen van grote *Spisula*banken in Nederland foerageren Zwarte zee-eenden vooral op *Ensis*, de kleinere exemplaren (<6 cm) lijken hierbij het belangrijkste voedsel, maar exemplaren tot ongeveer 9 cm kunnen gegeten worden. Grotere exemplaren kunnen moeilijk gehanteerd worden. Zeer grote concentraties zwarte zee-eenden bij Texel in 2013 en 2014 kwamen overeen met grote banken kleine *Ensis* (Leopold et al. 2015).

Deze MER-studie heeft aangegeven dat met name de cumulatieve effecten van kustwaartse zandwinningsen een effect zullen hebben op de biomassa van *Ensis* langs de Nederlandse kust van meer dan een paar procent. Effecten op Zwarte zee-eenden kunnen daarmee niet uitgesloten worden al zijn er wel enkele factoren die tot de conclusie leiden dat de effecten waarschijnlijk relatief beperkt zullen zijn vergeleken met de hier gemodelleerde effecten op de biomassa van *Ensis*.

1. Zwarte zee-eenden maken bij voorkeur gebruik van banken met zeer hoge dichtheden aan schelpdieren en veel minder van gebieden met een lage biomassa (Leopold et al. 2015). De modelscenario's geven aan dat juist buiten de banken met hoge dichtheden de effecten op *Ensis* dichtheden relatief groot zijn (soms meer dan proportioneel met de verhoging aan slib en de verlaging van primaire productie), maar dat op de plaatsen met hoge dichtheden *Ensis* die echt belangrijk zijn voor zwarte zee-eenden de effecten in verhouding zijn met de effecten op primaire productie, of zelfs wat minder.
2. In de gevoeligheidsanalyse met een vereenvoudigd model (bijlage D, validatierapport, van der Kaaij et al. 2017) bleek dat vooral de grotere *Ensis* (9-10 cm) bij vermindering van productie sneller onder de drempel van leefbaarheid komen, m.a.w. dat bij een relatief beperkte afname van voedsel de populatie kan instorten. Kleinere exemplaren (≤ 6 cm) kunnen beter omgaan met zowel de directe effecten van slibbelasting als met de indirecte effecten (vermindering primaire productie). Zoals in hoofdstuk 7 betoogd is, is een waarschijnlijk effect van vertroebeling en verminderde primaire productie een verschuiving van grote naar kleinere individuen. Een (niet al te extreme) verschuiving van een populatie met een mediane grootte van 10 cm (waar het DEB model op gebaseerd is) naar gemiddeld wat kleinere individuen kan dus potentieel gunstig zijn voor de zwarte zee-eend. Of dit voldoende is om het effect van verlies aan biomassa te compenseren is op basis van de modeluitkomsten niet in te schatten. Daarnaast kan een verhoogde mortaliteit van grote *Ensis* op de langere termijn een effect hebben op recruitment. Dit laatste effect zal echter waarschijnlijk relatief beperkt zijn. De meeste *Ensis* worden al geslachtsrijp in hun eerste jaar (Gollasch et al 2015). Een kleine verschuiving in mediane grootte heeft waarschijnlijk een beperkt effect op recrutering, tenzij de beperking in groei dusdanig is dat veel dieren niet meer in hun eerste jaar, maar pas later geslachtsrijp worden. Het netto lange-termijn effect op de draagkracht voor Zwarte zee-eenden is daarmee moeilijk te kwantificeren.

De effecten zoals berekend in de scenario studies zijn daarmee waarschijnlijk eerder worst-case dan gemiddelde effecten.

Mede op basis van hoofdstuk 7 wordt ingeschat dat de effecten van zandwinning op de beschikbaarheid van *Ensis* als voedsel voor zwarte zee-eenden in de orde van grootte van 5% moet worden ingeschat voor het cumulatieve scenario.

In deze studie is uitgegaan van *Ensis* als model schelpdier. De Zwarte zee-eend foerageert bij grote voorkeur op *Spisulabanken*. Dit was in het verleden een belangrijke soort in de kust, maar is in de afgelopen decennia verdwenen. De afgelopen twee jaar is deze soort weer iets toegenomen. Schelpdierbanken komen en gaan. Dit fenomeen is niet alleen van deze tijd. Leopold (1996) vatte de historische gegevens samen. Belangrijke banken zijn achtereenvolgens gevonden langs de Hollandse kust (jaren 30 en in mindere mate begin jaren 60 bij Zuid- Holland); bij Noord-Holland vanaf het einde van de jaren 70; in de Voordelta in de jaren 80; bij de Waddeneilanden sinds de jaren 80, maar op wisselende locaties. Het is niet ondenkbaar dat in de toekomst deze soort of andere soorten die beter geschikt zijn als voedsel voor duikende eenden weer in de

kustzone komen (Leopold 1996). Uiteraard zal zandwinning ook doorwerken op de groei van *Spisula*. Echter de netto uitwerking hiervan op zwarte zee-eenden is niet kwantitatief te voorspellen.

8.3.2 Waddenzee

Het model doet een uitspraak over de effecten van veranderingen in slibconcentratie op de biomassa van schelpdieren (mosselen) in de Waddenzee. De Waddenzee is van groot belang voor vogels, met name voor steltlopers. Een aantal soorten is gespecialiseerd in het eten van schelpdieren en is weinig flexibel in hun dieet (Scholekster, Kanoet, Eider). In de Oosterschelde, waar de voedselbeschikbaarheid sterk achteruit is gegaan sinds 1986 door verlies van foerageerareaal, kon alleen voor de Scholekster een achteruitgang in aantallen worden vastgesteld (de Ronde et al. 2013). De meeste van deze soorten aten vooral wormen en kleine kreeftachtigen. Kennelijk was in de Oosterschelde een deel van de draagkracht van het systeem niet benut, waardoor een afname aan voedsel niet onmiddellijk resulteert in lagere vogelaantallen. Dergelijke processen kunnen ook in de Waddenzee spleen, maar daarvan mag niet onmiddellijk worden uitgegaan.

8.3.2.1 Krabben en garnalen

Garnalen prederen bij voorkeur op net gevestigde schelpdierlarven. Zodra deze een grootte van meer dan 700 µm bereikt hebben neemt de kwetsbaarheid af, maar ze kunnen in principe gegeten worden tot een schelp lengte van 1-3 mm (Andresen en Van der Meer 2010, Weerman et al. 2014, Ceccherelli and Rossi 1984).

In het veld blijkt dat schelpdieren pas na minstens een maand groei volgend op vestiging niet meer door garnalen gegeten kunnen worden (Ceccherelli and Rossi 1984).

Krabben vormen een andere groep die grootschalig predeert op mosselen. Ook hier is er een relatie tussen prooigrootte voorkeur en de grootte van de krab. Smallegange en van der Meer (2003) vonden een relatie tussen mosselbreedte en chela-lengte van de krab van 0.14 – 0.16. Chela is de grote schaarppoot. Dit houdt in dat een krab met een chela-lengte van 3 cm een voorkeur heeft voor mosselen van 0.45 cm breed, wat overeenkomt met een mossel van ongeveer 1 cm lang. In de scenariostudies zit er weinig verschil tussen de scenario's in de grootte die de isomorfen na een jaar (op 1 december) bereiken (zie grafieken Appendix D.4.1) en de groei in verschillende zandwinsten scenario's relatief t.o.v. het 'vergonde' scenario is nauwelijks zichtbaar in de westelijke Waddenzee en in de orde van 1-2% in de oostelijke Waddenzee. Op basis van deze gegevens lijkt het niet voor de hand liggend dat effecten van zandwinning belangrijk zijn voor de kwetsbaarheid voor predatoren. De variatie predatiedruk wordt meer bepaald door de aanwezige aantallen predatoren dan door de variatie in groei en daarmee de kwetsbaarheid. Hoe zandwinning doorwerkt op de aanwezigheid van krabben en garnalen is niet te voorspellen.

8.3.2.2 vogels

In verschillende studies in het kader van het terugdringen van de mechanische kokkelvisserij is vastgesteld dat vooral de scholekster in de Waddenzee reeds beperkt is in zijn voedsel en dat dit een negatief effect heeft op de aantallen, al spelen bij deze soort ook factoren als competitie en voedselterritoria een rol waardoor effecten niet proportioneel kunnen zijn (Ens et al. 2010). Voor deze soort is een negatief effect ten gevolge van vertroebeling in sommige jaren echter niet op voorhand uit te sluiten en zal mogelijk nader moeten worden bekeken met model- en veldstudies. Voor veel andere soorten is de relatie tussen voedselbeschikbaarheid en draagkracht nog minder duidelijk.

Het stapelvoedsel van de Eidereend is kokkels en mosselen, maar hij eet een brede variëteit aan prooidieren (Camphuysen et al. 2002). Kokkels en mosselen moeten zowel bereikbaar

zijn (specifieke diepte range) als van een specifieke grootte range. Over het laatste kunnen we met de huidige modellering geen uitspraak doen. Aantallen Eidereenden in de Waddenzee worden veelal bepaald door management en jacht in bv. Denemarken en slechts ten dele door voedselaanbod in Nederland. Behalve in zeer schaarse periodes (bv periode 1999/2000 waar massasterfte overeenkwam met zeer lage schelpdierbestanden (Camphuysen et al. 2002) lijkt er geen waarneembaar effect te zijn op de aantallen van Eidereenden. Zodra de mossel- en kokkel bestanden op 'normale' niveaus zijn is er geen duidelijke correlatie vast te stellen tussen aantallen eiders en biomassa schelpdieren. Hoewel er in de modelscenario's sprake is van een effect op de biomassa schelpdieren is de verwachting niet dat de bestanden ten gevolge van zandwinning kelderen naar niveaus vergelijkbaar met begin van deze eeuw. Echter, het is niet exact bekend bij welke biomassa voedselbeschikbaarheid echt bepalend wordt voor Eidereenden.

9 Discussie en conclusies

9.1 Deze studie en de MER

Om een (hernieuwde) vergunning te verkrijgen voor de winning van suppletiezand en voor ophoogzand in de Noordzee zijn milieueffectrapportages (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 voor deze MER de mogelijke effecten van zandwinning op de slibconcentraties, nutriënttransport, primaire productie en de secundaire productie in de Noordzee en op de Waddenzee beschreven. De aanpak en resultaten zijn uitgebreid beschreven in drie zelfstandig leesbare rapporten: het inceptierapport (van Duren et al., 2016), het validatierapport (Van der Kaaij et al 2017) en dit rapport, waarin de scenariostudies zijn beschreven. Deze studies dienen als basismateriaal voor de opstellers van de MER. Deze studie doet geen uitspraak over de maatschappelijke of juridische aanvaardbaarheid van eventuele effecten.

9.2 Vergelijking aanpak vorige MER

In vergelijking met de vorige MER is het modelinstrumentarium deze keer in veel opzichten consistent en is de koppeling tussen de berekende slibeffecten en ecologische effecten veel directer. In de Waddenzee en de Noordzee is dezelfde methodiek gevolgd en in beide systemen wordt de effectberekening voor primaire en secundaire productiviteit op eenzelfde gridresolutie uitgevoerd als de berekening op slib. In beide systemen worden op eenzelfde manier de terugkoppelingseffecten van begrazing door schelpdieren op primaire productie meegenomen (Van der Kaaij 2017).

In vergelijking met de modelinstrumenten van de vorige MER zijn er vooral voor het ecologische deel zeer veel vernieuwingen in een korte tijd doorgevoerd. Met name voor de Waddenzee is dit model veel minder uitgebreid getest en zijn er onvermijdelijke onzekerheden die in elk nieuw model optreden, naast de aannames en vereenvoudigingen die elk model sowieso met zich meebrengen.

9.3 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).

9.3.1 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.

9.3.2 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).

In het validatierapport (van der Kaaij, 2017) is op deze facetten uitgebreid ingegaan. De conclusie van dit rapport was dat een aantal verbeterpunten zeer wenselijk is, maar dat het model voor de huidige toepassing voldoet. Het validatierapport beschrijft dat de onzekerheden binnen de modellen dusdanig werken dat ze effecten eerder overschatten dan onderschatten. Echter, op de meeste locaties lijkt dit model niet anders te reageren op veranderingen dan eerder berekend met ECOWASP. De effecten berekend met ECOWASP zouden daarom waarschijnlijk niet minder dan de helft zijn van wat hier berekend wordt (van der Kaaij et al., 2017). Zelfs als dus de effecten inderdaad de helft zijn van wat nu is berekend, betekent dit voor de cumulatieve scenario's nog steeds dat op sommige locaties effecten van meer dan 10% afname van productiviteit van algen en schelpdieren. Uiteraard zijn alle modelsystemen een versimpeling van de werkelijkheid. Ook binnen ECOWASP worden aannames gedaan en worden effecten geforceerd. Het feit dat het GEM model vergelijkbaar reageert met een ander (zeer verschillend) model is geen hard bewijs dat de uitkomst direct overeen zal komen met de werkelijke effecten die te zien zullen zijn, maar het is het beste houvast dat beschikbaar is.

De onderschatting van de benthische primaire productie in de Waddenzee was ook in het validatierapport geïdentificeerd. Op basis van literatuurgegevens m.b.t. benthische primaire productie in de westelijke Waddenzee en schattingen van de hoeveelheid opgewerveld materiaal is een inschatting gemaakt hoe resultaten zouden uitwerken als dit verdisconteerd wordt. Voor de oostelijke Waddenzee zijn daar bovenop nog aannames gedaan op basis van de hypsometrie, om in te schatten hoe dit in dit gebied zou doorwerken. De aangepaste modelschattingen zijn apart gegeven. Deze inschatting van die compensatiefactor is echter wel gebaseerd op zeer beperkte meetdata en daar moet dus erg voorzichtig mee worden omgegaan. Wat de modelberekeningen steunt is de analyse van het project "Waddensleutels" waarin op basis van isotoop analyses schattingen zijn gedaan voor de bijdrage van benthische diatomeeën aan de groei van schelpdieren. Dit getal kwam aardig in de buurt voor onze schatting voor mosselen.

9.3.3 De verhouding tussen de berekende effecten en de 'natuurlijke' variabiliteit

Zoals ook geïdentificeerd in het scenario rapport van de vorige MER (Harezlak et al., 2012), is het zinvol om de modelresultaten niet alleen te beschouwen op basis van de effecten in procenten t.o.v. een bepaalde referentiesituatie (achtergrond of vergund scenario) maar deze ook te vergelijken met de natuurlijke variabiliteit van het systeem. In deze studie is een keuze gemaakt voor het jaar 2007 om effectberekeningen te doen. Hierbij worden jaarlijks dezelfde randvoorwaarden voor de gehele tijdreeks gebruikt. In werkelijkheid zijn deze randvoorwaarden zeer variabel. Voor de hydrodynamische modellering ligt een belangrijke oorzaak van de variabiliteit in de debieten door het Kanaal. Dit heeft een impact op de stroming en tevens op de nutriëntenbeschikbaarheid in de Noordzee. Deze Kanaal debieten kunnen maximaal orde van grootte 100% variëren, terwijl de effecten die worden berekend in de orde van enkele procenten liggen. Andere bronnen van variatie zijn variatie in weersomstandigheden (wind, temperatuur, neerslag) en rivierafvoeren (uiteraard voor een belangrijk deel gecorreleerd aan weersomstandigheden).

Uit de analyses in hoofdstuk 2 blijkt dat er zeer veel variabiliteit is in de metingen van slib en chlorofyl. De variabiliteit tussen jaren is vele malen groter dan de verhogingen in slib (of verlagingen in chlorofyl) die worden berekend in deze modelstudie. In deze metingen zitten

‘natuurlijke’ effecten zoals weersomstandigheden, maar ook van menselijke activiteiten. Dat betekent niet dat de effecten er niet zijn, maar wel dat het aantonen van effecten, zeker op basis van de relatief beperkte beschikbare metingen erg moeilijk is. Hetzelfde probleem doet zich voor in metingen aan schelpdierbestanden. Ook deze kunnen van jaar tot jaar zeer sterk (orde grootte 500%) variëren, deels door natuurlijke oorzaak (variatie in voedselbeschikbaarheid, broedval en overleving van gevestigde larven) en deels door factoren als visserij (Brinkman 2012; Perdon 2016). De uiteindelijke ecologische betekenis van een verhoging van de slibconcentratie in een dynamisch systeem, die kleiner is dan de natuurlijke fluctuaties, is erg moeilijk in te schatten, maar kan niet op voorhand als “niet relevant” worden weggeschreven. Zoals ook aangegeven in Harezlak et al (2012) zou een stijging van de gemiddelde temperatuur van 2 graden klein zijn t.o.v. de natuurlijke variabiliteit, maar kunnen de potentiële gevolgen dramatisch zijn.

9.3.4 De verhouding tussen de berekende effecten en het ‘vergunde scenario’.

Zoals Figuur 4.1 laat zien, is de slibbelasting van de huidige initiatieven, plus de reeds vergunde zandwinning i.h.a. niet meer dan de initiatieven die in het verleden zijn toegekend en aanmerkelijk minder dan de belasting geassocieerd met de winning voor MV2 in 2009 en 2010. In die periode werd er in totaal ruim 5 Mton aan slib opgebaggerd. De huidige individuele initiatieven (+ vergund) zitten nu rond de 1 Mton per jaar. Cumulatieve initiatieven staan niet in deze figuur, maar zitten in de orde van grootte van iets minder dan 2 Mton per jaar. Echter, vanwege de sterke reductie in de ‘reeds vergunde’ initiatieven in deze studie in vergelijking met voorgaande studies en het feit dat in deze studie ook cumulatieve effecten van de twee initiatieven worden doorgerekend zijn de (relatieve) effectberekeningen t.o.v. vergund groter dan in voorgaande studies.

9.4 Conclusies m.b.t. slib, primaire productie en secundaire productie

Ook in de vorige MER zijn negatieve effecten berekend voor zowel de Noordzee als de Waddenzee. Omdat er in de Waddenzee een verbeteropgave ligt voor de KRW waren vooral deze laatste effecten onderwerp van veel discussie. De effecten op schelpdieren die met het ECOWASP model zijn berekend lagen voor de berekeningen van de effecten van kustlijnzorg onder de 2% t.o.v. het toenmalige ‘autonome scenario’ dat dus zowel vergunde activiteiten omvatte als activiteiten waarvoor in dezelfde periode vergunningen werden aangevraagd, in het meest extreme scenario. Dit is uiteindelijk beoordeeld in de passende beoordeling als aanvaardbaar.

De relatieve effecten die nu worden berekend, liggen zowel voor de scenario’s van Kustlijnzorg en LaMER apart en zeker voor het cumulatieve scenario, aanmerkelijk hoger dan 2% (t.o.v. vergund). Dit is zowel het geval bij de effecten op de slibconcentraties als bij de ecologische effecten (primaire en secundaire productiviteit). De acceptatie van de modelresultaten is dus zeer belangrijk en het feit dat met name het ecologische model relatief veel nieuwe elementen heeft en nog niet uitgebreid getest is behoeft daarbij nadere beschouwing.

Het is hierbij belangrijk om een aantal zaken helder te stellen:

1. Het waterbewegingsmodel en het slibmodel zoals in deze studie gebruikt, wijken slechts op zeer kleine details af van de bestaande en eerder gebruikte modellen. Qua slib zijn de effecten voor RWS KLZ eigenlijk min of meer gelijk aan de vorige keer, al is de spreiding in de ruimte en tijd natuurlijk wel wat anders. De effecten op slib (t.o.v. het “vergunde” scenario) zijn iets groter dan in de vorige MER zijn berekend. Zoals in §1.2.2. is beschreven, is dit vrijwel geheel te verklaren doordat de “vergunde effecten”

deze keer veel kleiner zijn dan de vorige keer (de vorige keer waren er zeer grote effecten van Maasvlakte 2 in het 'autonome' scenario en waren de initiatieven van LaMER vergund en zaten ook in het 'vergunde' scenario. Ook voor LaMER is het aandeel vergunde activiteiten in deze studie veel kleiner dan bij voorgaande MER-studies. Daar bovenop zijn ditmaal de cumulatieve effecten van twee grootschalige ingrepen expliciet doorgerekend. Deze initiatieven zitten in dezelfde orde van grootte en geven daarmee dus in totaal een ruime verdubbeling van de effecten t.o.v. het vergunde scenario.

2. De effecten op primaire en secundaire productiviteit zijn vrijwel overal op dezelfde manier proportioneel met de effecten op de slibconcentratie als in de vorige MER is berekend met o.m. het ECOWASP model. Het is dus bijzonder onwaarschijnlijk dat de effecten anders zouden uitvallen als ze met exact hetzelfde instrumentarium als de vorige keer zouden zijn berekend.

De conclusie van dit rapport is dan ook dat er potentiële effecten zijn op de Noordzee en de Waddenzee ten opzichte van de effecten van het vergunde scenario. Dit geldt met name voor de kustwaartse scenario's; de effecten in de zeewaartse scenario's zijn voor de meeste locaties in de kust en zeker voor de Waddenzee veel lager.

9.5 Aanbevelingen

In de validatiestudies rond dit project (van der Kaaij et al., 2017) is al gebleken dat het modelinstrumentarium (zowel het hydrodynamisch model, het slibmodel als het ecologische model) verbetering behoeft. In het validatierapport staan verschillende aanbevelingen m.b.t. verbetering van het modelinstrumentarium. Hiermee kan een steviger basis voor de conclusies worden gegeven. De modelresultaten in dit rapport gaan uit van 'worst-case' scenario's. Dat betekent dat de effecten die worden berekend in werkelijkheid waarschijnlijk lager zullen uitvallen. Een verbeterd modelinstrumentarium kan de onzekerheden verminderen en mogelijk dus ook de worst-case berekeningen naar beneden bijstellen.

Naast deze verbeteringen in modelschematisaties, kunnen effecten ook beter ingeschat worden met betere kennis van het gedrag van slib, tijdens de zandwinning. Momenteel wordt aangenomen dat de volledige slibfractie in de waterkolom terecht komt. Dit is een grote onzekere factor. Bij grote dichtheden aan slib (zoals in de pluim van de overstort tijdens winning) kunnen dichtheidseffecten optreden. Het is in theorie goed mogelijk dat een deel van het slib sneller bezinkt dan hier gemodelleerd wordt en daarmee veel minder effect op het ecosysteem veroorzaakt. Aangezien fundamentele kennis hierover ontbreekt kan dit niet meegenomen worden in de modellering.

Indien de berekende effecten worden beschouwd als niet zondermeer acceptabel dan zijn er een aantal onderwerpen waarvan het mogelijk nuttig is om deze verder te onderzoeken.

Dit betreft bijvoorbeeld het beter in beeld brengen van de effecten op voor beleid belangrijke vogelsoorten. De soort die zwaar onder druk staat en waarvan bekend is dat hij gevoelig is voor het aanbod van schelpdieren is de scholekster. Er bestaan modellen die de effecten van veranderende schelpdierbestanden op deze soort kunnen doorrekenen, zoals het model WEBTICS (Ens et al 2010).

10 Referenties

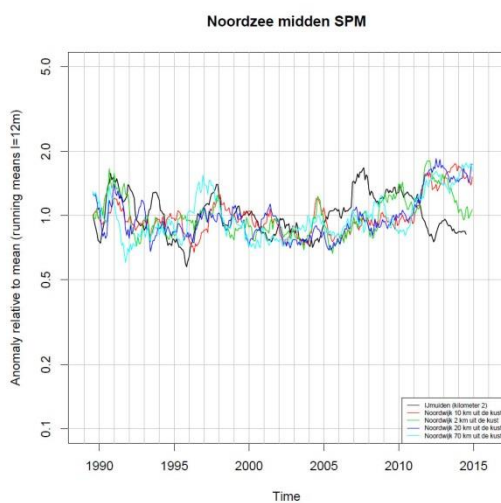
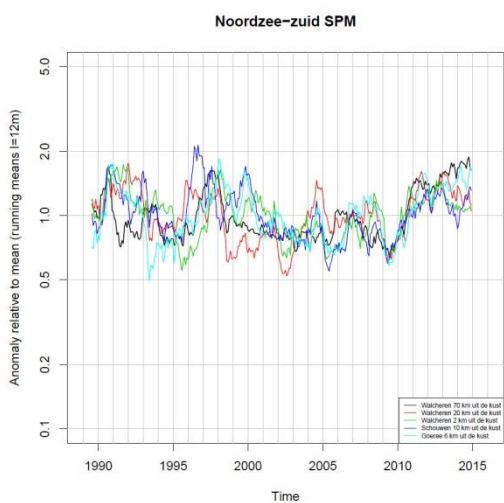
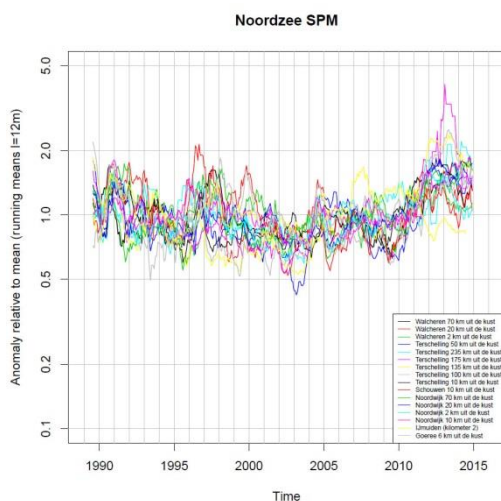
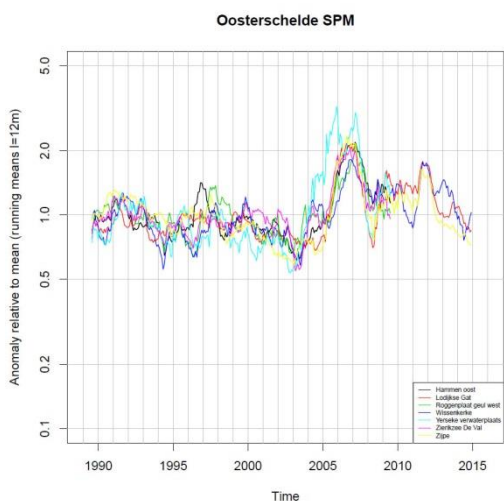
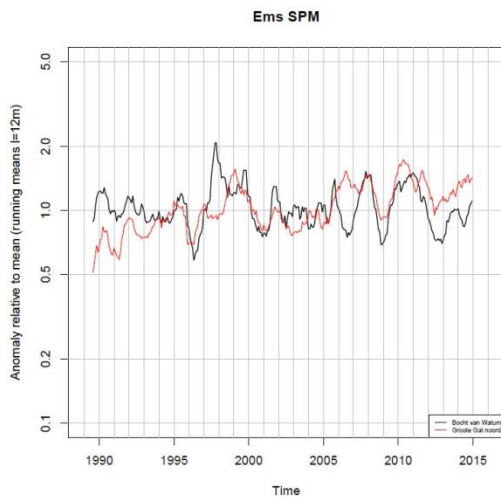
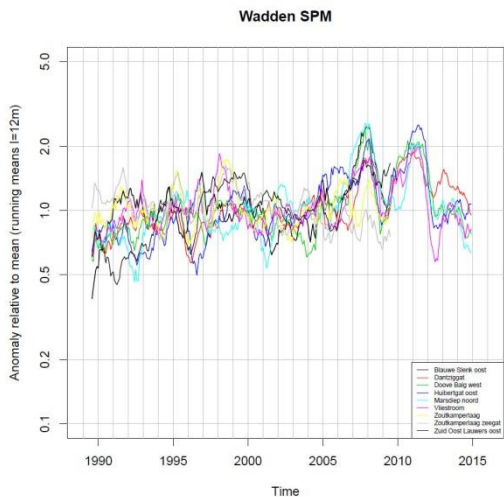
- Aarninkhof, S.G.J., J.R. Spearman, A.F.M. de Heer, M. van Koningsveld (2010): "Dredging-induced turbidity in a natural context status and future perspective of the TASS program". WODCON conferentie, 09-2010 Shanghai
- Andresen, H. and J. van der Meer. 2010. Brown shrimp (*Crangon crangon*, L.) functional response to density of different sized juvenile bivalves *Macoma balthica* (L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 390:31-38.
- Blauw, M., De Kleine, M., Vonhögen-Peeters, L., Van Heteren, S., De Weert, J. & Van Gaans, P., 2017 (concept). Fase 3 Rapportage - Geologisch onderzoek zoekgebieden Noordzee zandwinning. Deltares report 1230624-003-BGS-0001
- Boon, A. R., G. W. R. Gerrits, M. van Ledden, J. M. Meulepas, and M. C. de Vriend. 2006a. MER winning suppletiezand Noordzee (2007). Achtergrondrapport. Royal Haskoning.
- Boon, A. R., G. W. R. Gerrits, M. van Ledden, J. M. Meulepas, and M. C. de Vriend. 2006b. MER winning suppletiezand Noordzee (2007). Hoofdrapport. Royal Haskoning.
- Brinkman, A. G. (2012): Zandwinning in de Nederlandse kustzone 2013-2017 en productie in de westelijke Waddenzee, een modelstudie. IMARES.
- Camphuysen, C. J., C. M. Berrevoets, H. J. W. M. Cremers, A. Dekinga, R. Dekker, B. J. Ens, T. M. Van Der Have, R. K. H. Kats, T. Kuiken, M. F. Leopold, J. van der Meer, and T. Piersma. 2002. Mass mortality of common eiders (*Somateria mollissima*) in the Dutch Wadden Sea, winter 1999/2000: Starvation in a commercially exploited wetland of international importance. *Biological Conservation* 106:303-317.
- Casini, M., J. Lovgren, J. Hjelm, M. Cardinale, J. C. Molinero, and G. Kornilovs. 2008. Multi-level trophic cascades in a heavily exploited open marine ecosystem. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 275:1793-1801.
- Ceccherelli, V. U. and R. Rossi. 1984. Settlement, growth and production of the mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 16:173-184.
- Cronin, K. and M. Blaas. 2015. Maasvlakte 2 and fine sediment fluxes towards the Wadden Sea. 1210059, Deltares, Delft.
- De Kok, J.M. (2004) Slibtransport langs de Nederlandse kust: bronnen, fluxen en concentraties. Den Haag., RIKZ. RIKZ rapport OS2004.148w
- de Ronde, J. G., J. P. M. Mulder, L. A. van Duren, and T. Ysebaert. 2013. Eindadvies ANT Oosterschelde. 1207722-000-ZKS-0010, Deltares, Delft.
- Ens, B. J., C. Rappoldt, and J. M. Jansen. 2010. WEBTICS as a tool to predict carrying capacity and human impacts on a characteristic shorebird: oystercatchers *Haematopus ostralegus* wintering in the Westerschelde. Den Burg, Texel.
- Gollasch, S., et al. (2015). Alien Species Alert: *Ensis directus*. Current status of invasions by the marine bivalve *Ensis directus*. ICES COOPERATIVE RESEARCH REPORT NO. 323. 36 pp.
- Harezlak, V., A. van Rooijen, Y. Friocourt, T. van Kessel, H. Los (2012a): "Winning suppletiezand Noordzee. Scenario'studies m.b.t. slibtransport, nutriënttransport en primaire productie voor de periode 2013-2017". Deltares rapport 1204963-ZKS-0040.
- Harezlak, V., A. van Rooijen, Y. Friocourt, T. van Kessel, H. Los (2012b): "Winning suppletiezand voor herstel zwakke schakels Noord-Holland. Scenario'studies m.b.t. slibtransport, nutriënttransport en primaire productie voor de periode 2013-2017". Deltares rapport 1204963-ZKS-0036.
- Heath, M. R., D. C. Speirs, and J. H. Steele. 2014. Understanding patterns and processes in models of trophic cascades. *Ecology Letters* 17:101-114.

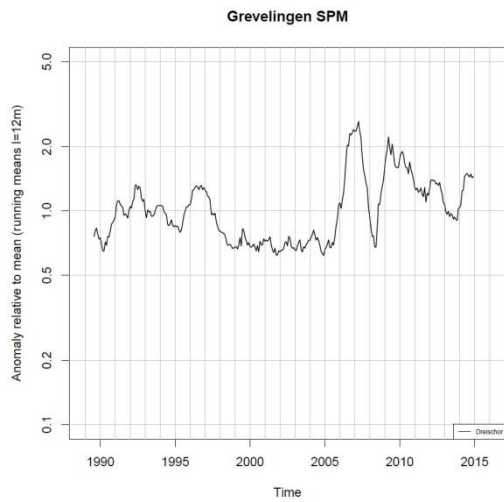
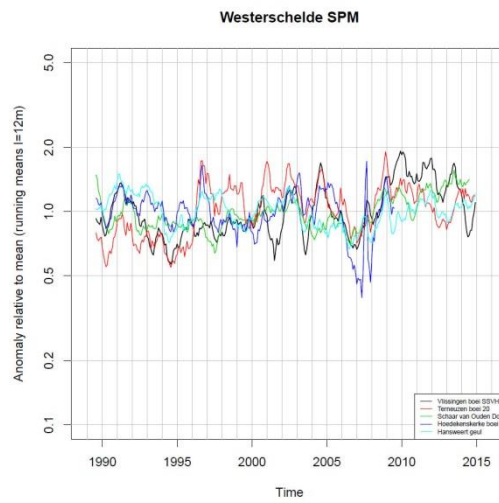
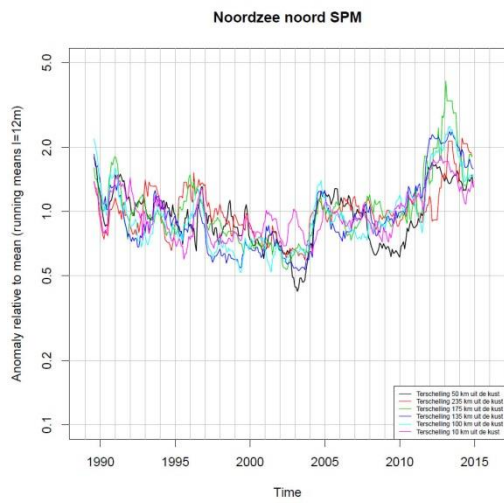
- Herman, P. M. J., O. Beauchard, and L. A. Van Duren. 2014. De staat van de Noordzee. NIOZ.
- Hitchcock, D. R. en S. Bell, 2004. "Physical impacts of marine aggregate dredging on seabed resources in coastal deposits", *Journal of Coastal Research*, 20(1), 101-114, doi:10.2112/1551-5036(2004)20[101:PIOMAD]2.0.CO;2.
- Keetels, G., V. Harezlak, T. van Kessel, A. van Rooijen, Y.F. Friocourt, T. van der Kaaij, H. Los (2012) Winning suppletiezand Noordzee 2013-2017 – Validatierapport. Deltares rapport 1204963-000-ZKS-0038.
- Kröncke, I. 2006. Structure and function of macrofaunal communities influenced by hydrodynamically controlled food availability in the Wadden Sea, the open North Sea, and the Deep-sea. A synopsis. *Senckenbergiana Maritima* **36**:123-164.
- Leopold, M.F. 1996. *Spisula subtruncata* als voedselbron voor zee-eenden in Nederland. BEON Rapport nr. 96-2. 58 pp., Bureau BEON.
- Leopold, M., M. Van Asch, E. Dijkman, K. Goudswaard, S. Lagerveld, and H. Verdaat. 2015. Zwarte zee-eenden bij Texel, een reactie op overvloedig voorkomen van *Ensis*? C084/14, Wageningen-Imares, Wageningen.
- Leote, C. and E. H. G. Epping. 2015. Sediment-water exchange of nutrients in the Marsdiep basin, western Wadden Sea: Phosphorus limitation induced by a controlled release? *Continental Shelf Research* 92:44-58.
- Loebl, M., T. Dolch, and J. E. E. van Beusekom. 2007. Annual dynamics of pelagic primary production and respiration in a shallow coastal basin. *Journal of Sea Research* **58**:269-282.
- Ly, J., C. J. M. Philippart, and J. C. Kromkamp. 2014. Phosphorus limitation during a phytoplankton spring bloom in the western Dutch Wadden Sea. *Journal of Sea Research* **88**:109-120.
- Perdon, K. J., K. Troost, M. van Asch, and J. G. Jol. 2016. WOT schelpdiermonitoring in de Nederlandse kustzone 2016. C093/16, Wageningen University & Research Yerseke.
- Philippart, C. J. M., J. J. Beukema, G. C. Cadée, R. Dekker, P. W. Goedhart, J. M. Van Iperen, M. F. Leopold, and P. M. J. Herman. 2007. Impacts of nutrient reduction on coastal communities. *Ecosystems* **10**:95-118.
- Philippart, C. J. M. and G. C. Cadée. 2000. Was total primary production in the western Wadden Sea stimulated by nitrogen loading? *Helgoland Marine Research* **54**:55-62.
- Rozemeijer M.J.C., de Kok J., de Ronde J.G., Kabuta S., Marx S., van Berkel. G. (2013). Het Monitoring en Evaluatie Programma Zandwinning RWS LaMER 2007 en 2008-2012: overzicht, resultaten en evaluatie. IMARES Wageningen UR rapport C181/13, Deltares rapport 1207903-000-ZKS-004.
- Schellekens, T. (2012): "Groei en conditie van zwaardschede (*Ensis directus*, Conrad) voor, tijdens en na geplande zandwinning in 2013-2017". C089/12. Wageningen IMARES.
- Troost, T. A., J. W. M. Wijsman, S. Saraiva en V. Freitas. (2010). Modelling shellfish growth with dynamic energy budget models: An application for cockles and mussels in the Oosterschelde (southwest Netherlands). *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365:3567-3577.
- Van der Kaaij, T., T. Van Kessel, T. Troost, L. A. Van Duren, and M. T. Villars. 2017. Modelondersteuning MER-Zandwinning; modelvalidatie. 1230888-002, Deltares, Delft.
- van der Wal, D., Wielemaker-van den Dool, A., & Herman, P. M. J. (2010). Spatial synchrony in intertidal benthic algal biomass in temperate coastal and estuarine ecosystems. *Ecosystems*, 13(2), 338–351. <http://doi.org/10.1007/s10021-010-9322-9>
- Weerman, E. J., B. K. Eriksson, H. Olff, and T. van der Heide. 2014. Predation by native brown shrimp on invasive Pacific oyster spat. *Journal of Sea Research* 85:126-130.

- Wijsman, J.W.M. (2011). "Dynamic Energy Budget (DEB) parameters for *Ensis directus*." C116/11. Wageningen IMARES.
- Witteveen+Bos, 2008. "Analyse van de effecten van de KRW-maatregelen op de waterkwaliteit in de Rijkswater", W+B rapport, Deventer.

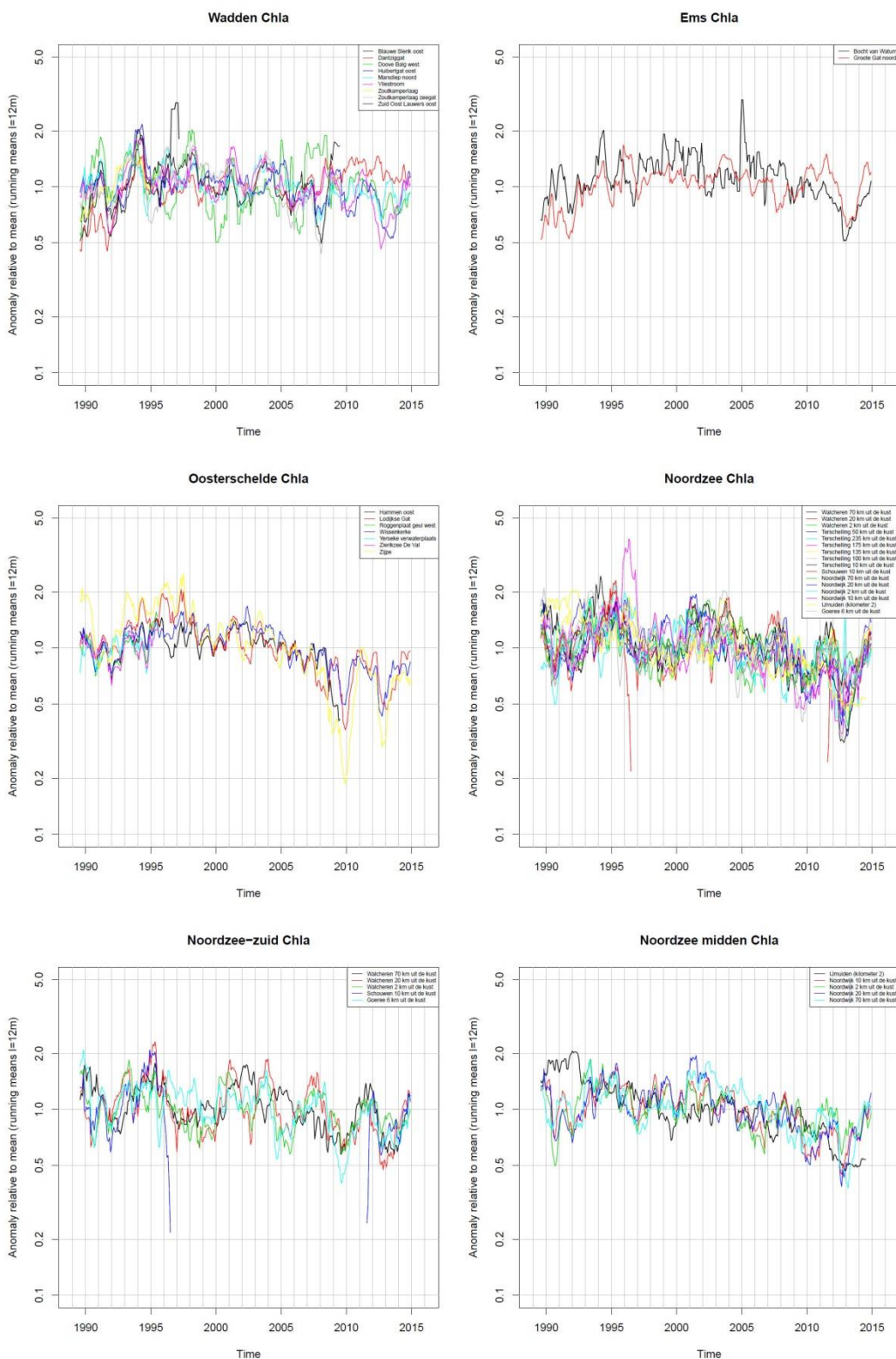
A MWTL analyses

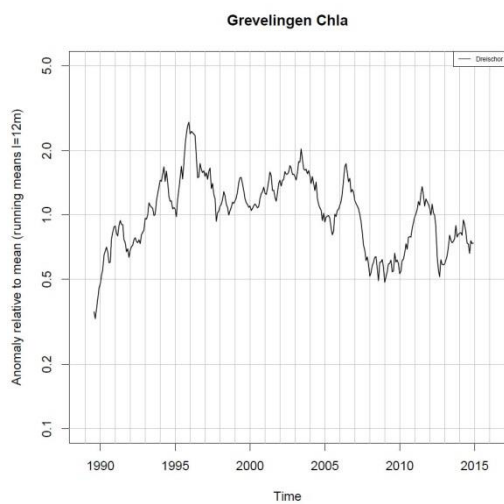
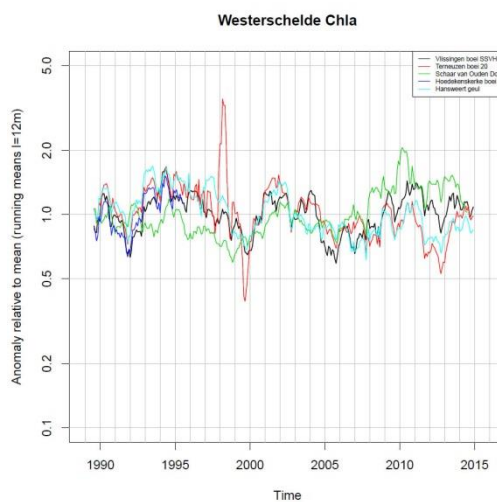
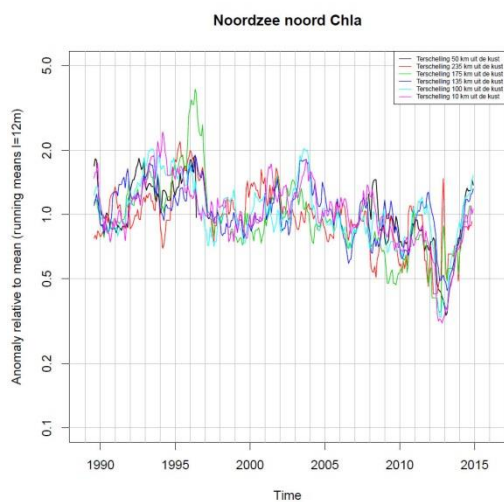
A.1 Analyses SPM



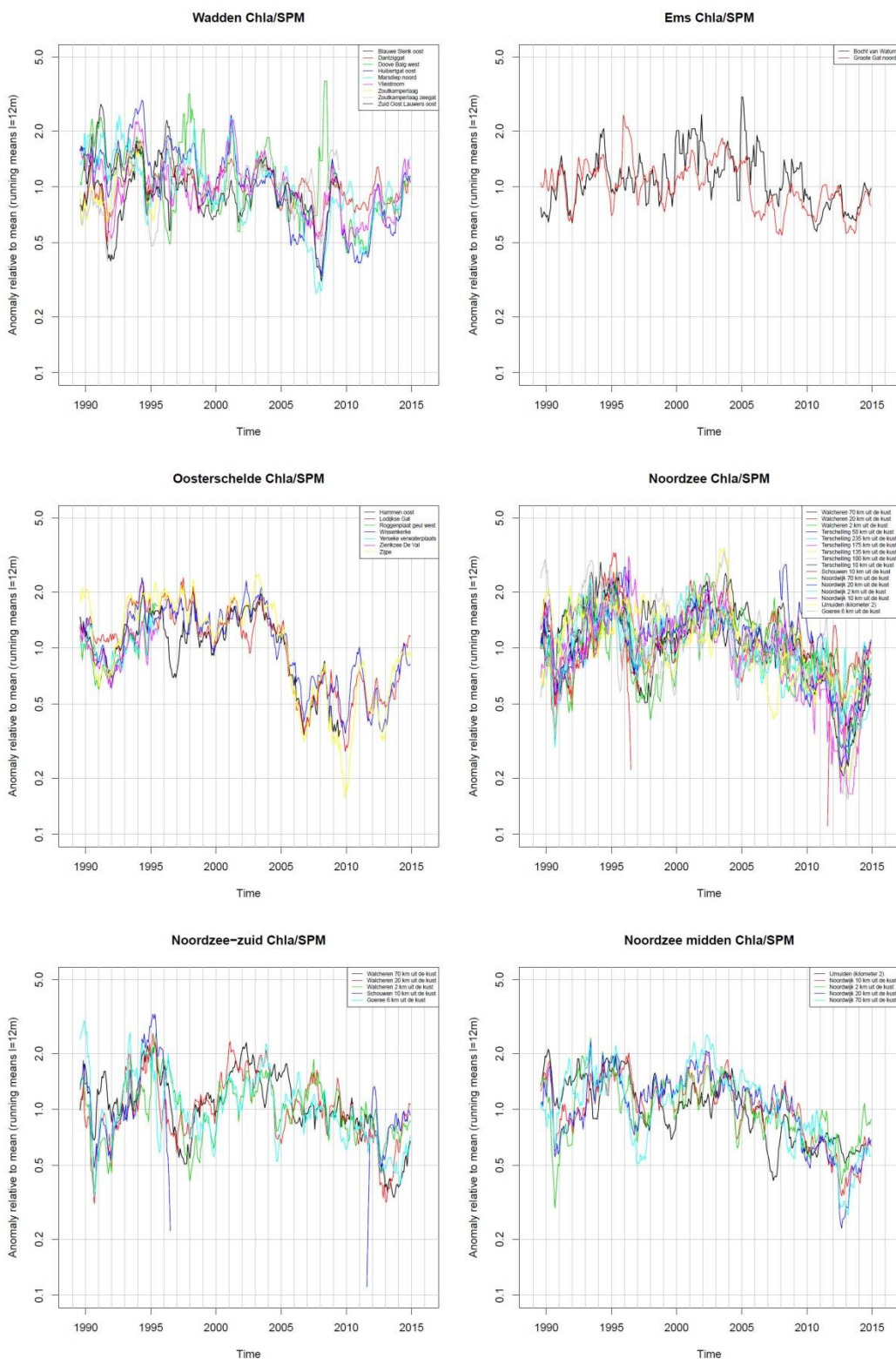


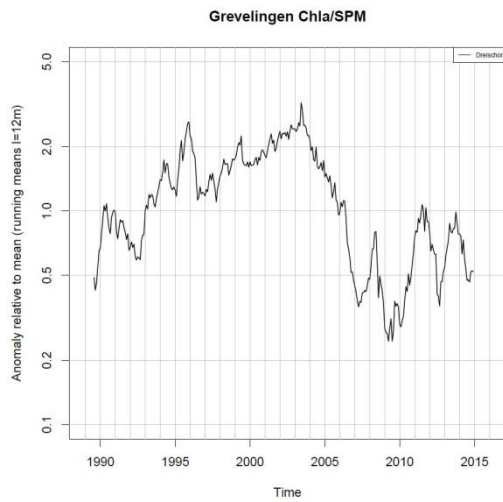
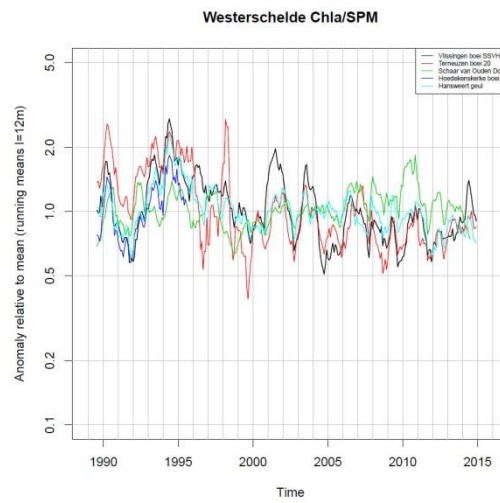
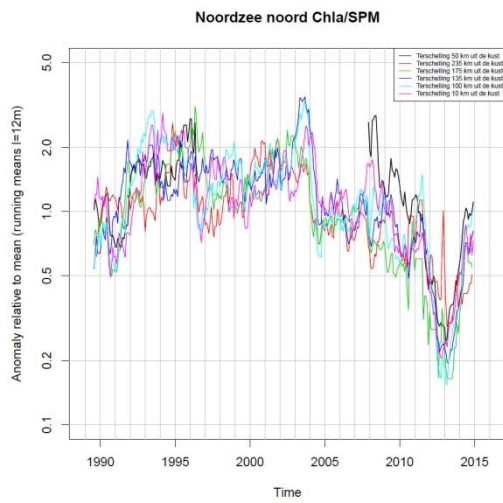
A.2 Analyses Chlorofyl





A.3 Analyses Chlorofyl / SMP





B Memo Jos van Gils m.b.t. effecten van deeltjes op licht

B.1 Aanleiding en vraagstelling

Ten behoeve van de MER Zandwinning worden berekeningen uitgevoerd met gekoppelde modellen voor waterbeweging, slibtransport, lichtdoordringing in de waterkolom, primaire productie en grazers. De effecten worden bepaald van een aantal scenario's voor zandwinning. Bij de zandwinning komt een kleine fractie slib vrij in de waterkolom. De verspreiding van dat slib en de effecten ervan op het onderwaterlichtklimaat moeten worden gekwantificeerd. Daartoe moeten de valsnelheid en de specifieke extinctie (lichtuitdoving per meter waterkolom en per eenheid van concentratie) van dat slib worden vastgesteld.

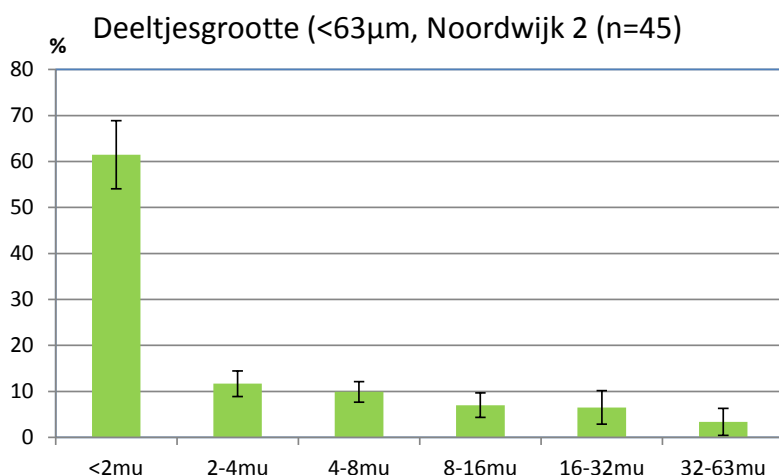
Recent heeft laboratoriumonderzoek plaatsgevonden aan bodemmateriaal, met als doel om vast te stellen waar winbaar zand aanwezig is, en hoe hoog het slibgehalte is van dat zand (Deltares, 2016). Daarnaast is de korrelgrootteverdeling van het slib bepaald, met de bedoeling deze informatie te gebruiken bij de bepaling van de valsnelheid en de specifieke extinctie van het materiaal.

De in het lab gemeten korrelgrootteverdeling laat zien dat de slibfractie ($< 63\mu$) voor een groot deel (meer dan 50%) bestaat uit materiaal $< 2\mu$. Dit zou betekenen dat het materiaal een veel lagere valsnelheid en een veel hogere specifieke extinctie heeft dan "normaal" slib. Deze memo gaat in op de vraag hoe we het vrijkomende slib in de modelsimulaties moeten karakteriseren, in het licht van deze gegevens over samenstelling slib in te winnen zand.

B.1.1 Deeltjesgroottesamenstelling en valsnelheid van zwevend slib

De in de inleiding genoemde informatie over de deeltjesgroottesamenstelling van de slibfractie in het te winnen zand is bepaald met een alternatieve meetmethode. Daarbij is de normaal uitgevoerde voorbehandeling om organisch materiaal en kalk te verwijderen en vlokken kapot te maken achterwege gelaten. Oudere metingen laten zien dat ook met een dergelijke voorbehandeling het slib in zandig bodemmateriaal een grote fractie $< 2\mu\text{m}$ bevat. Bij deze metingen met een zogenaamde sedigraaf wordt de deeltjesgrootte afgeleid uit een met röntgenstraling vastgestelde afname van de slibconcentratie, die daarna wordt omgezet in een equivalente valsnelheid. Deze valsnelheid wordt weer omgezet in een deeltjesgrootte volgens de wet van Stokes. De wet van Stokes relateert voor een cirkelvormig deeltje de valsnelheid aan de diameter van het deeltje. Men meet dus eigenlijk de valsnelheid en niet de deeltjesgrootte.

In DONAR is informatie beschikbaar over de deeltjesgroottesamenstelling bij Noordwijk 2 en Noordwijk 10, gemeten na voorbehandeling om organisch materiaal te verwijderen en vlokken kapot te maken. De fractie $< 2\mu\text{m}$ is groot en vrij constant: $61\pm 7\%$ (Noordwijk2, $n=46$) respectievelijk $62\pm 9\%$ (Noordwijk10, $n=5$). Figuur B.1 illustreert dit voor het station Noordwijk 2. Het voorkomen van significante hoeveelheden kleine deeltjes (geanalyseerd in het lab na voorbehandeling met een deflocculatiemiddel) wordt bevestigd door Talmon (2007). Talmon (2008) vindt overigens geen significante fractie $< 2\mu\text{m}$, mogelijk omdat "De zwevend stof concentraties zijn opvallend laag."



Figuur B.1 Gemeten deeltjesgroottesamenstelling op Noordwijk 2

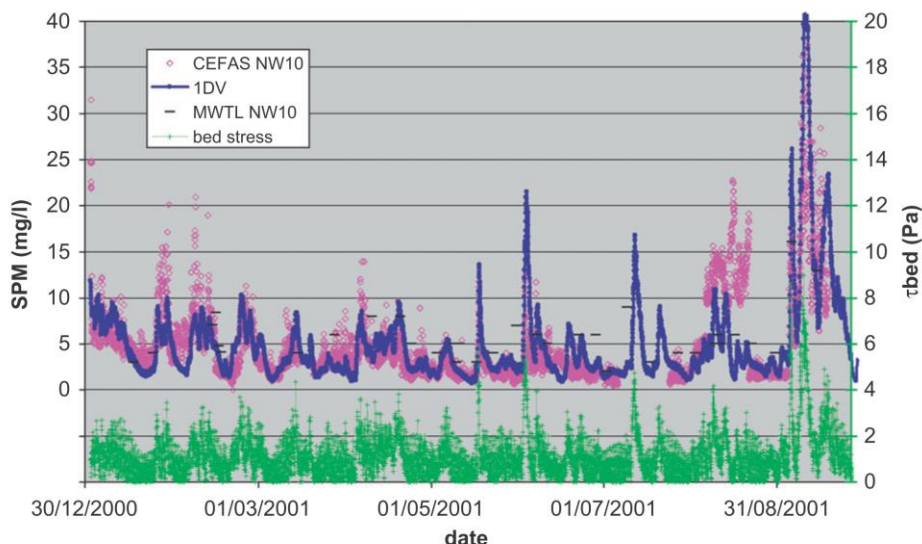
Op basis hiervan concluderen we:

Het slib dat vrijkomt uit het te winnen zand is qua samenstellende deeltjes niet wezenlijk anders dan het "normale" slib.

De in het veld waargenomen sterke fluctuaties in de tijd van de slibconcentraties kunnen alleen worden verklaard als het slib een hoge valsnelheid heeft, van orde 1 mm/s (van Kessel *et al*, 2011, Figuur B.2). Dergelijke valsnelheden zijn ook waargenomen met een in-situ vlokcamera. Hoewel het slib dus aantoonbaar voor een groot deel bestaat uit zeer kleine samenstellende deeltjes, heeft de valsnelheid een hoge waarde die volgens de wet van Stokes niet past bij de kleine samenstellende deeltjes. Dit verschil wordt veroorzaakt door flocculatieprocessen. Het "normale" slib dat dit gedrag vertoont ziet de waterkolom alleen bij stormen (enkele malen per jaar tot eens per 5-10 jaar).

Het ontbreken van een directe relatie tussen de grootte van de deeltjes en de valsnelheid verklaart tevens de lage standaarddeviatie van de fractie < 2 μ m in Figuur B.2.. Als eerst de grote fractie zou sedimenteren, zou de korrelgroottesamenstelling sterk variëren tijdens het sedimentatieproces: bij hoge concentraties zou de fractie < 2 μ m laag zijn, en die fractie zou toenemen tot vrijwel 100% bij lage concentraties. Dat is echter niet te zien.

Het "normale" slib laat in de waterkolom hoge valsnelheden zien, omdat flocculatieprocessen zorgen voor samenklonteren van veel kleinere deeltjes.



Figuur B.2 Vergelijking tussen een 1Dv slibmodel (paarse lijn) en hoogfrequente slibmetingen (wiebertjes) respectievelijk MWTL-metingen (streepjes) in 2001 voor het station Noordwijk 10 (Van Kessel et al., 2011).

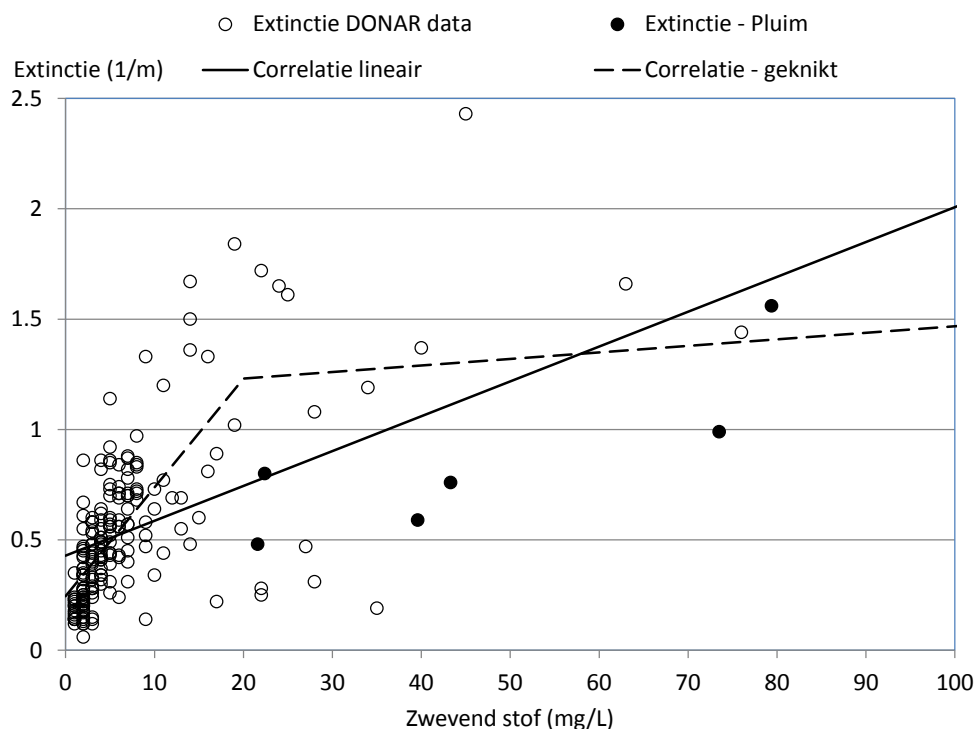
In de praktijk werken we met slibmodellen waarin twee typen deeltjes voorkomen: IM1 en IM2. Als deze deeltjes valsnelheden van 0.125 en 1 mm/s toegekend krijgen en in een 50-50% verhouding in het systeem aanwezig zijn, dan kan hiermee de in het veld optredende concentratie zwevende stof bevredigend worden beschreven. Deze valsnelheden zijn bovendien representatief voor de met een vlokcamera in-situ waargenomen range voor micro- en macrovlokken (Manning en Dyer, 2007).

Wat betekent dit nu voor het slib wat bij zandwinning vrijkomt? We hebben gezien dat de samenstellende deeltjes niet wezenlijk afwijken. Het is echter slib dat waarschijnlijk al vrij lang de waterkolom niet heeft gezien. Daarom zou het flocculatieproces anders kunnen verlopen dan bij het normale slib. De recente laboratoriummetingen lijken dat te bevestigen: het slib lijkt een zeer lage valsnelheid te hebben. Blijkbaar komt in de laboratoriumopstelling het flocculatieproces niet op gang. De representativiteit van deze metingen voor de veldsituatie is echter lastig te beoordelen. Er kunnen schaaleffecten en wandeffecten optreden, de interactie met al aanwezig "gewone" zwevend stof ontbreekt, de biochemie wijkt af, en er is geen stroming en turbulentie. Het is aannemelijk dat het vrijkomende slib zich na enige tijd op dezelfde manier gaat gedragen als het gewone slib omdat het qua samenstelling gelijkaardig is. Maar hoe lang duurt dat? In de volgende paragraaf kijken we naar gegevens over de lichtuitdoving van gewoon slib en slib dat vrijkomt bij zandwinning. Deze gegevens zeggen indirect iets over het gedrag in het natuurlijk systeem.

B.2 Lichtextinctie-eigenschappen van zwevend stof

B.2.1 "Flyland"- analyse

Tatman en van Gils (2003) beschrijven een analyse van de lichtuitdovingseigenschappen van Noordzeewater. De analyse is gebaseerd op simultane waarnemingen van de lichtuitdoving (m^{-1}) geïntegreerd over het zogenaamde Photosynthetically Active Radiation (PAR) spectrum (400-700 nm) en waargenomen waterkwaliteit (zwevend stof, chlorofyl-a, saliniteit en POC). Het aantal waarnemingssets is 202, afkomstig van 9 stations van 2 tot 235 km uit de kust uit de periode 1997-2001. De beschikbare waterkwaliteitsparameters worden geacht de aanwezigheid van humuszuren in zoet water (via de saliniteit), algen (via chlorofyl-a), organische en anorganische deeltjes (zwevend stof en POC) te beschrijven, en het is bekend uit de wetenschappelijke literatuur dat de lichtuitdoving door deze parameters wordt bepaald.



Figuur B.3 Verband tussen de concentratie zwevend stof en de extinctie van PAR, volgens de dataset uit het Flyland project (Tatman & van Gils, 2003). Open symbolen zijn metingen van "normaal" slib. Dichte symbolen zijn "from a survey in a silt plume originating from sand extraction activities". De doorgetrokken lijn laat de lineaire correlatie zien ($R^2 = 0.28$). De onderbroken lijn laat de lineaire correlatie zien met een knik bij 20 mg/L ($R^2 = 0.45$).

Volgens de analyse van Tatman en van Gils is niet zwevend stof maar POC de waterkwaliteitsparameter die de grootste invloed heeft op de extinctie. Maximaal 60% van de variabiliteit in waargenomen extinctie is te verklaren door variatie in POC, het zoutgehalte en 2 fracties van de gloeirest (berekend als zwevend stof – 2.5 * POC). Tatman en van Gils beschikten niet over deeltjesgrootte-informatie. De scheiding in fracties is gemaakt op basis van een concentratiegrens (15 mg/L voor gloeirest; 20 mg/L voor zwevend stof). Dat is in overeenstemming met een denkmodel waarin twee soorten deeltjes voorkomen. De sneller vallende deeltjes komen alleen voor bij hoge concentraties en hebben een relatief kleine uitdoving. De langzamer vallende deeltjes blijven gemakkelijker in suspensie en hebben een relatief grote uitdoving. De bijdrage aan de extinctie van hogere concentraties gloeirest respectievelijk zwevend stof blijkt meer dan een orde van grootte kleiner dan de bijdrage bij lage concentraties.

Figuur B.3 laat zien hoe de gemeten uitdoving samenhangt met de concentratie zwevend stof. Er is een grote spreiding zichtbaar die onder meer samenhangt met de organische fractie in het slib. De punten uit de slibpluim vallen binnen de spreiding van de "gewone" punten. Er zijn geen aanwijzingen voor de aanwezigheid van kleine ongeflocculeerde deeltjes die een relatief sterk effect op de extinctie zouden hebben. Dan zouden de dichte symbolen veel hoger hebben gelegen.

B.2.2 De Flyland-analyse in een breder perspectief

In de Flyland-analyse kon 60% van de variabiliteit in de extinctie worden verklaard met behulp van de gemeten waterkwaliteitsparameters. Dat lijkt weinig, maar het is een typisch resultaat voor een dergelijke analyse. Er zijn diverse redenen te geven waarom dit soort correlaties niet perfect is:

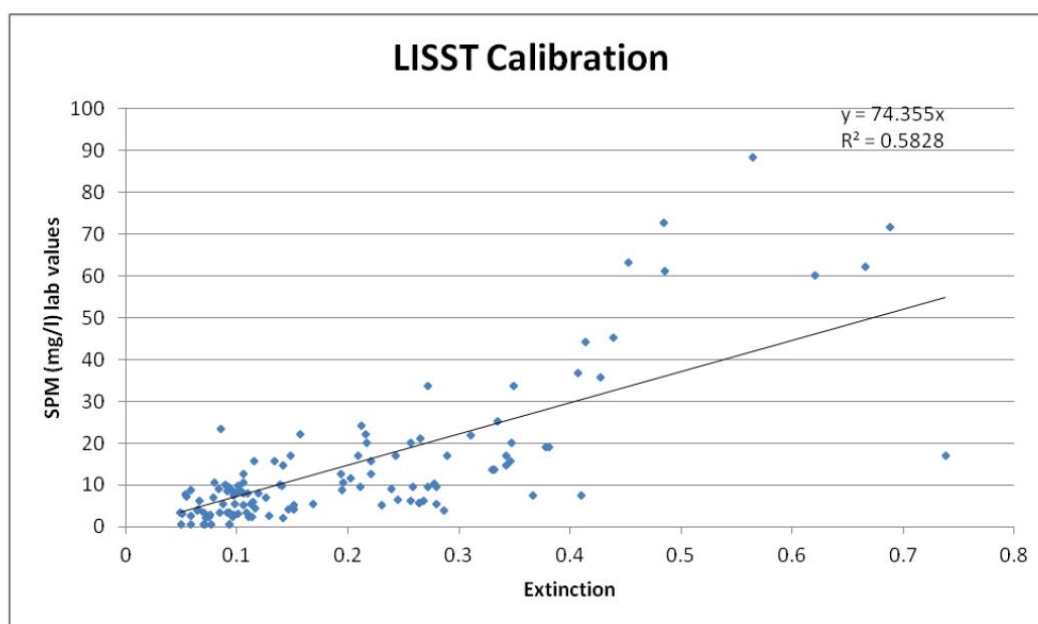
- meetfouten;
- het gebruik van afgeleide grootheden (in dit geval: gloeirest = zwevend stof – POC*2.5);
- het gebruik van het zoutgehalte als een proxy voor humuszuren (in werkelijkheid heeft niet alle zoetwater altijd dezelfde concentratie aan humuszuren);
- de heterogeniteit van wat we POC, gloeirest en humuszuren noemen (in dit geval extra relevant omdat gegevens van het gehele NCP zijn gebruikt);
- niet-lineariteiten die ontstaan door de extinctie, die golflengteafhankelijk is, te middelen over het volledige PAR spectrum (dit leidt ertoe dat de specifieke extinctie van een bepaald bestanddeel in het veld de neiging heeft af te nemen met de concentratie).

Deltares is in 2016 betrokken geweest bij een vergelijkbaar onderzoek in Adelaide (South Australia), waar de lichtuitdoving werd onderzocht als gevolg van lozingen van zuiveringsinstallaties en rivieren, met het oog op de beschikbaarheid van licht voor zeegras. In die studie (Fernandes *et al.*, 2016) kon 67% van de variatie in de waargenomen extinctie verklaard worden door chlorofyl-a, UV-absorptie (een maat voor de hoeveelheid humuszuren), zwevend stof < 63µm en zwevend stof > 63µm (optisch bepaald in situ met een LISST²). Dit onderzoek leverde zeer vergelijkbare resultaten op voor de specifieke extinctie van gloeirest en POC. Ook hier vond men een lage specifieke extinctie voor grove fractie zwevend stof. De iets hogere verklaarde variatie in extinctie is waarschijnlijk te wijten aan het direct meten van de concentratie humuszuren en het kleinere studiegebied waardoor een grotere homogeniteit in de verklarende parameters mag worden verwacht. Fernandes claimt dat in vergelijking met soortgelijke studies onder meer in de VS de verklaarde variatie van de extinctie hoog is.

Tenslotte is relevante informatie voorhanden uit een dataset verzameld door het Havenbedrijf Rotterdam (van Tongeren, 2016). Deze “Silt Profiler” dataset is verzameld in de kustzone van Noord- en Zuid-Holland en Zeeland, in de periode 2007-2013 en omvat ca. 300 meetmomenten. Volgens van Tongeren is gemeten onder normale condities en in slibpluimen tijdens zandwinning. Er is nog geen analyse van deze gegevens beschikbaar. Interessant voor dit onderzoek is de calibratiecurve van de extinctiesensor van de gebruikte LISST, zie Figuur B.4. Deze calibratiecurve kan worden vergeleken met de correlatie tussen extinctie en zwevend stof uit het Flyland-onderzoek (Figuur B.3) wanneer de assen worden verwisseld. Belangrijk is dat de LISST-extinctie is gemeten bij één golflengte, terwijl de Flyland extinctie is bepaald over het PAR-spectrum (400-700 nm)³. Dit verklaart de veel betere correlatie tussen extinctie en zwevend stof in de LISST-calibratiecurve. Bij één bepaalde golflengte mag een veel consistentere verband worden verwacht. In de calibratiecurve zijn de punten gemeten in slibpluimen niet meer herkenbaar. Opvallend is dat ook de calibratiecurve een knik laat zien in het verband tussen extinctie en zwevend stof. Bij een gehalte van 20-30 mg/L buigt de lijn omhoog. Vanwege de omwisseling van de assen is dit equivalent met de knik omlaag in de Flyland-figuur.

² Een instrument dat met behulp van laserdiffractie in-situ de korrelgrootteverdeling en de lichtuitdoving meet.

³ Dit aspect is ten onrechte niet vermeld tijdens de projectvergadering op 19 december 2016.



Figuur B.4 Calibratiecurve van de extinctiesensor van de LISST (van Tongeren, 2016). De geregistreerde extinctie is uitgezet tegen de in het laboratorium gemeten concentratie zwevend stof.

B.2.3 Discussie

Uit de in deze paragraaf gepresenteerde informatie maken we op dat snel vallende deeltjes, die de overhand hebben bij hoge concentraties, een veel lagere specifieke extinctie hebben dan langzaam vallende deeltjes die de overhand hebben bij lagere concentraties. Dit beeld is vastgesteld in het Flyland-onderzoek, en wordt ook elders in de wereld aangetroffen. Recente “Slib-profiler” gegevens uit de kustzone lijken dit beeld te bevestigen.

Het Flyland-onderzoek laat zien dat metingen van de lichtextinctie in slibpluimen binnen de range van metingen onder normale omstandigheden liggen. Er zijn weliswaar maar 6 datapunten beschikbaar, en de spreiding in de datapunten is groot, maar:

De informatie uit het Flyland-onderzoek geeft geen indicatie dat slibdeeltjes in een slibpluim zich qua lichtextinctie wezenlijk anders gedragen dan gewone slibdeeltjes.

Hoewel de LISST-calibratiecurve uit de “Slib-profiler” dataset geen expliciet onderscheid maakt tussen normale metingen en metingen in pluimen, vormt de goede correlatie tussen extinctie en zwevend stof opnieuw een aanwijzing dat er weinig verschil is tussen beide.

Als het zo zou zijn dat de bij zandwinning vrijkomende deeltjes zich in meerderheid initieel als ongeflocculeerde kleine deeltjes zouden verspreiden, dan zou bij de relatief hoge concentraties in zo’n pluim een relatief hoge extinctie worden waargenomen. De Flyland-metingen laten zien dat dit niet het geval is, en daarom:

Op grond van de informatie uit het Flyland-onderzoek is het aannemelijk dat het flocculatieproces van vrijkomende slibdeeltjes in een slibpluim snel op gang komt.

B.3 Conclusie

Op basis van de in dit memo gepresenteerde informatie concluderen we dat het aannemelijk is dat het bij zandwinning vrijkomende slib zich effectief gezien op dezelfde manier gedraagt als gewoon slib (hoewel het al enige tijd de waterkolom niet heeft “gezien”). Het flocculatieproces,

dat zorgt voor veel hogere effectieve valsnelheden dan die zijn waargenomen in recent labonderzoek, komt blijkbaar vrijwel direct op gang.

Daarom moet het vrijkomende slib ook in het slibmodel dezelfde eigenschappen worden toegekend als gewoon slib. Dat houdt in dat het als twee fracties (IM1-IM2) wordt geloosd in een verhouding 50%-50%.

We merken op dat deze aanpak dezelfde is als die gehanteerd is bij de berekeningen voor de vorige MER (Harezlak et al., 2012).

Het is bij een MER belangrijk dat de effecten van een voorgenomen activiteit niet worden onderschat. Als we de nu voorgestelde keuze afwegen tegen het alternatief, het lozen van slib met een hoge fractie kleine ongeflocculeerde deeltjes met een lage valsnelheid, is niet op voorhand te zeggen welke van de twee opties de grootste effecten te weeg zal brengen. Enerzijds zorgt een grote fractie kleine deeltjes voor sterkere en langer aanhoudende effecten ten tijde van baggeren. Anderzijds is de verblijftijd van kleine, langzaam vallende deeltjes in de kustzone wezenlijk kleiner dan die van deeltjes die sneller in de bodem terechtkomen en slechts bij stormen weer opwervelen. De nu gekozen optie zal dus leiden tot mildere, maar langer aanhoudende effecten.

Tenslotte merken we op dat het gebruikte lichtmodel niet de kleinere specifieke extinctie van grotere deeltjes bevat. Daarmee is het waarschijnlijk dat de gesimuleerde PAR-extinctie bij hoge slibgehalten wordt overschat, en dat de effecten van de voorgenomen baggeractiviteiten op de lichtdoordringing in de waterkolom worden overschat. Dat wil overigens niet zeggen dat de effecten op de ecologie worden overschat. De samenhang tussen lichtbeschikbaarheid en primaire productie is immers niet lineair, en er zijn andere factoren die de primaire productie kunnen limiteren, bijvoorbeeld de beschikbaarheid van voedingsstoffen.

Ondanks de bovenstaande conclusies, blijft het onbevredigend dat de processen die in het veld optreden direct na het vrijkomen van slib ten gevolge van zandwinning slecht bekend zijn, en dat we daarom niet kunnen uitleggen waarom de resultaten van het laboratoriumonderzoek klaarblijkelijk niet representatief zijn voor wat in het veld gebeurt. De analyse van de "Profiler" dataset van het Havenbedrijf Rotterdam kan dit mogelijk verhelderen. Dat is echter geen snelle en eenvoudige klus die binnen de scope van het lopende project haalbaar is. Het vergt een grondige kennis van alle relevante fysische processen, van het watersysteem, van de gebruikte meetmethoden, van statistiek, etc. Het loont de moeite om de analyse van deze gegevens uit te voeren als onderdeel van het Monitoring- en Evaluatieprogramma, bij voorkeur voorafgaand aan het plannen van nieuw veldonderzoek. De gegevens van Blok (2012) zijn daarbij waarschijnlijk een waardevolle aanvulling, omdat ze in-situ gemeten LISST korrelgrootteverdelingen voor aaneengesloten periodes met hoge temporele resolutie geven.

B.4 Referenties

Blok, B., 2012. Vector en LISST metingen met NIOZ-lander; datarapport. 1204697-000, Deltares, 2012.

Deltares, mondelinge communicatie Deltares Utrecht (2016).

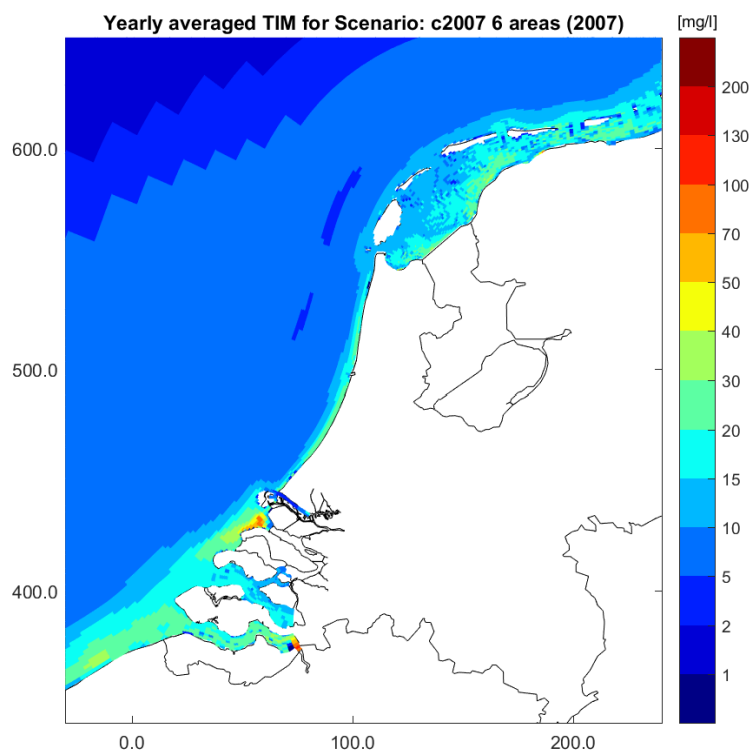
Fernandes, Milena B., Rob Daly, Jos van Gils, Tim Kildea, Sofia Caires and Paul L.A. Erfteijer. Parameterization of an optical model to refine seagrass habitat requirements in an urbanized coastline. Submitted to Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2016.

Harezlak, V., A. Van Rooijen, Y. Friocourt, T. Van Kessel en F. J. Los. 2012. Winning suppletiezend Noordzee Scenariostudies m.b.t. slibtransport, nutriënttransport en primaire productie voor de periode 2013-2017. Deltares report 1204963-000-ZKS-0040, Deltares, Delft.

- van Kessel, Thijs, Han Winterwerp, Bram Van Prooijen, Mathijs Van Ledden, Wil Borst. Modelling the seasonal dynamics of SPM with a simple algorithm for the buffering of fines in a sandy seabed. *Continental Shelf Research*, Volume 31, Issue 10, Supplement, 15 July 2011, Pages S124–S134. Proceedings of the 9th International Conference on Nearshore and Estuarine Cohesive Sediment Transport Processes.
- Manning, A.J., K.R. Dyer, 2007. Mass settling flux of fine sediments in Northern European estuaries: Measurements and predictions. *Marine Geology* 245 (2007) 107 – 122.
- Talmon, 2007, Meetrapport SiltProfilermetingen 22- 24 mei 2007 voor de Noord-Hollandse kust, WL | Delft Hydraulics rapport Z4426).
- Talmon, 2008, Meetrapport Suspensiemetingen Ms Zirfaea bij zandwinning 17, 18 en 19 september voor de Noord-Hollandse kust, Deltares rapport Z4521).
- Tatman, S. en Van Gils, J., 2003. Light penetration in the water column. MARE Report, WL2003001 Z3379. WL | Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands, 38p.
- van Tongeren, 2016. Siltprofiler data collected for Maasvlakte 2. Description of the raw and processed data; Manual for the MATLAB procedure to process the data. Havenbedrijf Rotterdam

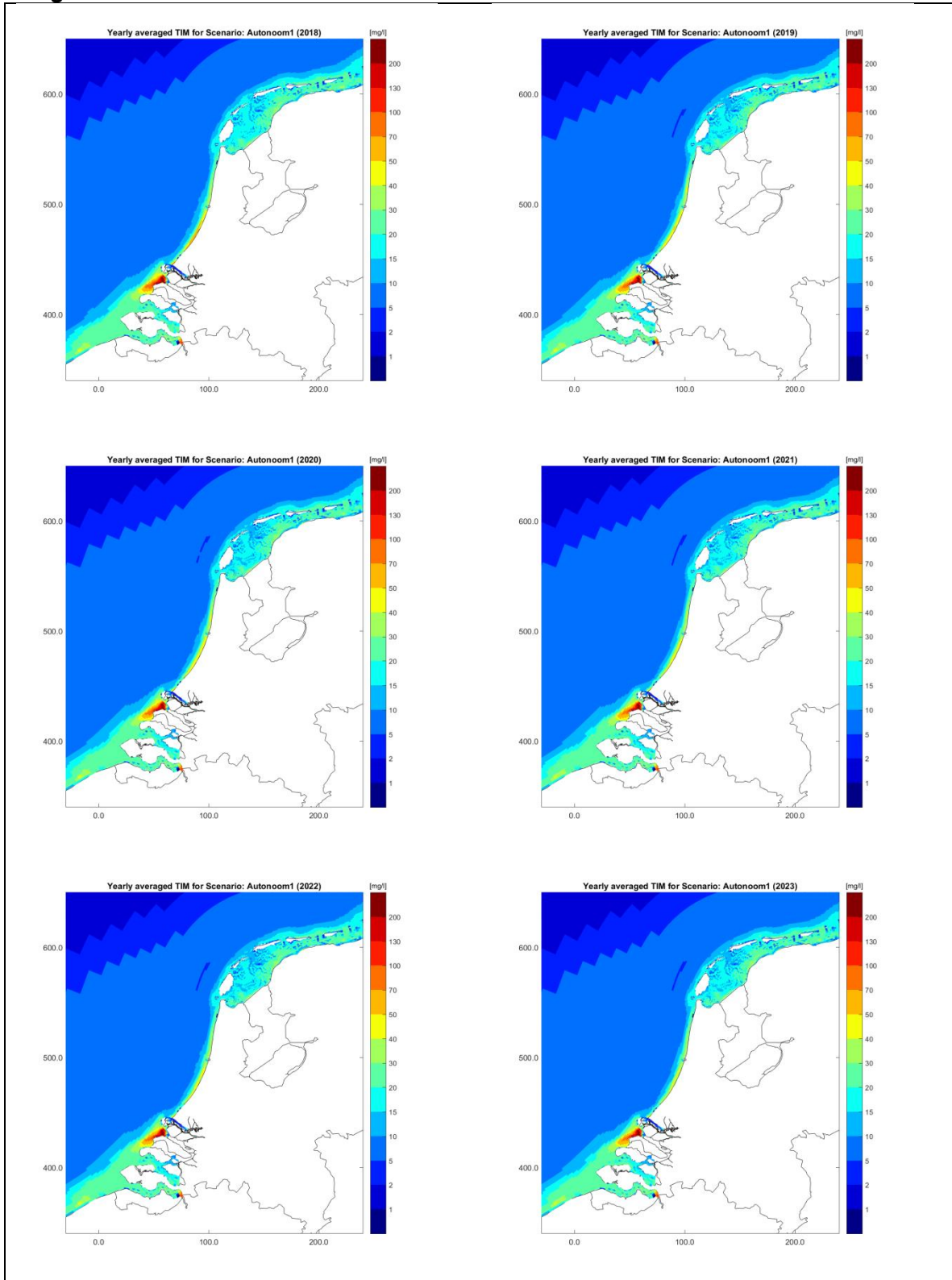
C Bijlage slib

C.1 Achtergrondconcentraties slib

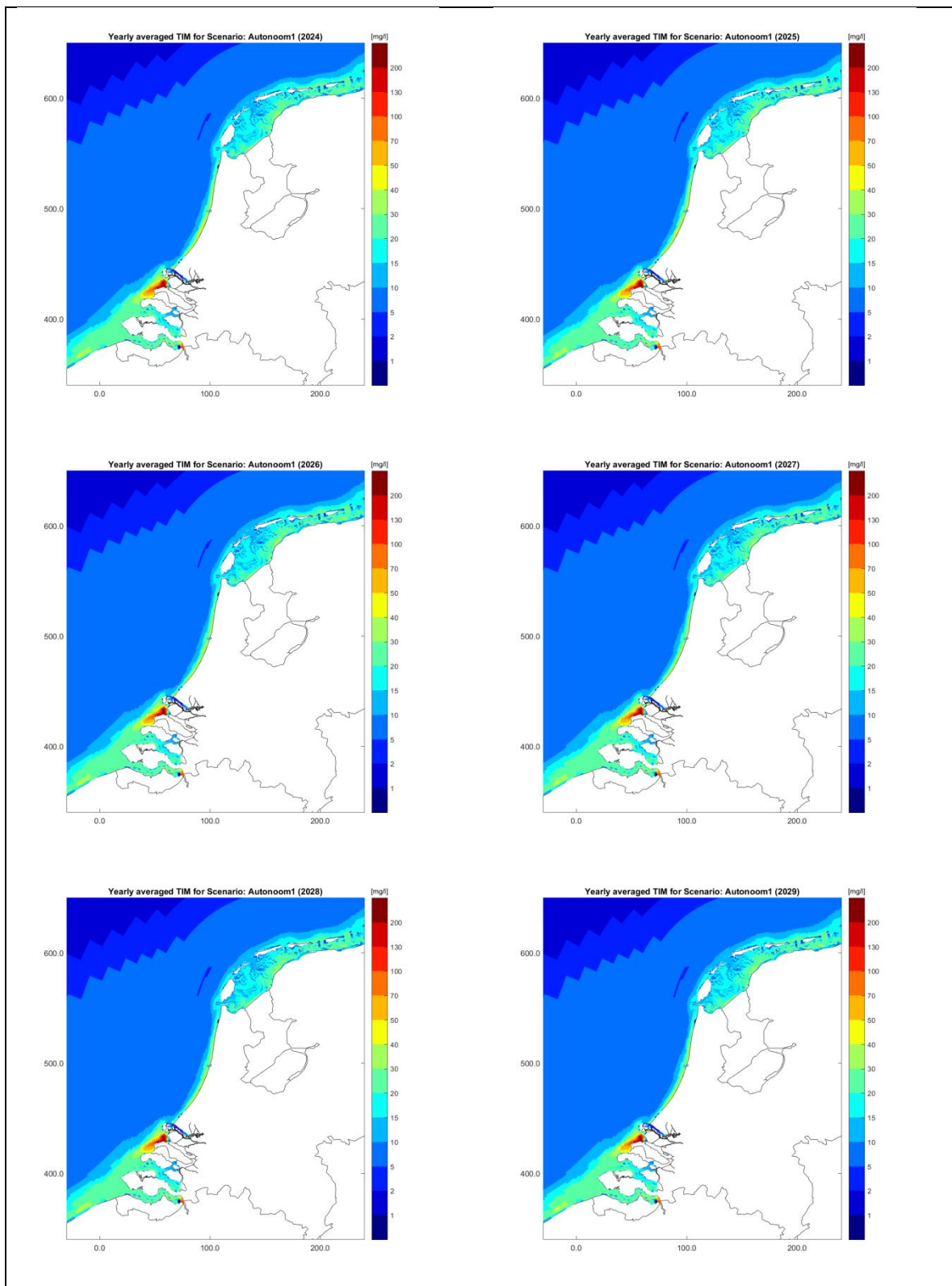


Figuur C.1 Jaargemiddelde natuurlijke (achtergrond) slibconcentraties in de oppervlaktelaag (jaar = 2007).

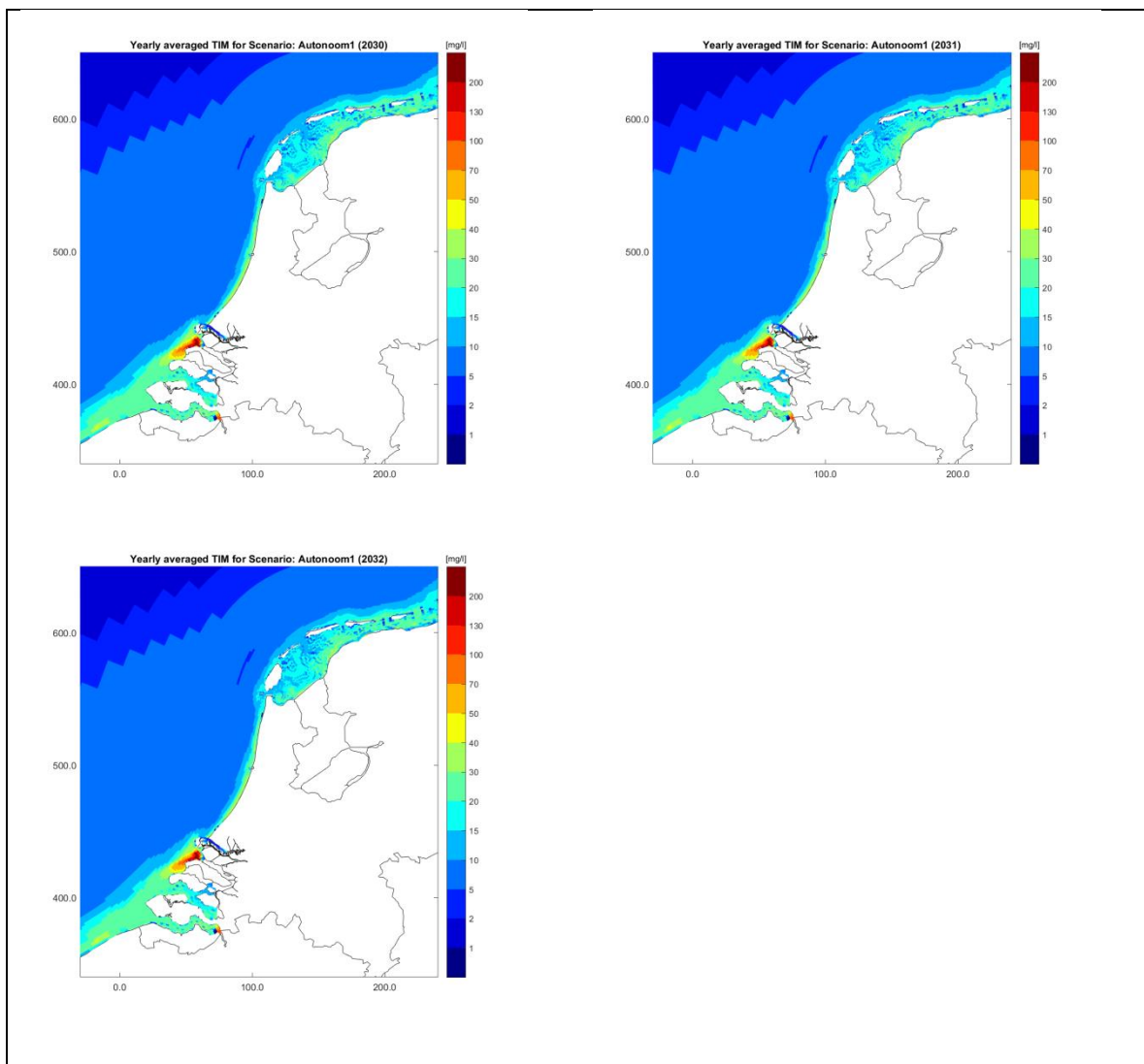
C.2 vergunde situatie



Figuur C.2 Jaargemiddelde slibconcentraties in de oppervlaktelaag voor de vergunde situatie (bestaande uit de natuurlijke achtergrond, reeds gegunde zandwinactiviteiten en stortingen) voor de periode 2018-2023



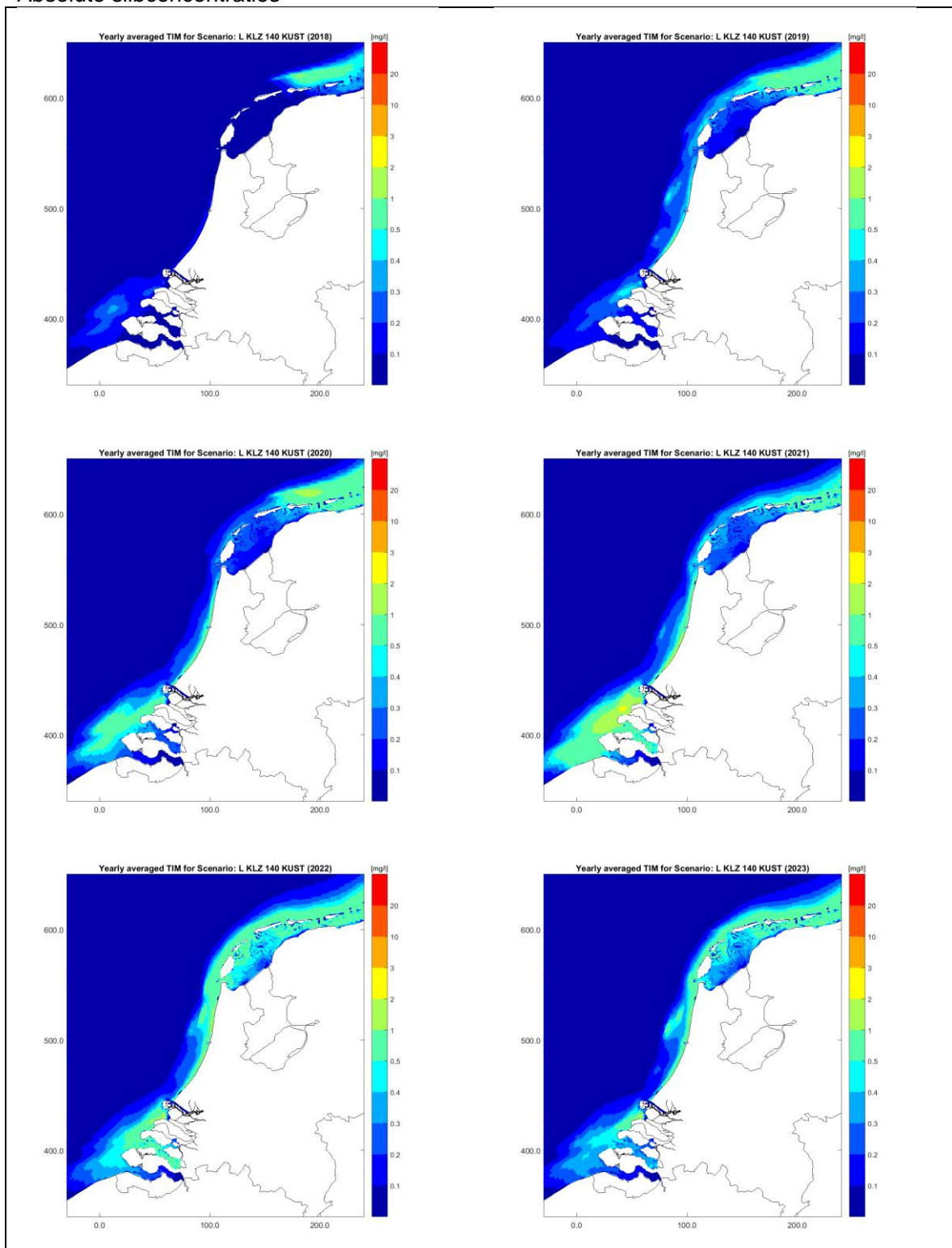
Figuur C.3 Jaargemiddelde slibconcentraties in de oppervlaktelaag voor de vergunde situatie (bestaande uit de natuurlijke achtergrond, reeds gegunde zandwinactiviteiten en stortingen) voor de periode 2024-2029



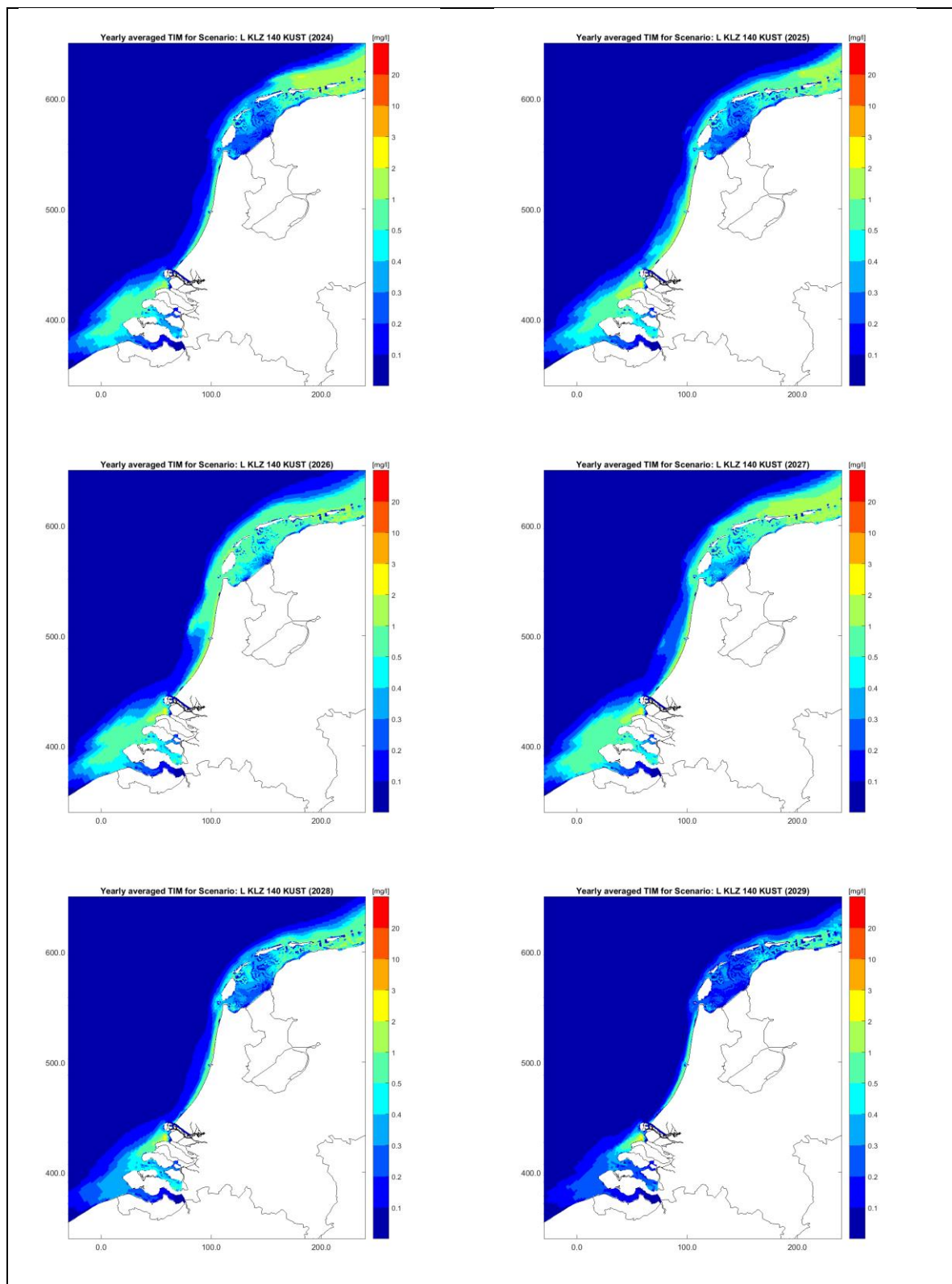
Figuur C.4 Jaargemiddelde slibconcentraties in de oppervlaktelaag voor de vergunde situatie (bestaande uit de natuurlijke achtergrond, reeds gegunde zandwinactiviteiten en stortingen) voor de periode 2030-2032

C.3 Effecten zandwinstscenario RWS KLZ 140 Mm³ kustwaarts

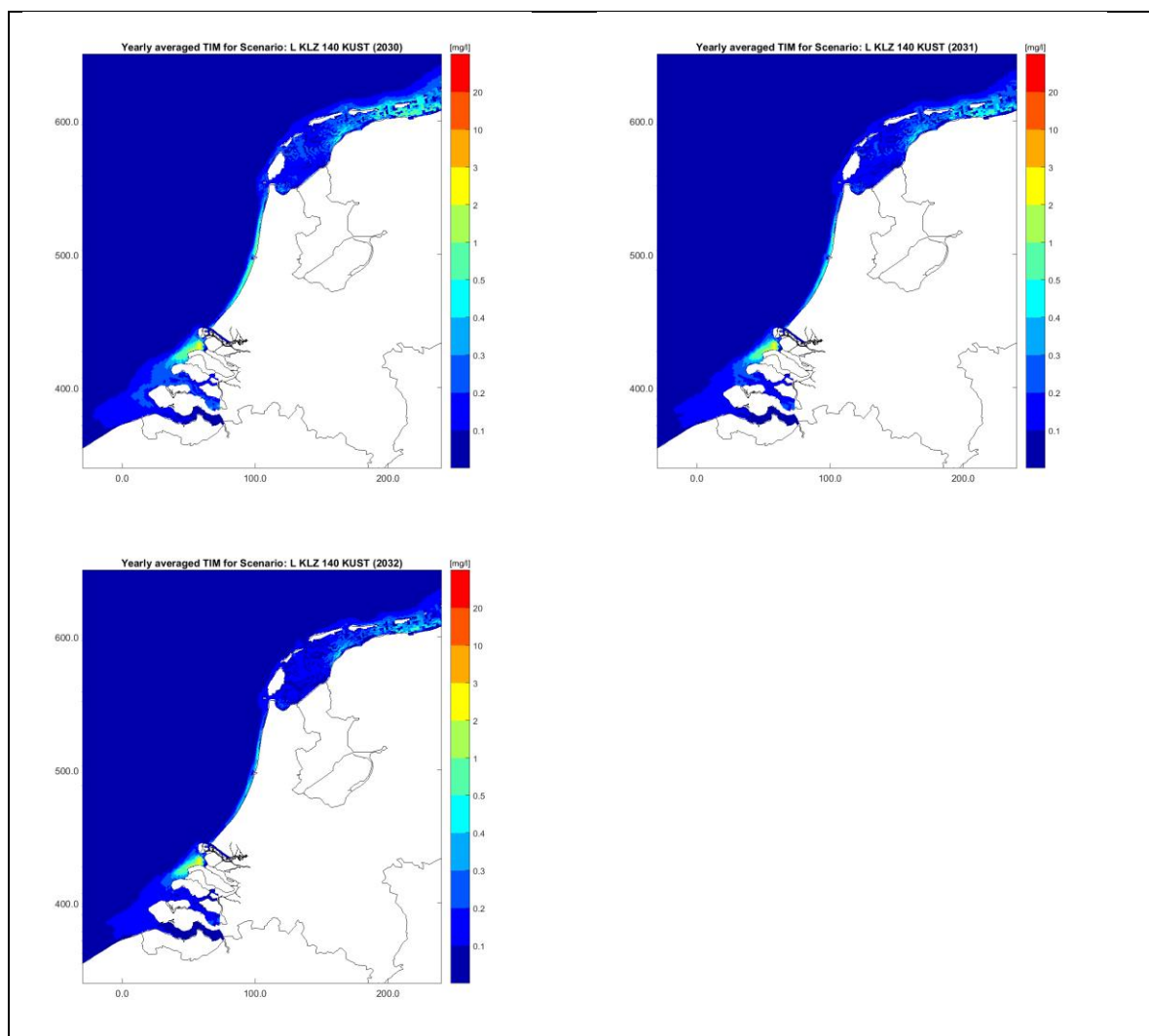
C.3.1 Absolute slibconcentraties



Figuur C.5 Toename jaargemiddelde slibconcentraties (in mg/l) in de oppervlaktelaag als gevolg van scenario RWS KLZ 140 Mm³ (kustwaarts) voor de periode 2018-2023.

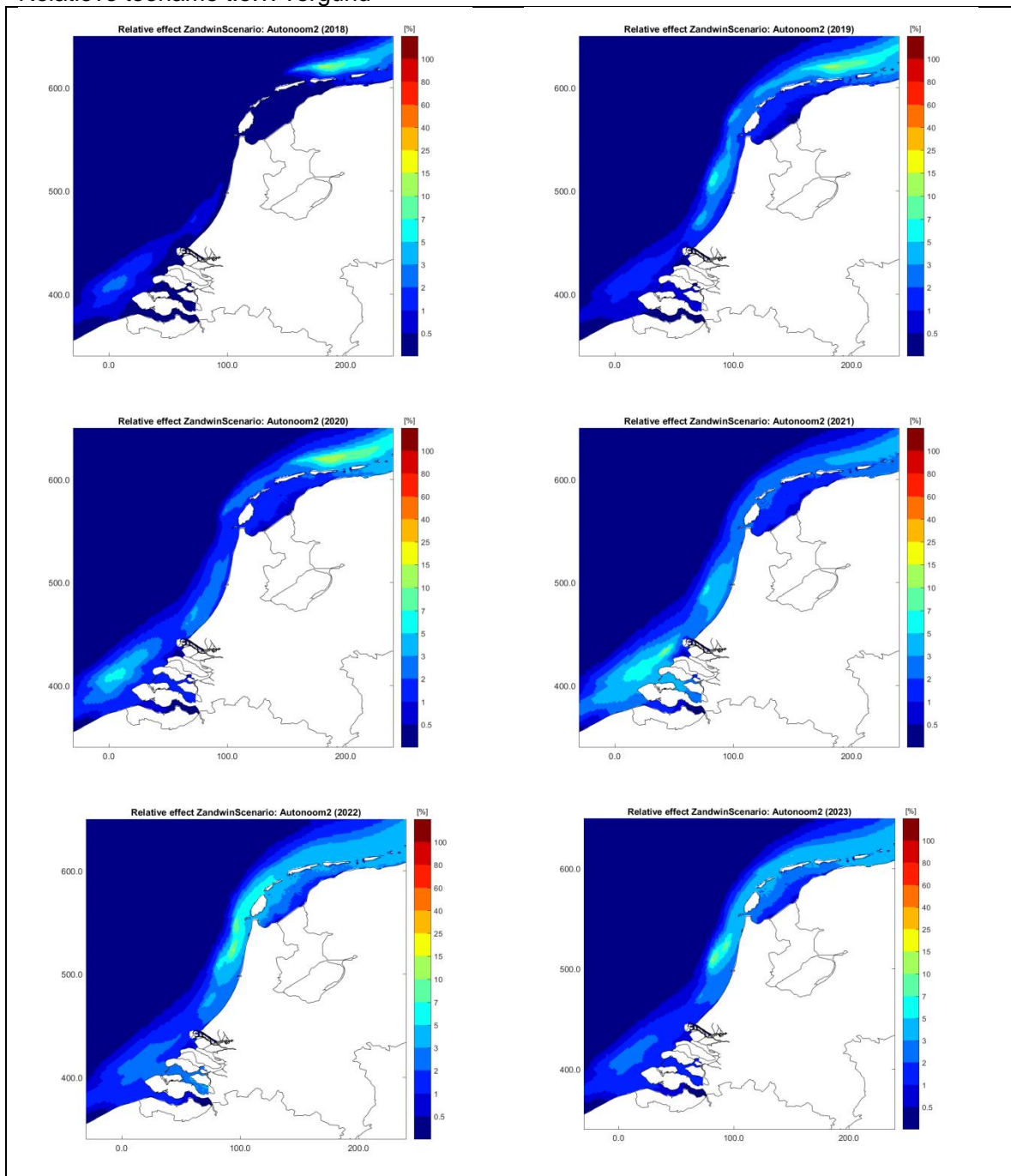


Figuur C.6 Toename jaargemiddelde slibconcentraties (in mg/l) in de oppervlaktelaag als gevolg van scenario RWS KLZ 140 Mm³ (kustwaarts) voor de periode 2024-2029.

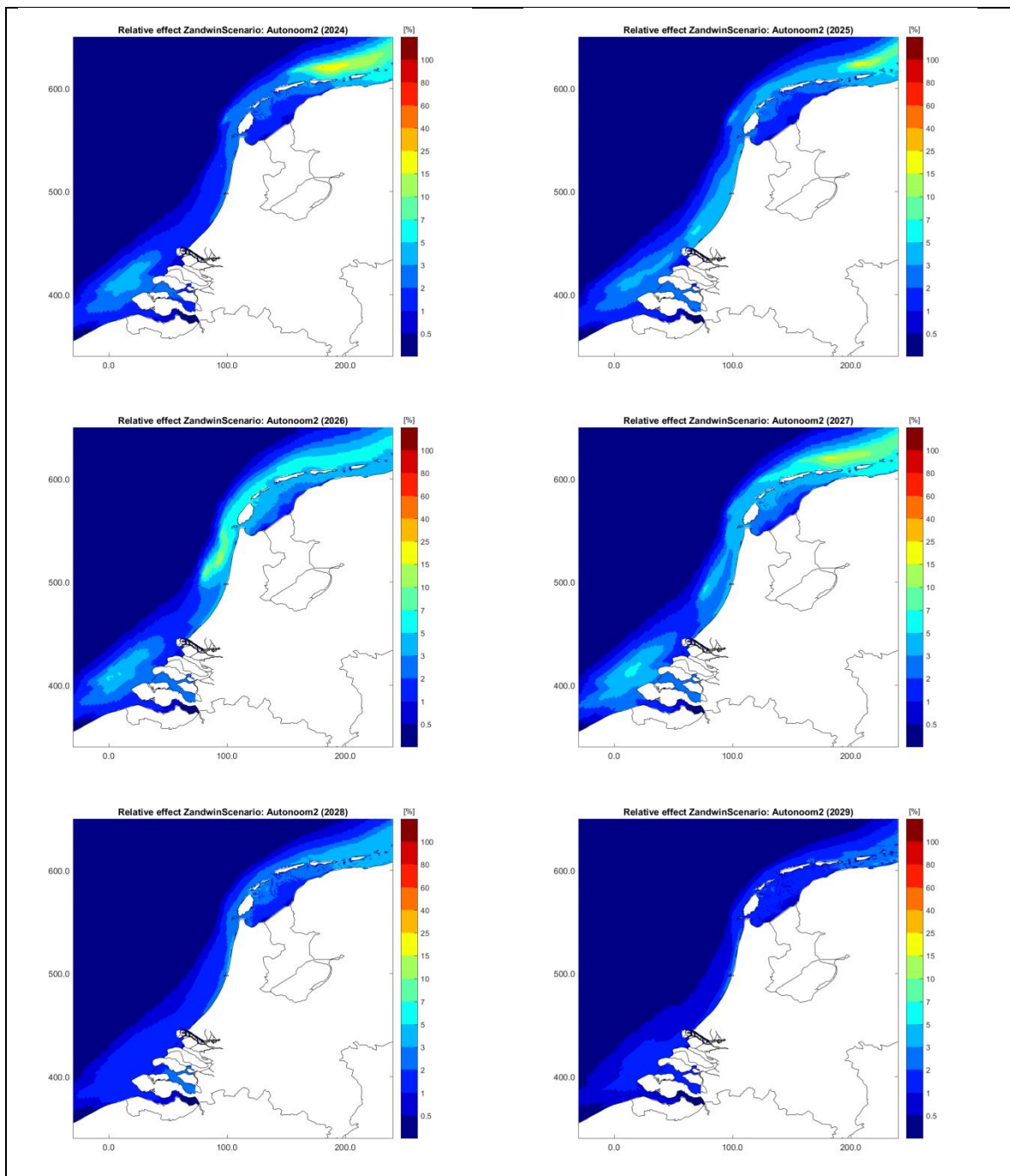


Figuur C.7 Toename jaargemiddelde slibconcentraties (in mg/l) in de oppervlaktelaag als gevolg van scenario RWS KLZ 140 Mm^3 (kustwaarts) voor de periode 2030-2032

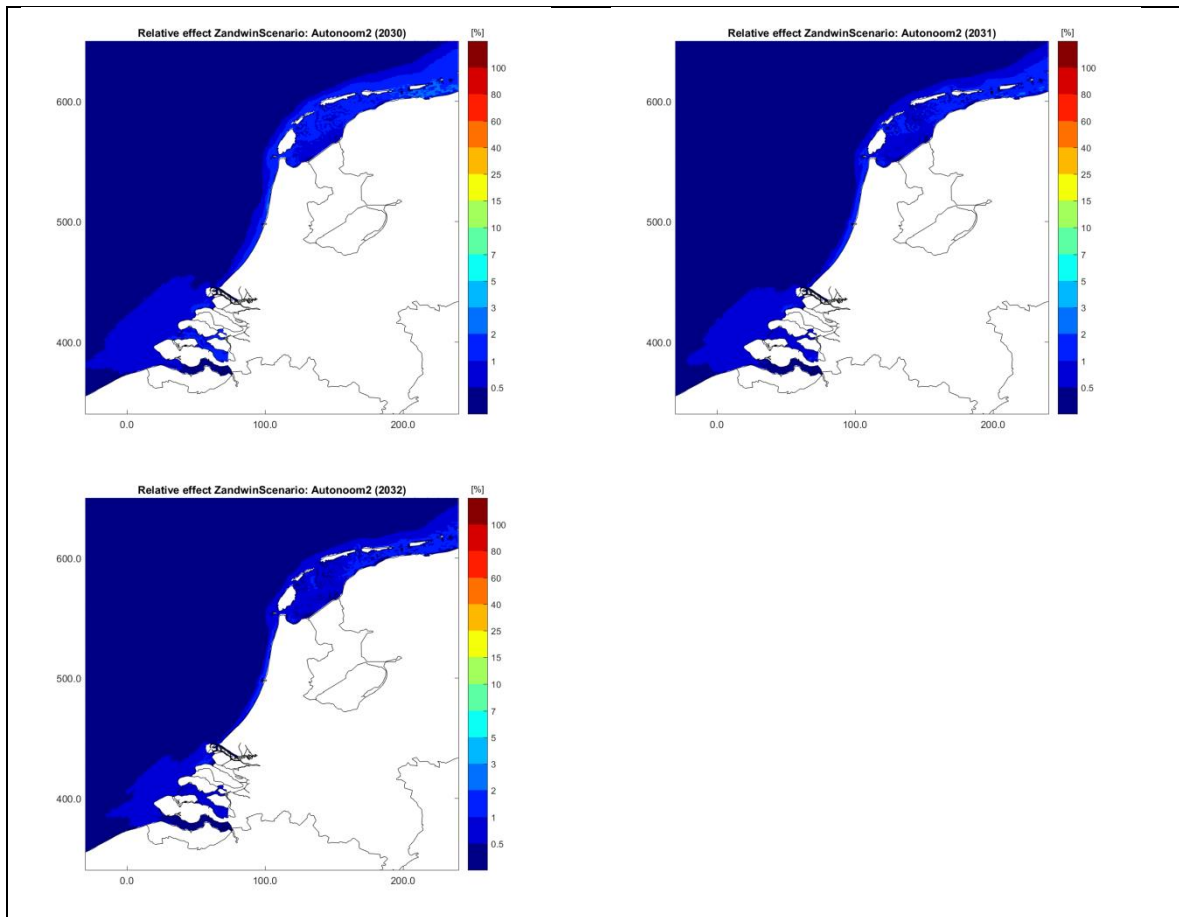
C.3.2 Relatieve toename t.o.v. vergund



Figuur C.8 Toename (in %) van jaargemiddelde slibconcentraties in de oppervlaktelaag als gevolg van scenario RWS KLZ 140 Mm³ (kustwaarts) voor de periode 2018-2023.



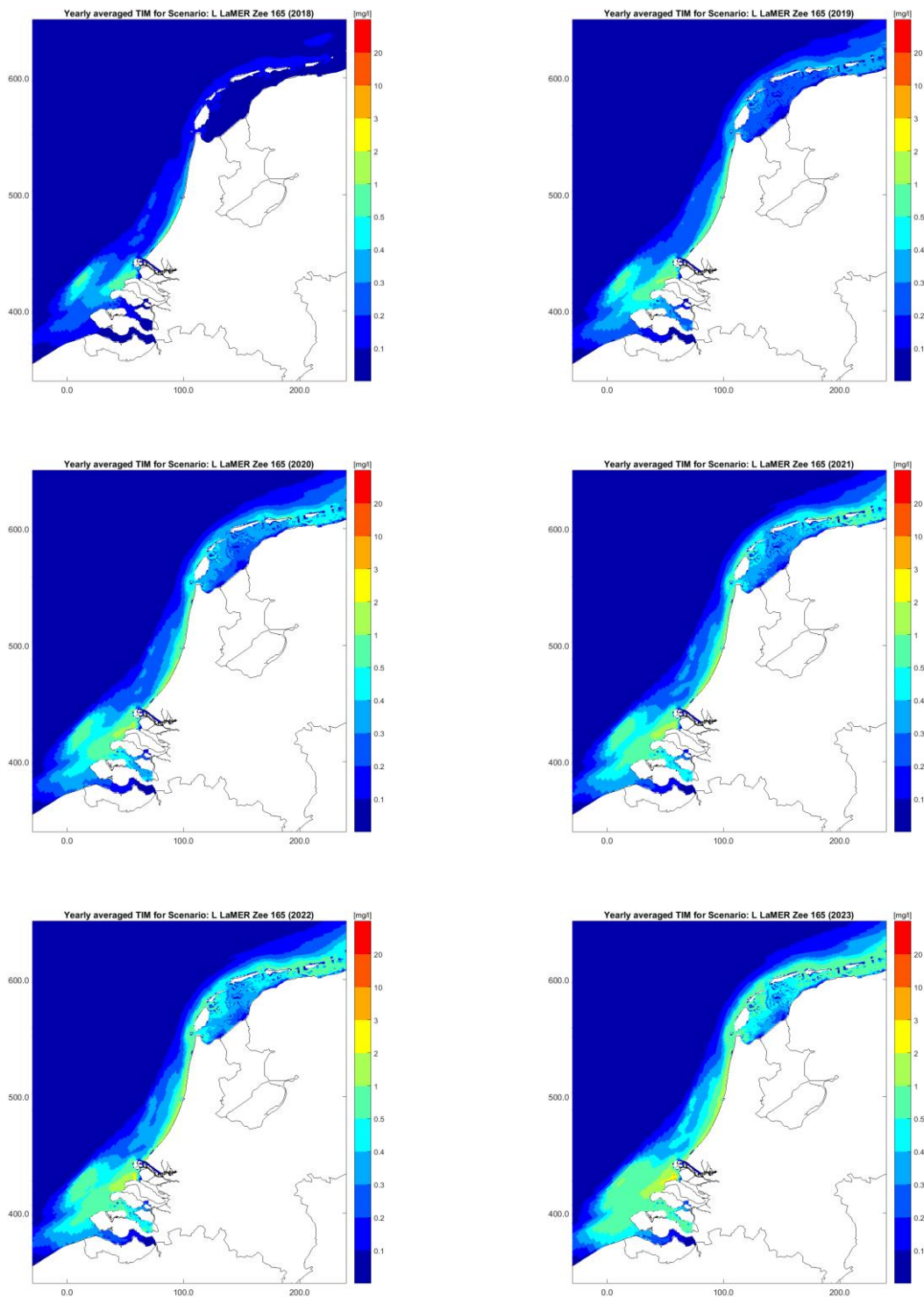
Figuur C.9 Toename (in %) van jaargemiddelde slibconcentraties in de oppervlaktelaag als gevolg van scenario RWS KLZ 140 Mm³ (kustwaarts) voor de periode 2024-2029.



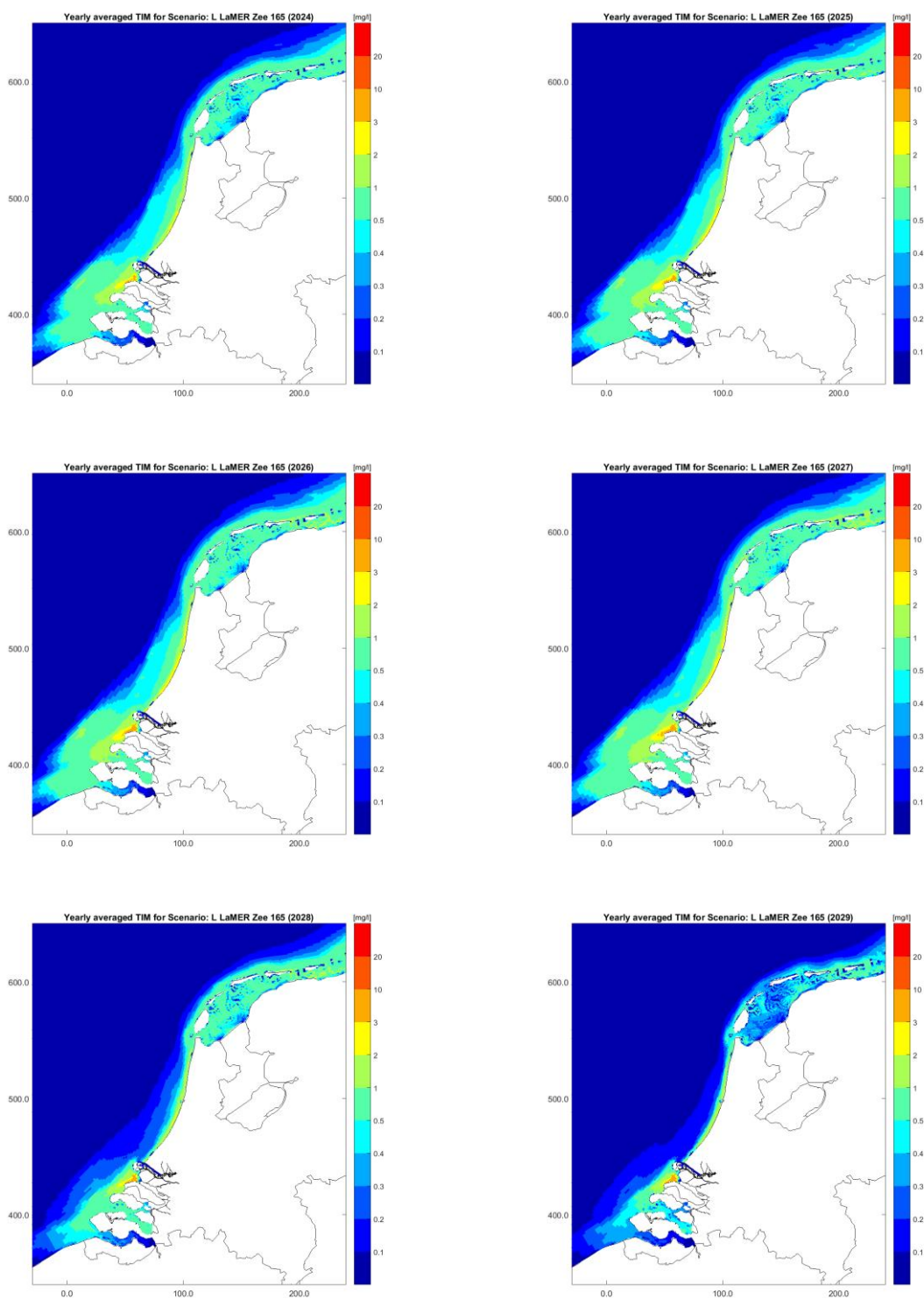
Figuur C.10 Toename (in %) van jaargemiddelde slibconcentraties in de oppervlaktelaag als gevolg van scenario RWS KLZ 140 Mm^3 (kustwaarts) voor de periode 2030-2032

C.4 Effecten zandwinscenario RWS LaMER 165 Mm³ kustwaarts

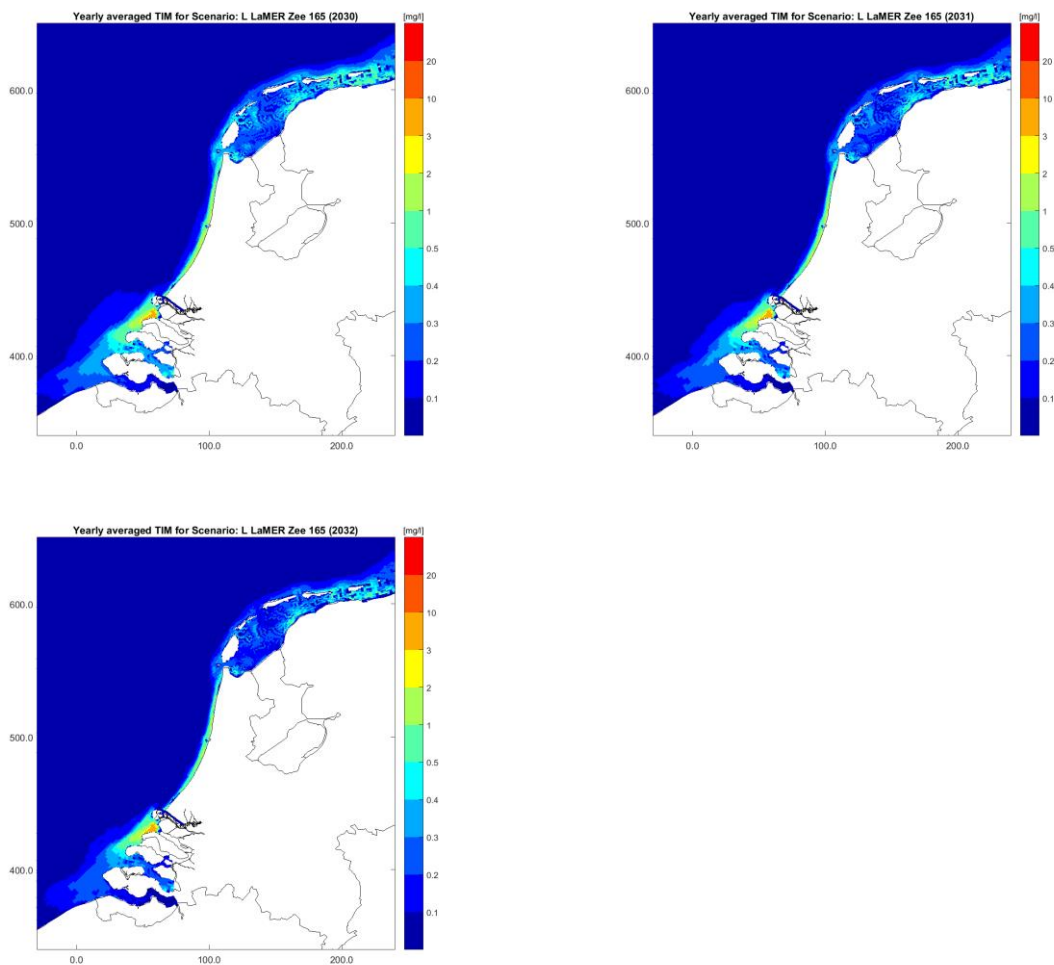
C.4.1 Absolute slibconcentraties



Figuur C.11 Toename jaargemiddelde slibconcentraties (in mg/l) in de oppervlaktelaag als gevolg van scenario LaMER 165 Mm³ (kustwaarts) voor de periode 2018-2023.

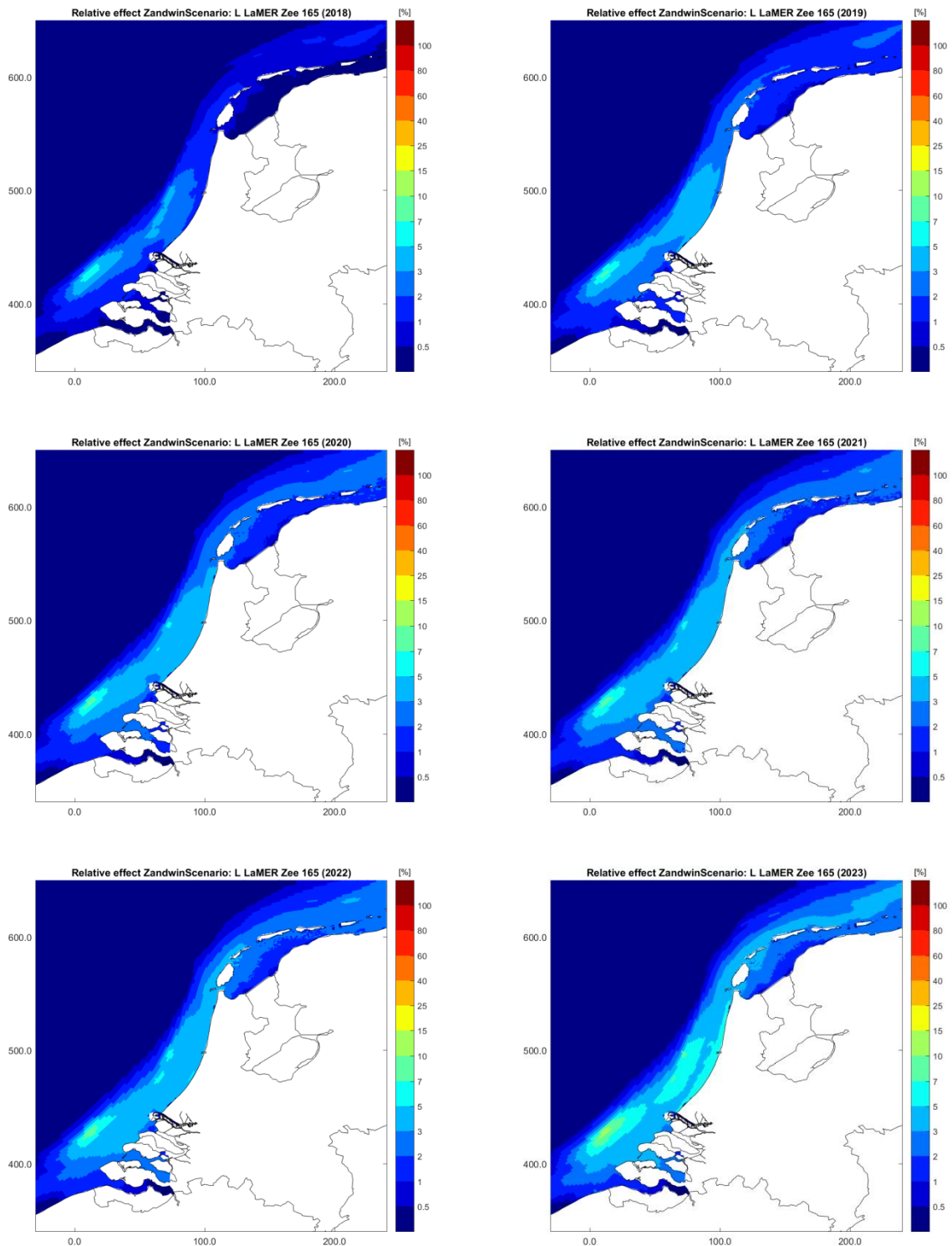


Figuur C.12 Toename jaargemiddelde slibconcentraties (in mg/l) in de oppervlaktelaag als gevolg van scenario LaMER 165 Mm³ (kustwaarts) voor de periode 2024-2029.

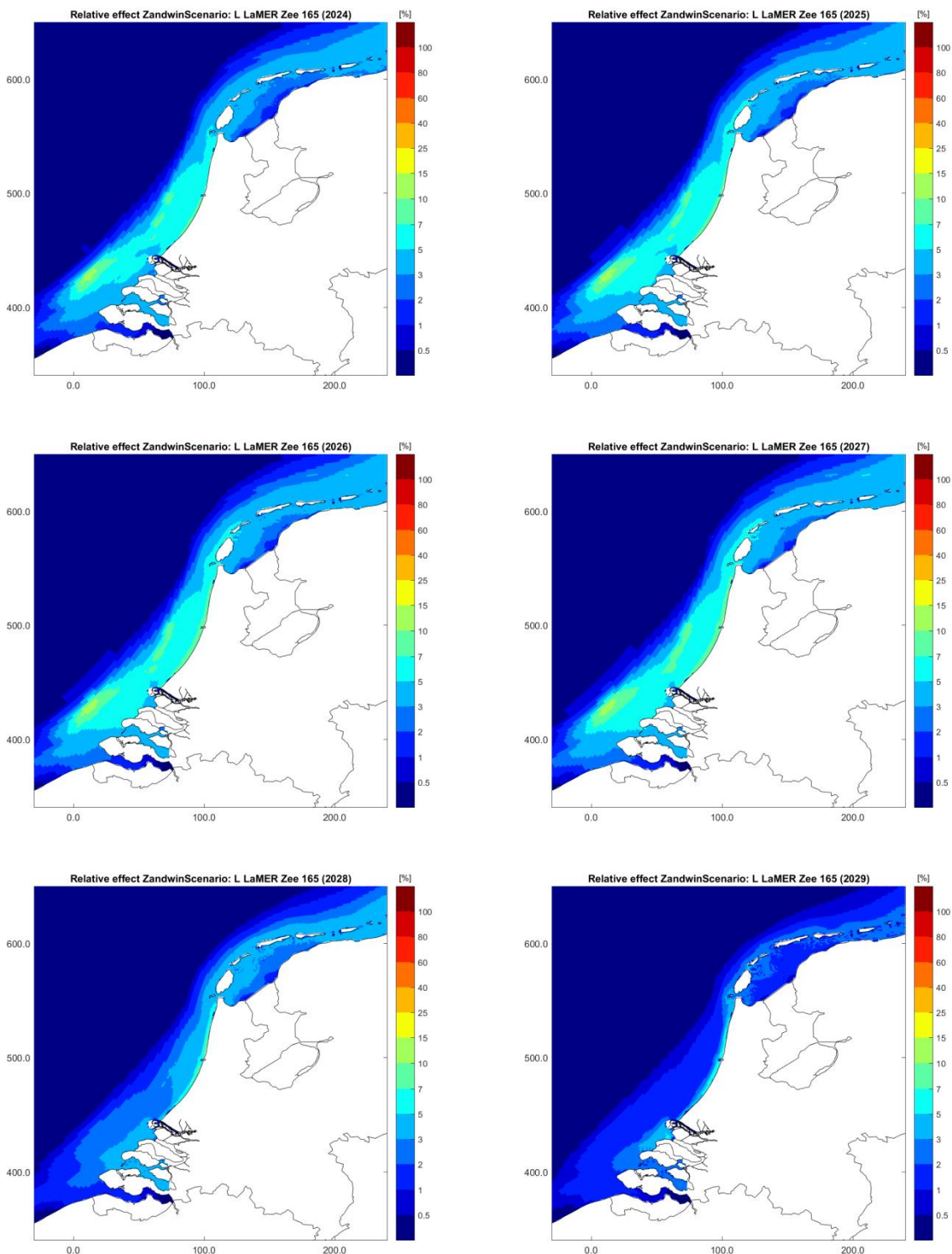


Figuur C.13 Toename jaargemiddelde slibconcentraties (in mg/l) in de oppervlaktelaag als gevolg van scenario LaMER 165 Mm³ (kustwaarts) voor de periode 2030-2032

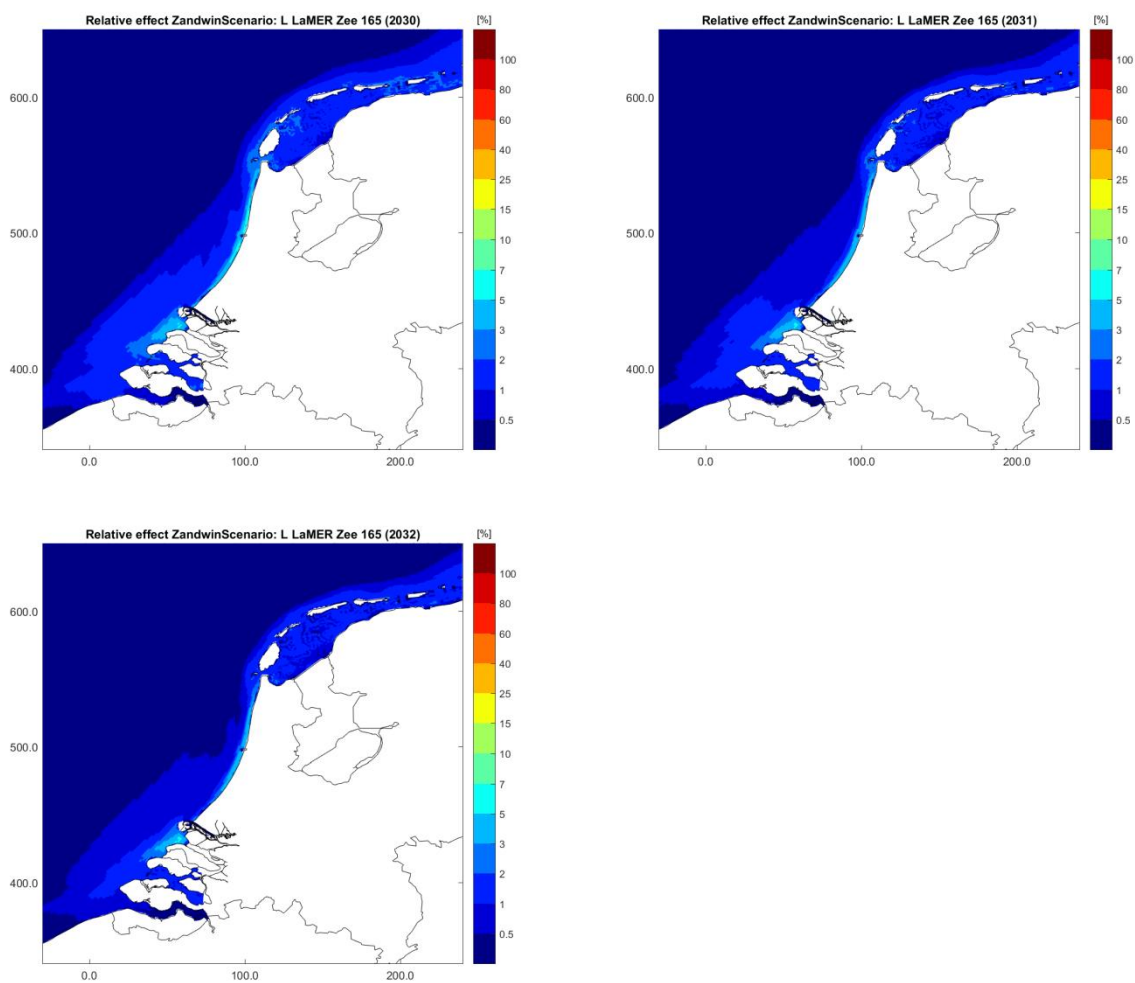
C.4.2 Relatieve toename t.o.v. vergund



Figuur C.14 Toename (in %) van jaargemiddelde slibconcentraties in de oppervlaktelaag als gevolg van scenario LaMER 165 Mm^3 (kustwaarts) voor de periode 2018-2023.



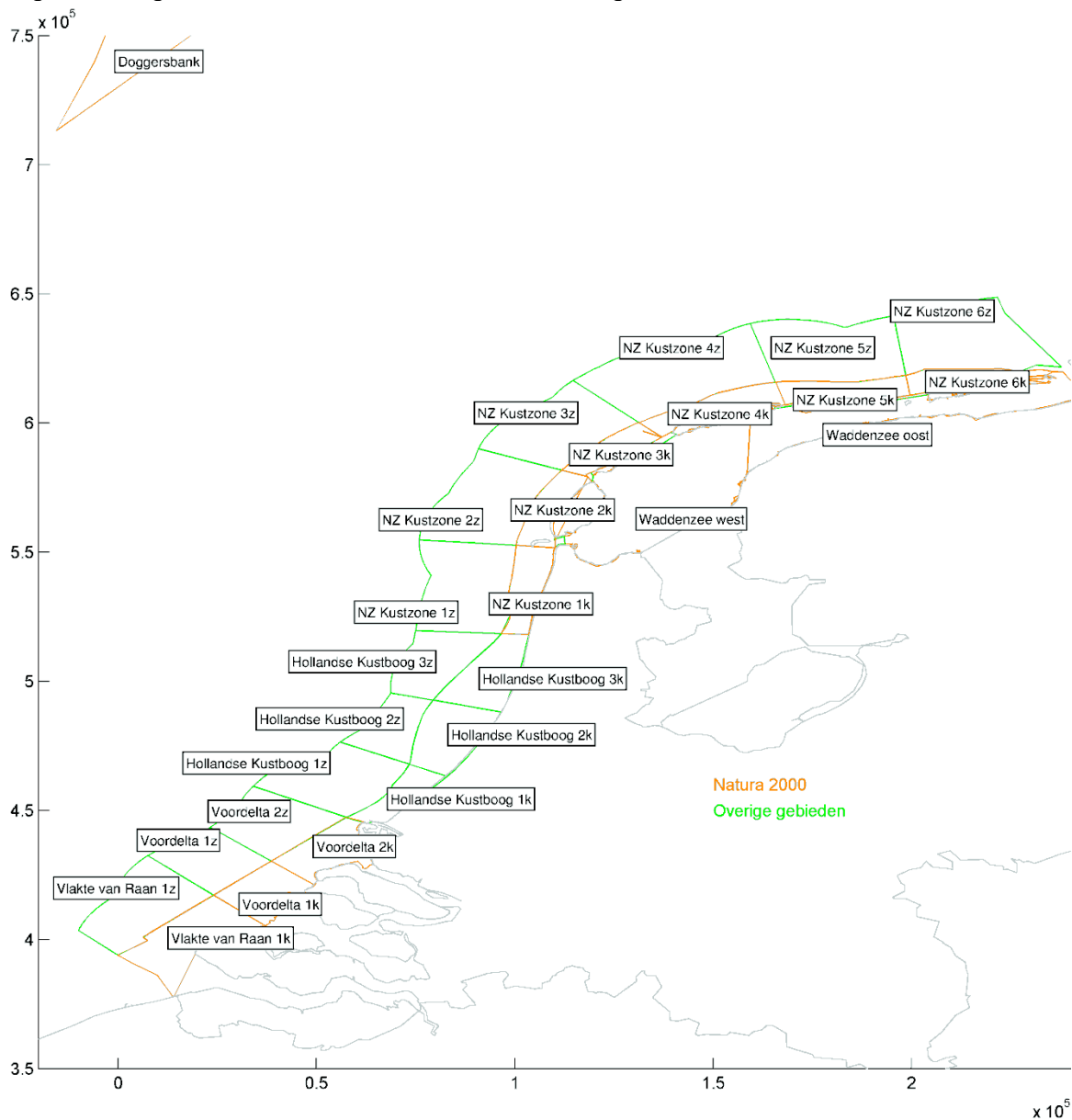
Figuur C.15 Toename (in %) van jaargemiddelde slibconcentraties in de oppervlaktelaag als gevolg van scenario LaMER 165 Mm³ (kustwaarts) voor de periode 2024-2029.



Figuur C.16 Toename (in %) van jaargemiddelde slibconcentraties in de oppervlaktelaag als gevolg van scenario LaMER 165 Mm^3 (kustwaarts) voor de periode 2030-2032.

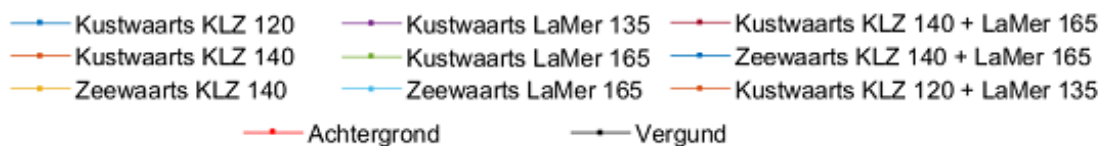
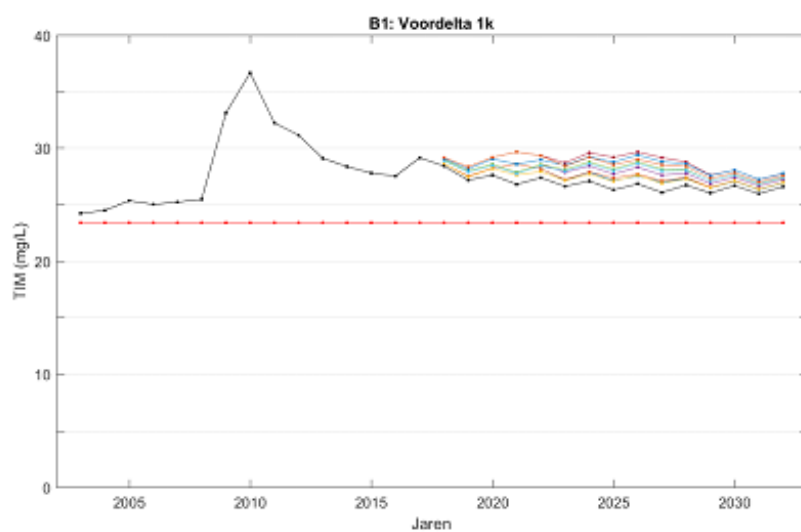
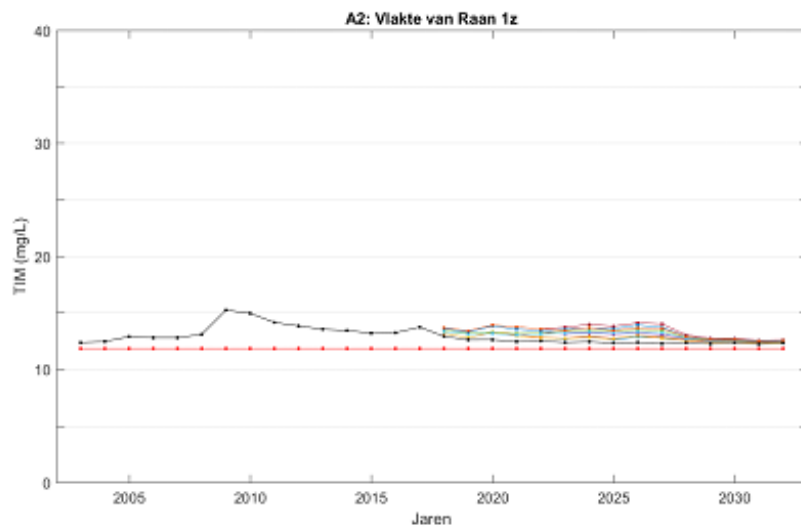
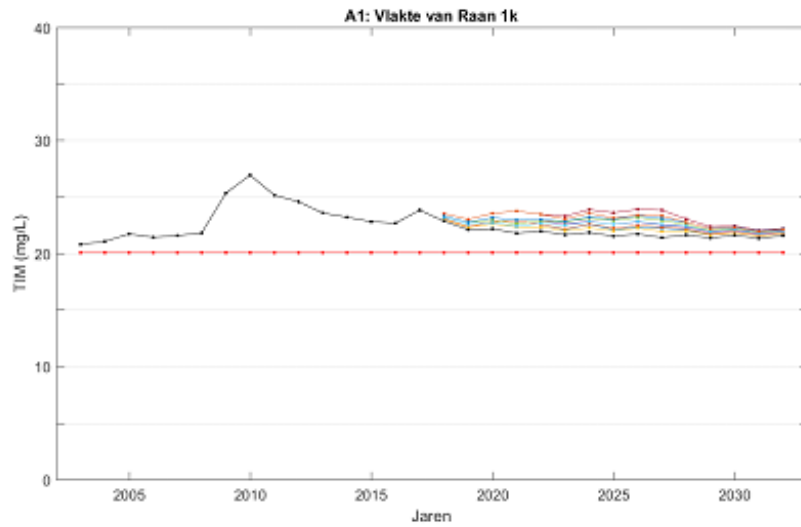
C.5 Vergelijking tussen de verschillende scenario's (figuren)

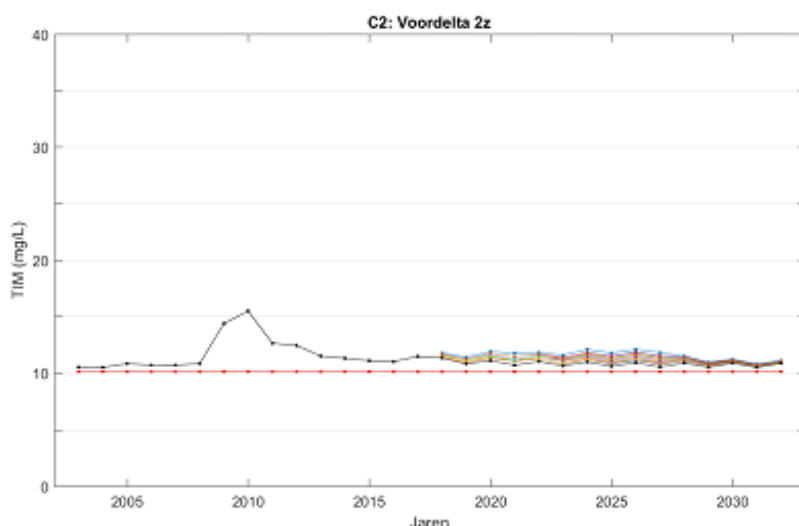
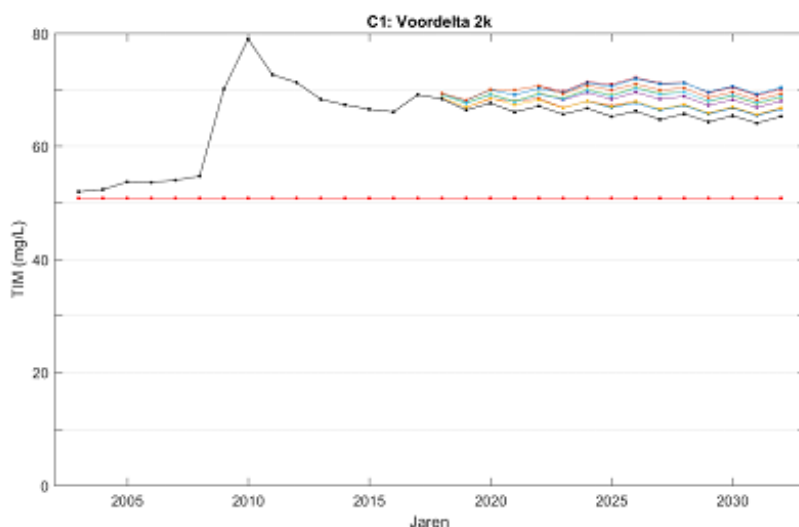
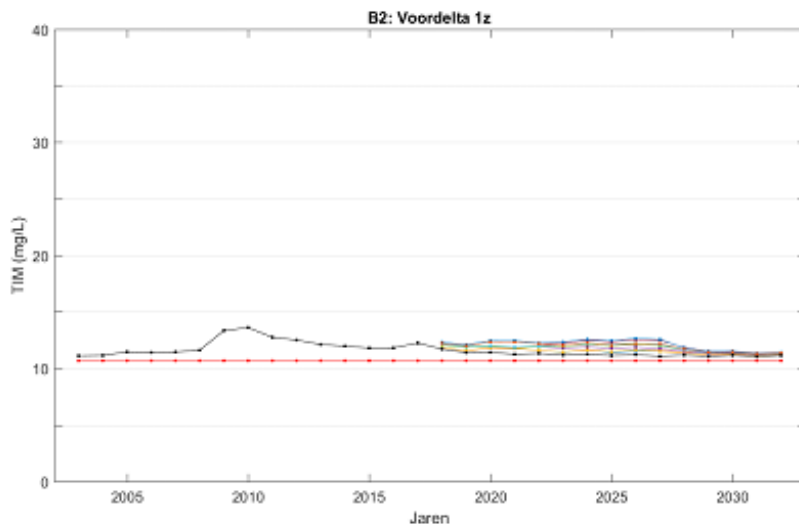
Om een uitspraak te kunnen doen over het verschil tussen de effecten voor alle vier scenario's, worden de effecten onderling vergeleken waarbij het onderzoeksgebied is opgedeeld in een aantal kleinere gebieden. Deze gebieden bevatten onder andere tien Natura 2000-gebieden. Figuur C.17 geeft een overzicht van de beschouwde gebieden.



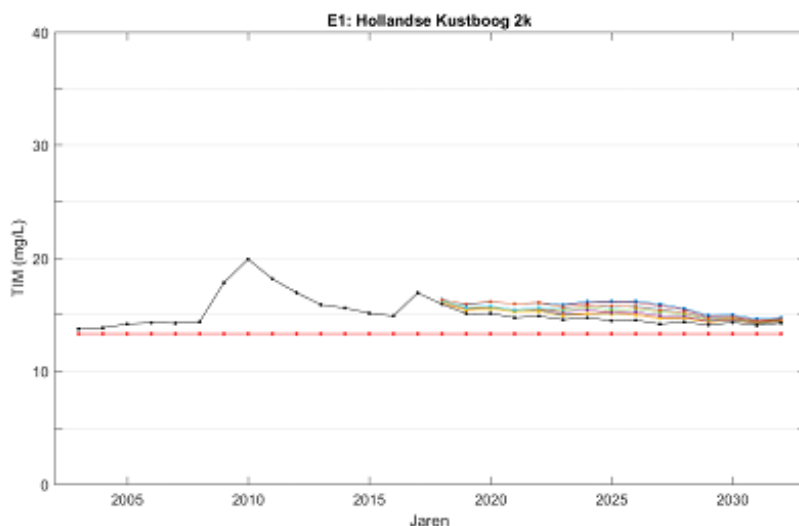
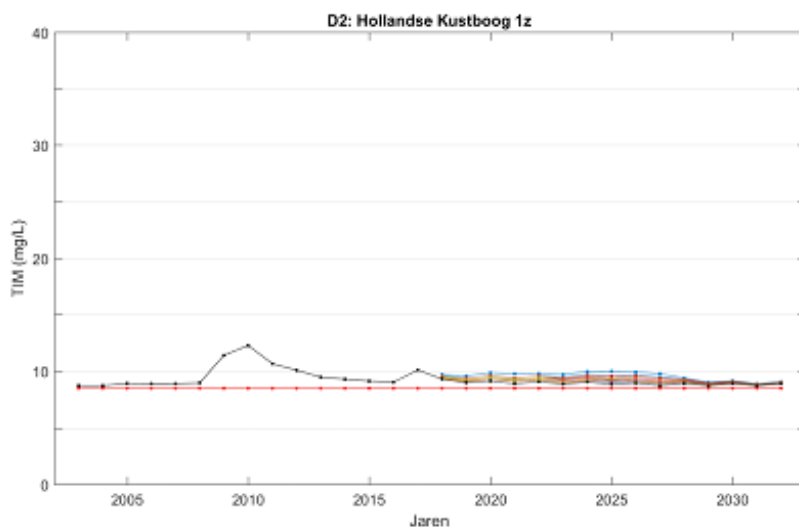
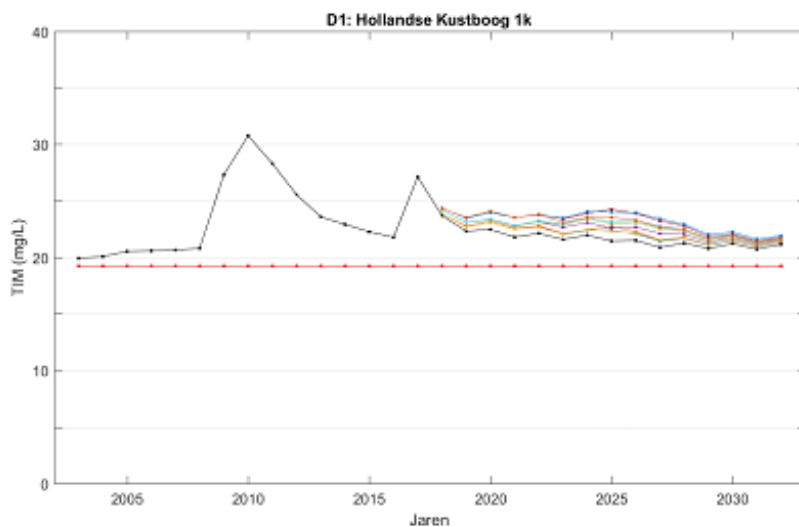
Figuur C.17 Vakindeling Noordzee en Waddenzee

C.5.1 Absolute slibconcentraties in de gedefinieerde gebieden

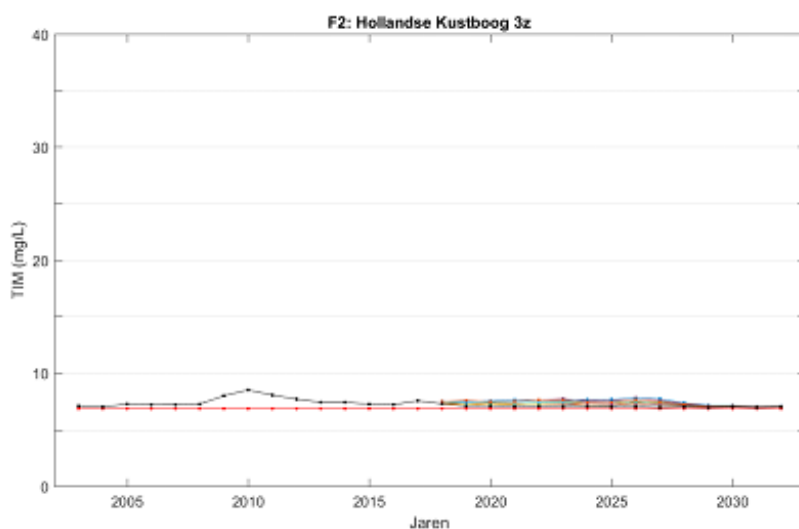
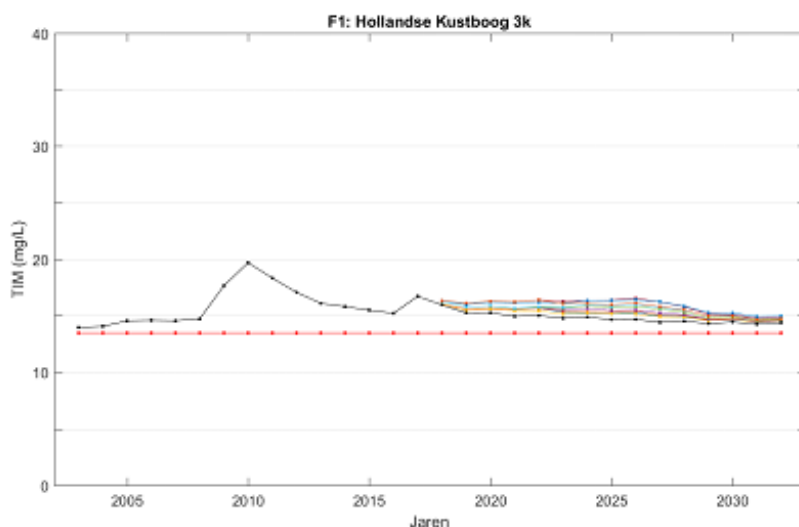
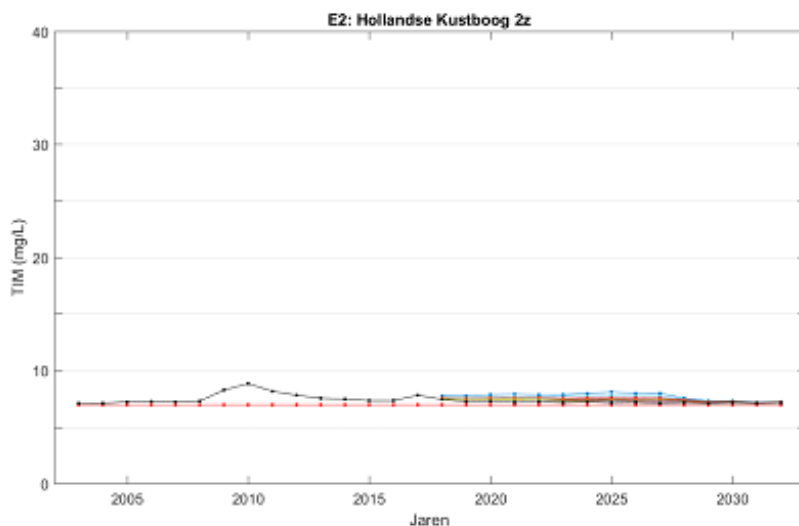




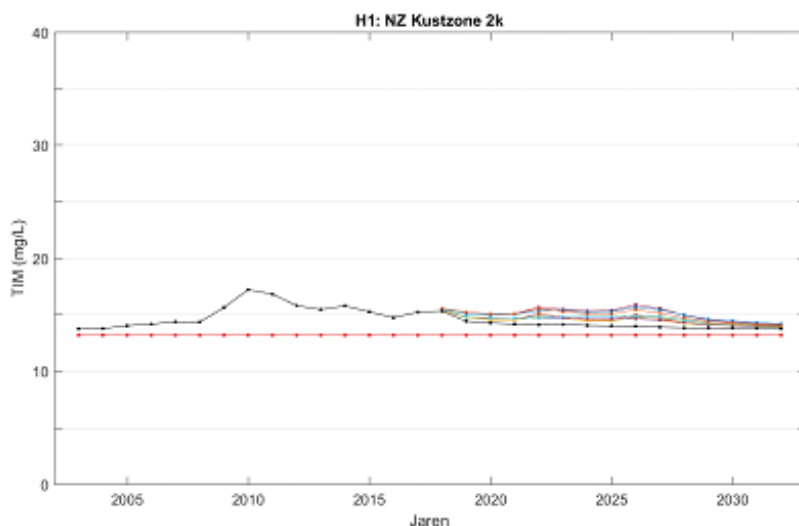
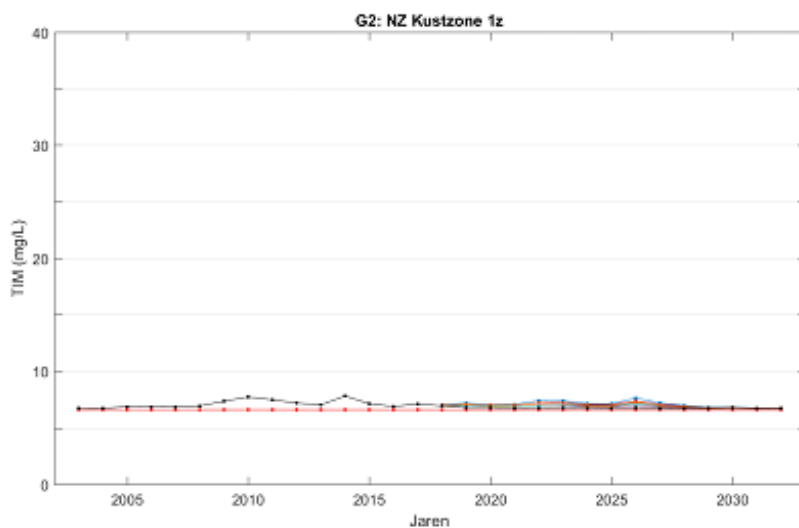
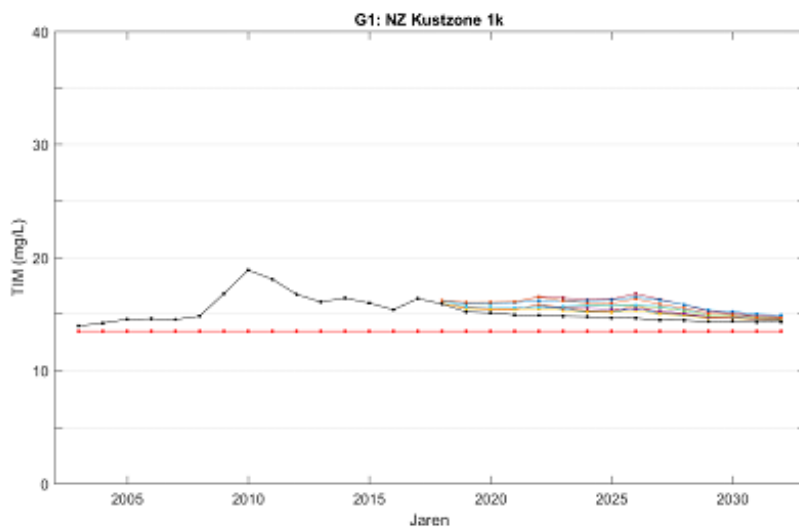
- Kustwaarts KLZ 120
- Kustwaarts KLZ 140
- Zeewaarts KLZ 140
- Kustwaarts LaMer 135
- Kustwaarts LaMer 165
- Zeewaarts LaMer 165
- Kustwaarts KLZ 140 + LaMer 165
- Zeewaarts KLZ 140 + LaMer 165
- Kustwaarts KLZ 120 + LaMer 135
- Achtergrond
- Vergund



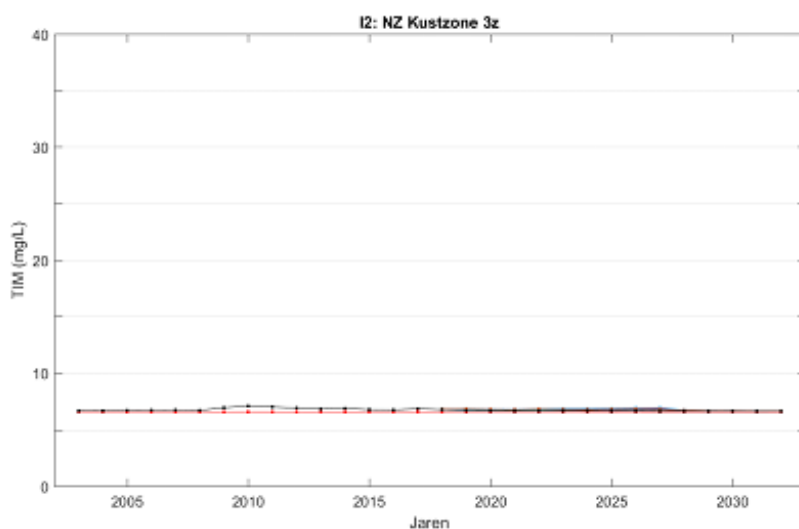
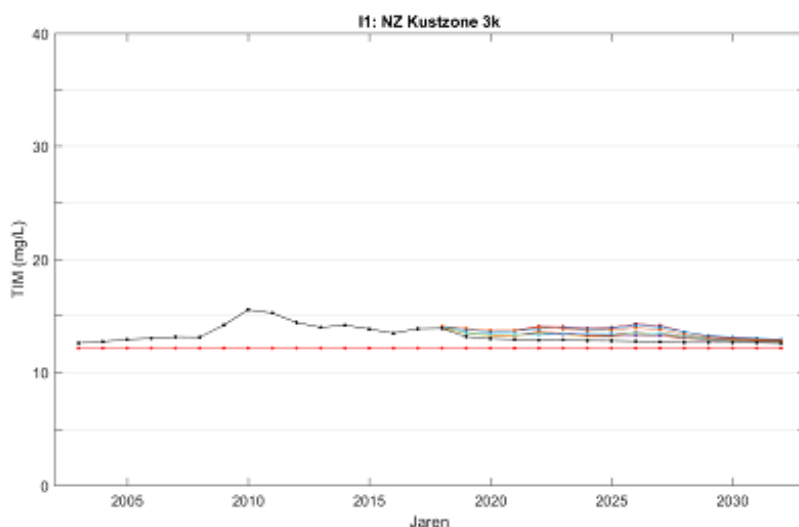
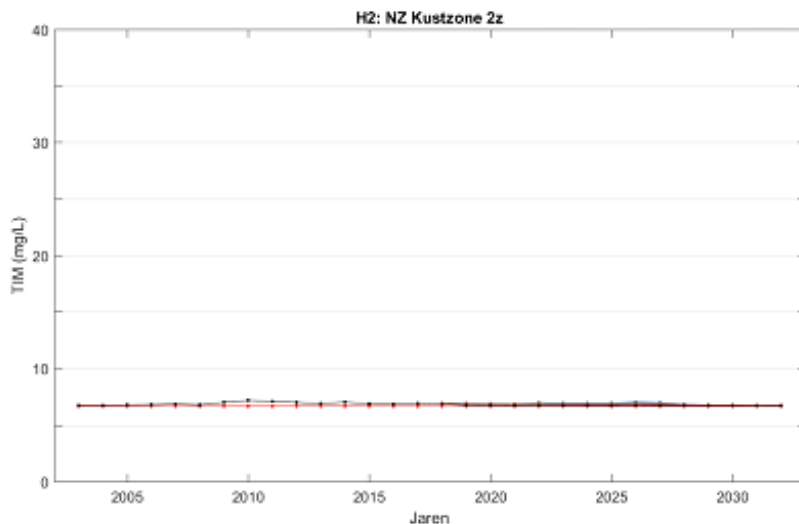
- | | | |
|------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| —●— Kustwaarts KLZ 120 | —●— Kustwaarts LaMer 135 | —●— Kustwaarts KLZ 140 + LaMer 165 |
| —●— Kustwaarts KLZ 140 | —●— Kustwaarts LaMer 165 | —●— Zeewaarts KLZ 140 + LaMer 165 |
| —●— Zeewaarts KLZ 140 | —●— Zeewaarts LaMer 165 | —●— Kustwaarts KLZ 120 + LaMer 135 |
| —●— Achtergrond | —●— Vergund | |



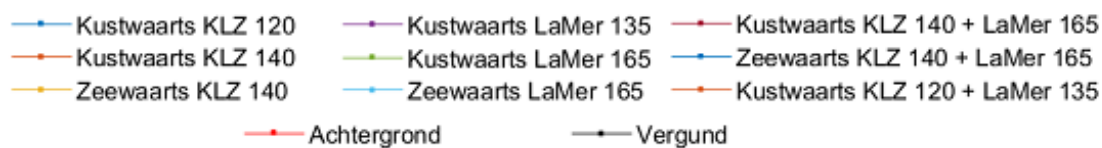
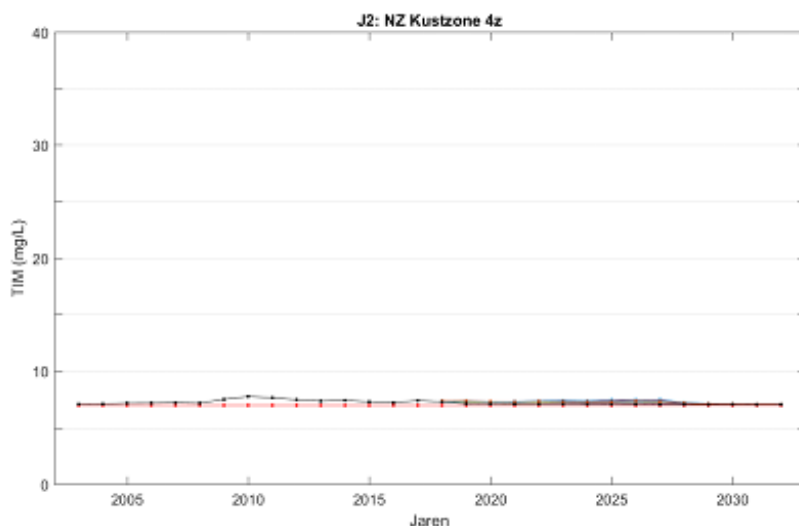
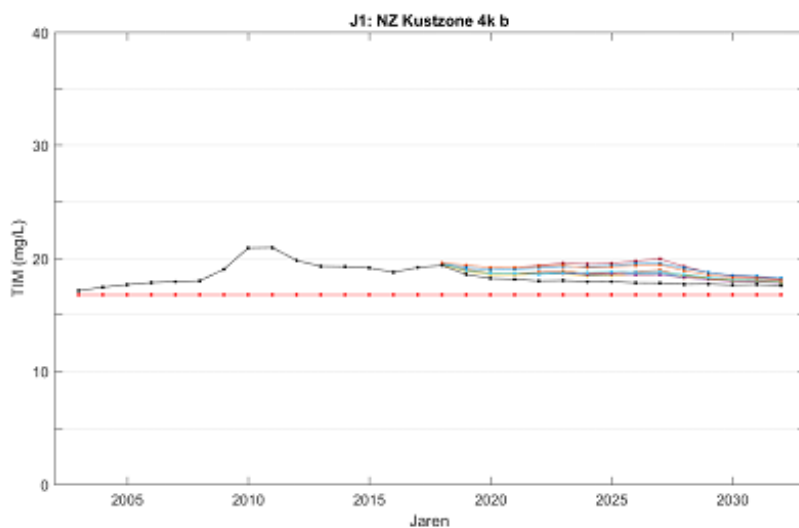
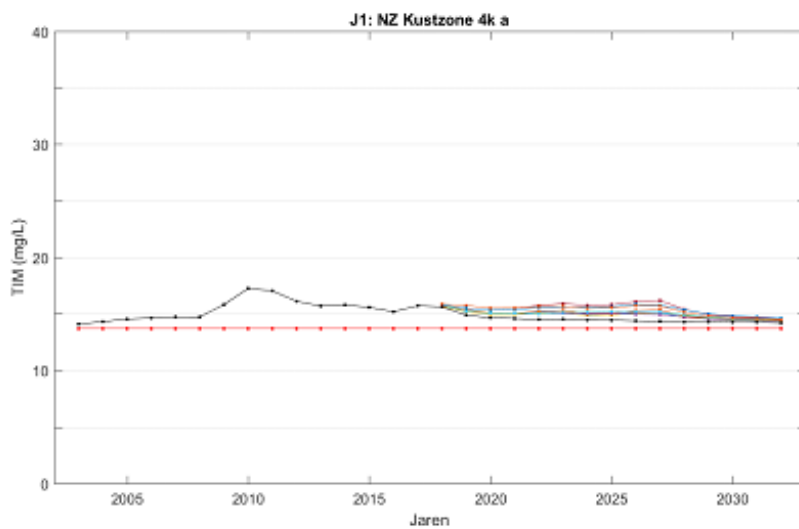
- Kustwaarts KLZ 120
- Kustwaarts KLZ 140
- Zeewaarts KLZ 140
- Kustwaarts LaMer 135
- Kustwaarts LaMer 165
- Zeewaarts LaMer 165
- Kustwaarts KLZ 140 + LaMer 165
- Zeewaarts KLZ 140 + LaMer 165
- Kustwaarts KLZ 120 + LaMer 135
- Achtergrond
- Vergund

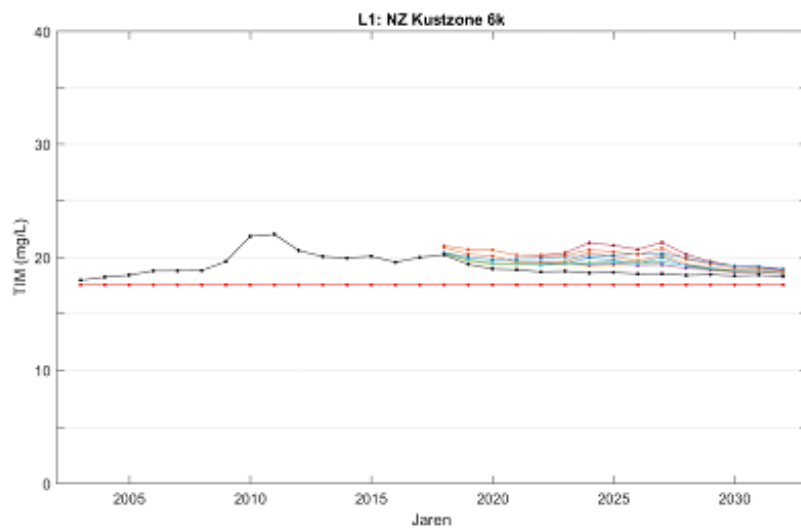
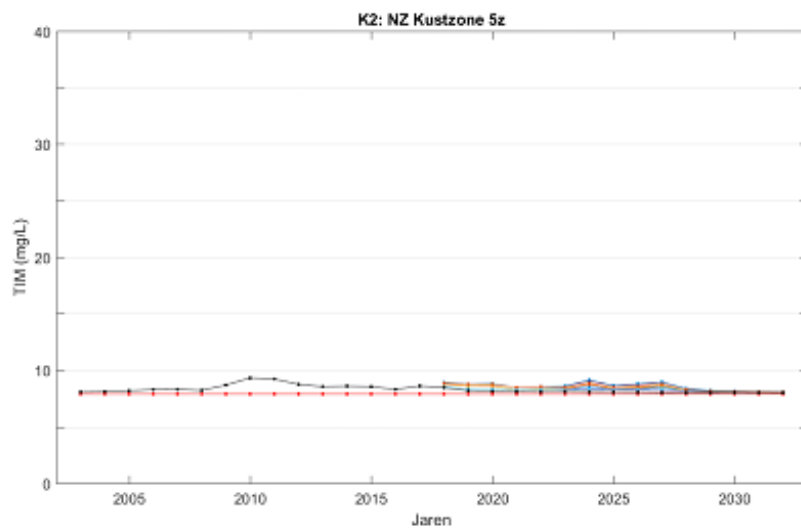
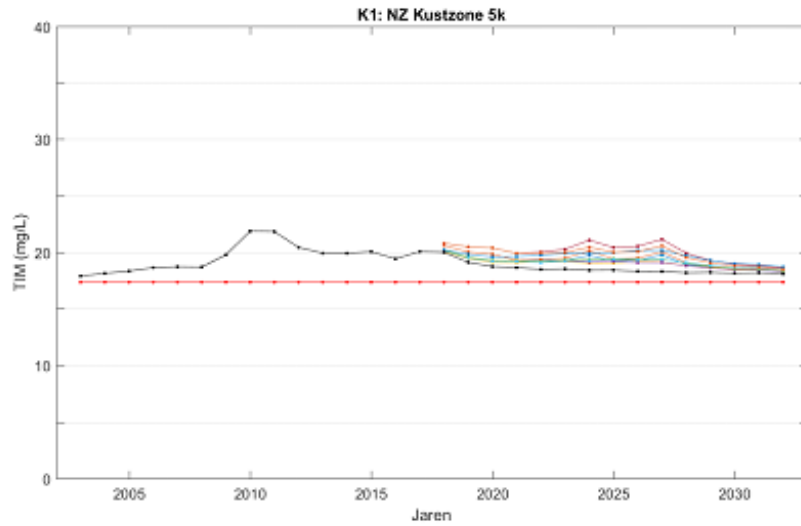


- | | | |
|------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| —●— Kustwaarts KLZ 120 | —●— Kustwaarts LaMer 135 | —●— Kustwaarts KLZ 140 + LaMer 165 |
| —●— Kustwaarts KLZ 140 | —●— Kustwaarts LaMer 165 | —●— Zeewaarts KLZ 140 + LaMer 165 |
| —●— Zeewaarts KLZ 140 | —●— Zeewaarts LaMer 165 | —●— Kustwaarts KLZ 120 + LaMer 135 |
| —●— Achtergrond | —●— Vergund | |

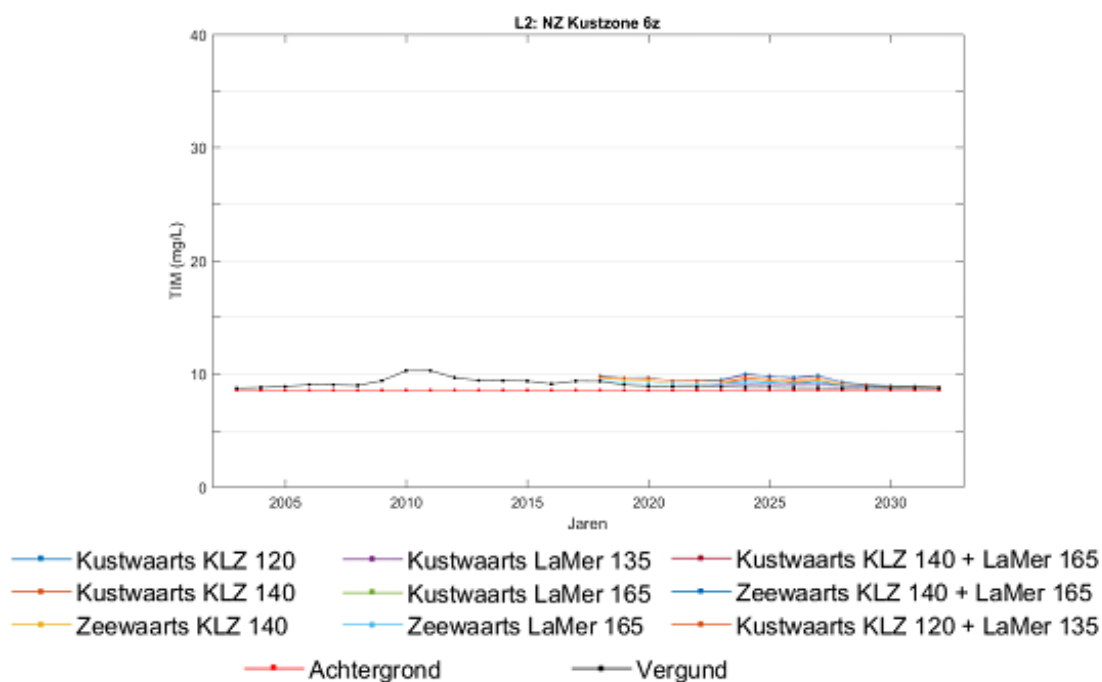


- Kustwaarts KLZ 120
- Kustwaarts KLZ 140
- Zeewaarts KLZ 140
- Kustwaarts LaMer 135
- Kustwaarts LaMer 165
- Zeewaarts LaMer 165
- Kustwaarts KLZ 140 + LaMer 165
- Zeewaarts KLZ 140 + LaMer 165
- Kustwaarts KLZ 120 + LaMer 135
- Achtergrond
- Vergund



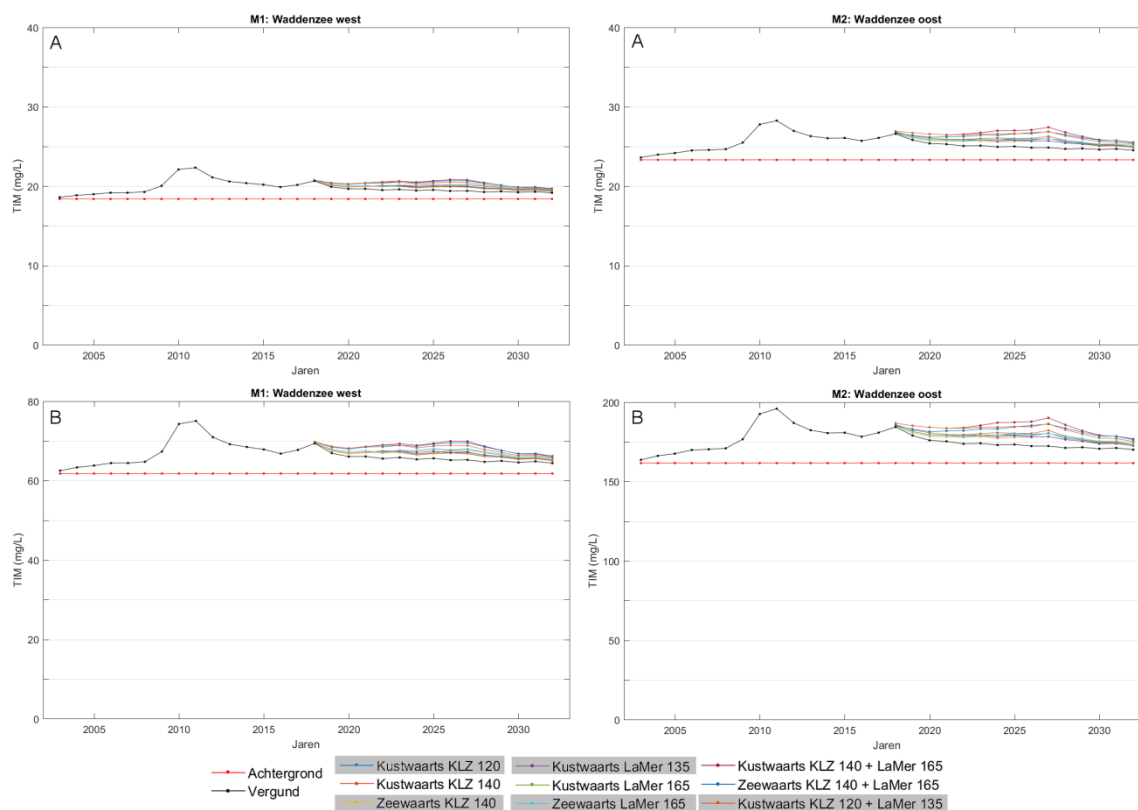


- | | | |
|------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| —●— Kustwaarts KLZ 120 | —●— Kustwaarts LaMer 135 | —●— Kustwaarts KLZ 140 + LaMer 165 |
| —●— Kustwaarts KLZ 140 | —●— Kustwaarts LaMer 165 | —●— Zeewaarts KLZ 140 + LaMer 165 |
| —●— Zeewaarts KLZ 140 | —●— Zeewaarts LaMer 165 | —●— Kustwaarts KLZ 120 + LaMer 135 |
| —●— Achtergrond | —●— Vergund | |



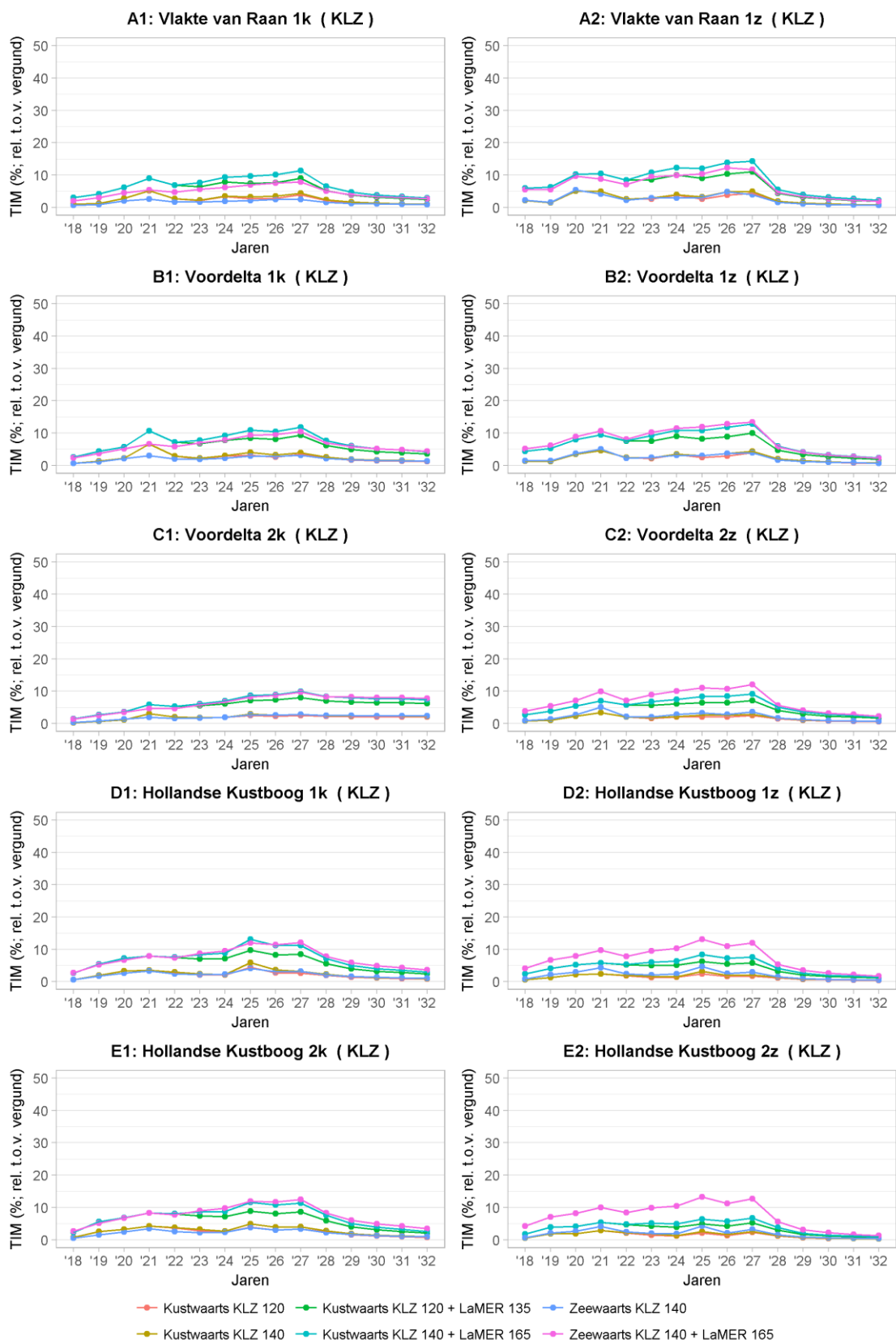
Figuur C.18 Absolute slibconcentraties in de in Figuur C.17 gedefinieerde gebieden als gevolg van de zandwinstscenario's inclusief de vergunde hoeveelheden en de natuurlijke achtergrond. In bijlage C.6.2 staan de gecorrigeerde waarden zoals deze gebruikt zijn als invoer voor de ecologische modellering.

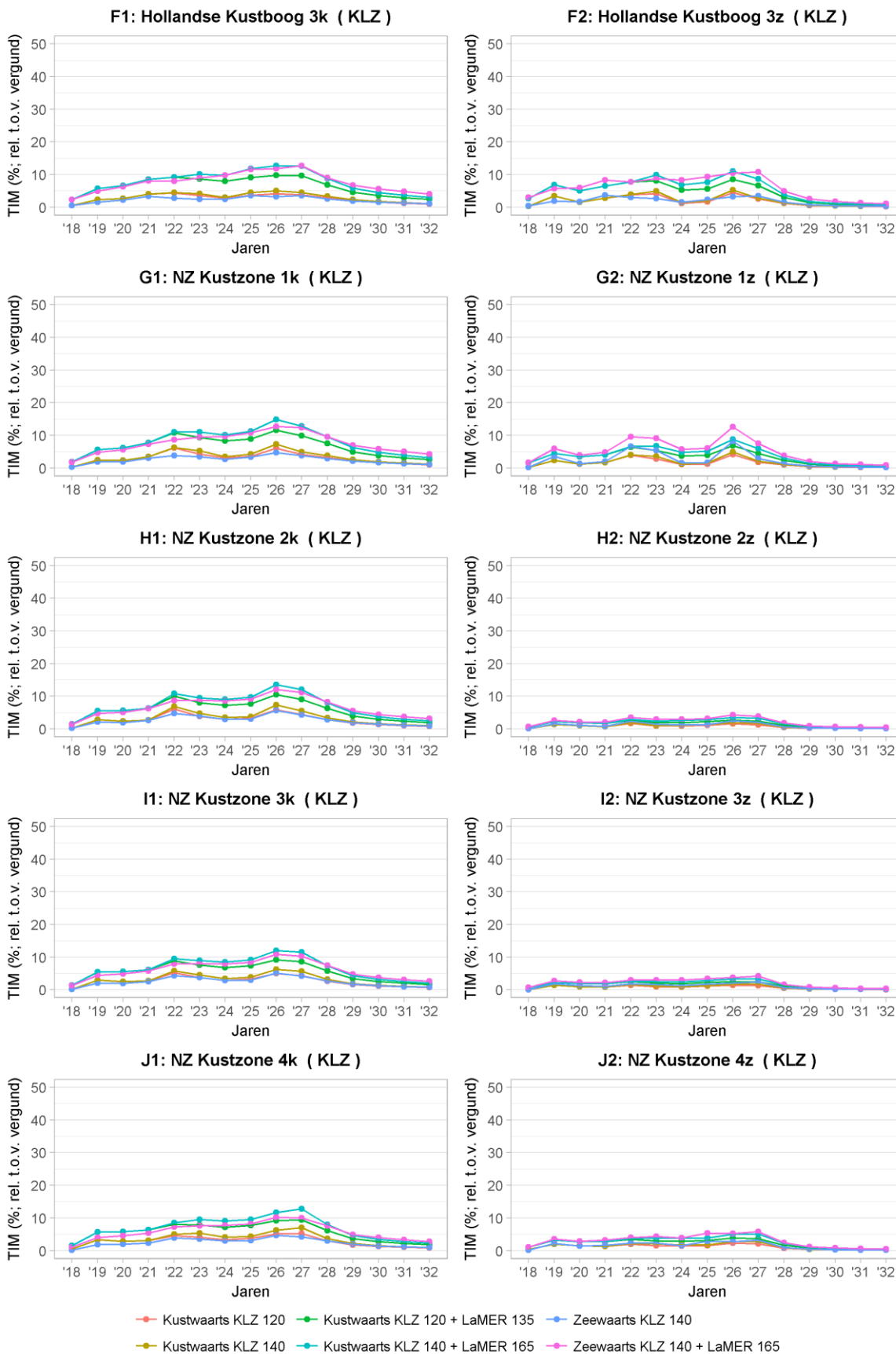
C.5.2 Achtergrondconcentraties voor Waddenzee op basis van het PACE model

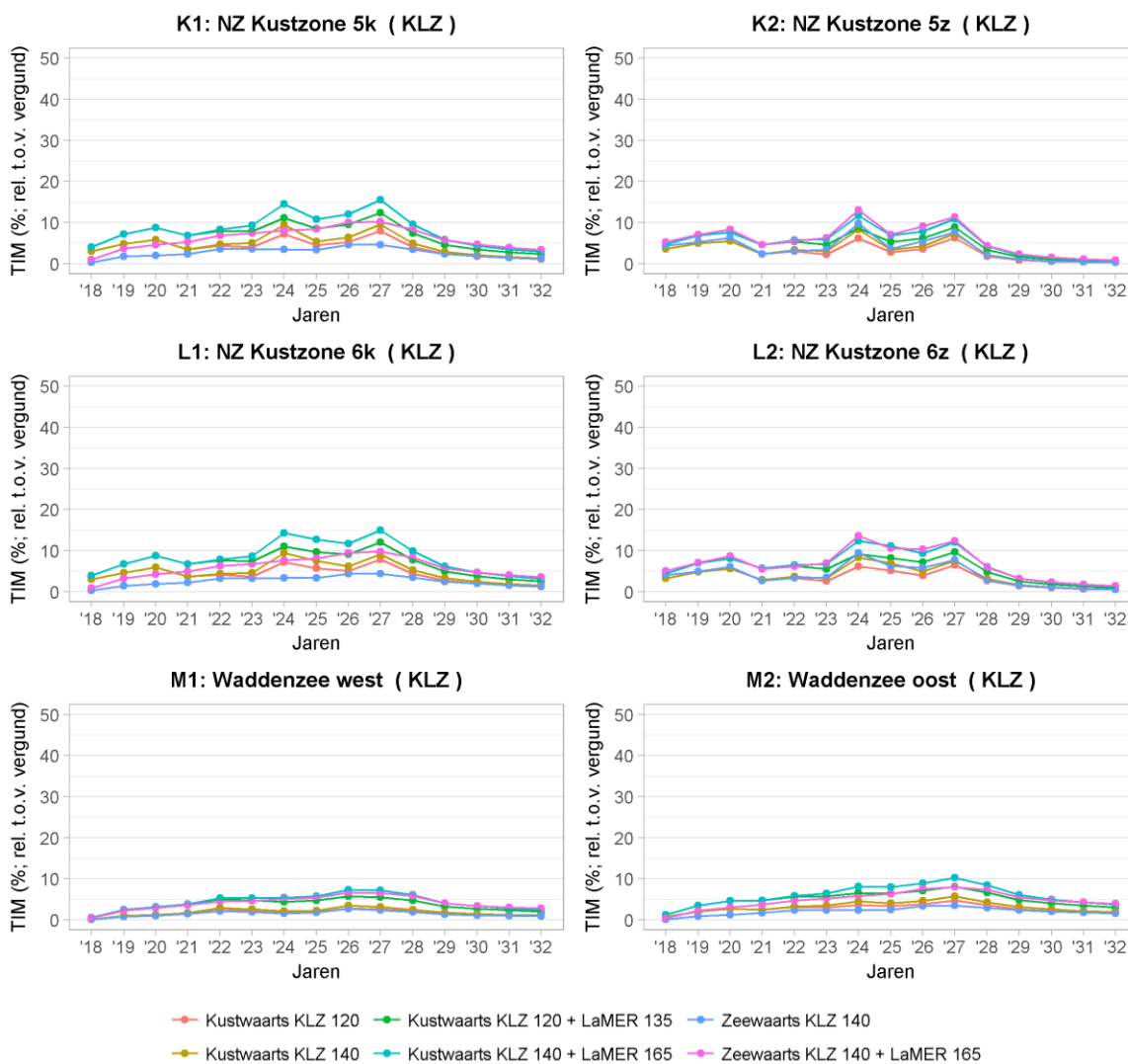


Figuur C.19 Slib concentraties in de Waddenzee, boven (A) berekend met het slibmodel op basis van het ZUNO-DD rooster, onder (B) gecorrigeerd op basis van het PACE model. Deze data zijn ingevoerd in het ecologische model. De scenario's in de legenda aangegeven in grijs zijn niet gebruikt in de ecologische scenario's

C.5.3 Relatieve slibconcentraties in de gedefinieerde gebieden







Figuur C.20 Relatieve verandering van de slibconcentraties in de in de Figuur C.17 gedefinieerde gebieden als gevolg van de zandwinstscenario's ten opzichte van de vergunde hoeveelheden (inclusief natuurlijke achtergrond). In deze figuur is alleen de daadwerkelijke MER-periode weergegeven

C.6.2 Absolute slibconcentraties Waddenzee (op basis van het PACE model)

Tabel C.2 Slibconcentraties in de Waddenzee op basis van het PACE model

alle scenario's - IM1 (mg/L)	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
M1: Waddenzee west															
Achtergrond	61.77	61.77	61.77	61.77	61.77	61.77	61.77	61.77	61.77	61.77	61.77	61.77	61.77	61.77	61.77
Vergund	69.39	66.92	66.05	66.08	65.55	65.83	65.35	65.61	65.16	65.22	64.72	64.96	64.57	64.84	64.38
Kustwaarts KLZ 120	69.46	67.63	66.90	67.18	67.36	67.28	66.51	66.89	67.02	66.88	66.10	65.96	65.40	65.55	65.00
Kustwaarts KLZ 140	69.46	67.63	66.90	67.18	67.46	67.52	66.72	67.07	67.45	67.27	66.35	66.14	65.54	65.67	65.10
Kustwaarts LaMER 135	69.70	67.90	67.29	67.47	67.08	67.48	67.09	67.42	67.04	67.17	66.45	66.10	65.50	65.64	65.09
Kustwaarts LaMER 165	69.70	67.90	67.29	67.47	67.08	67.61	67.52	67.95	67.66	67.84	67.04	66.44	65.76	65.86	65.28
Kustwaarts KLZ 120 + LaMER 135	69.77	68.61	68.14	68.58	68.89	68.93	68.25	68.70	68.90	68.83	67.82	67.09	66.32	66.34	65.71
Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165	69.77	68.61	68.14	68.58	68.99	69.30	68.89	69.41	69.94	69.89	68.66	67.61	66.73	66.69	66.00
Zeewaarts KLZ 140	69.45	67.49	66.75	67.07	66.98	67.07	66.41	66.77	66.91	66.74	66.00	65.88	65.34	65.51	64.97
Zeewaarts LaMER 165	69.68	67.89	67.27	67.47	67.10	67.64	67.57	68.03	67.76	67.98	67.23	66.66	66.02	66.14	65.58
Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165	69.75	68.46	67.97	68.46	68.53	68.87	68.63	69.20	69.52	69.50	68.51	67.58	66.79	66.82	66.17
M2: Waddenzee oost															
Achtergrond	161.59	161.59	161.59	161.59	161.59	161.59	161.59	161.59	161.59	161.59	161.59	161.59	161.59	161.59	161.59
Vergund	184.34	178.89	175.90	175.26	173.72	174.03	172.95	173.32	172.27	172.33	171.14	171.54	170.59	171.09	170.02
Kustwaarts KLZ 120	185.86	182.46	180.65	179.52	179.13	179.25	179.13	179.12	178.83	180.44	177.28	176.06	174.30	174.24	172.70
Kustwaarts KLZ 140	185.86	182.46	180.65	179.52	179.39	180.14	180.75	180.33	180.23	182.19	178.57	177.03	175.08	174.87	173.24
Kustwaarts LaMER 135	185.18	181.56	179.38	179.26	178.18	178.86	178.10	178.73	177.95	178.26	176.48	175.32	173.74	173.87	172.53
Kustwaarts LaMER 165	185.18	181.56	179.38	179.26	178.18	179.23	179.25	180.27	179.73	180.23	178.26	176.47	174.63	174.63	173.19
Kustwaarts KLZ 120 + LaMER 135	186.71	185.13	184.13	183.55	183.59	184.08	184.29	184.53	184.52	186.37	182.61	179.86	177.45	177.02	175.21
Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165	186.71	185.13	184.13	183.55	183.85	185.32	187.05	187.26	187.70	190.07	185.69	181.96	179.12	178.41	176.40
Zeewaarts KLZ 140	184.58	180.51	178.18	178.15	177.89	178.25	177.11	177.66	178.02	178.31	176.24	175.55	174.03	174.09	172.65
Zeewaarts LaMER 165	185.00	181.30	179.07	178.94	177.87	178.88	178.94	179.99	179.54	180.12	178.52	176.95	175.34	175.50	174.17
Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165	185.24	182.93	181.35	181.83	182.03	183.09	183.13	184.34	185.29	186.10	183.63	180.96	178.78	178.50	176.81

M1: Waddenzee west																	
Vergund	12.33	8.33	6.92	6.97	6.11	6.57	5.79	6.21	5.48	5.58	4.78	5.17	4.53	4.96	4.23		
Kustwaarts KLZ 120	12.44	9.49	8.30	8.76	9.05	8.92	7.67	8.29	8.49	8.27	7.00	6.78	5.87	6.11	5.22		
Kustwaarts KLZ 140	12.44	9.49	8.30	8.76	9.21	9.30	8.01	8.58	9.19	8.90	7.41	7.07	6.10	6.31	5.39		
Kustwaarts LaMER 135	12.83	9.92	8.93	9.23	8.60	9.24	8.61	9.14	8.53	8.74	7.57	7.00	6.03	6.26	5.37		
Kustwaarts LaMER 165	12.83	9.92	8.93	9.23	8.60	9.46	9.30	10.01	9.53	9.83	8.53	7.56	6.46	6.62	5.68		
Kustwaarts KLZ 120 + LaMER 135	12.95	11.07	10.31	11.02	11.53	11.59	10.49	11.21	11.54	11.43	9.79	8.61	7.36	7.40	6.37		
Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165	12.95	11.07	10.31	11.02	11.69	12.19	11.52	12.37	13.23	13.15	11.15	9.46	8.03	7.96	6.85		
Zeewaarts KLZ 140	12.43	9.26	8.06	8.58	8.44	8.57	7.51	8.10	8.32	8.05	6.85	6.65	5.78	6.05	5.18		
Zeewaarts LaMER 165	12.80	9.90	8.90	9.22	8.62	9.50	9.39	10.13	9.70	10.05	8.84	7.92	6.88	7.08	6.17		
Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165	12.91	10.83	10.04	10.83	10.94	11.50	11.11	12.02	12.54	12.52	10.91	9.40	8.12	8.17	7.12		
M2: Waddenzee oost																	
Vergund	14.08	10.71	8.86	8.46	7.51	7.70	7.03	7.26	6.61	6.65	5.91	6.16	5.57	5.88	5.22		
Kustwaarts KLZ 120	15.02	12.92	11.80	11.10	10.86	10.93	10.86	10.85	10.67	11.67	9.71	8.96	7.87	7.83	6.88		
Kustwaarts KLZ 140	15.02	12.92	11.80	11.10	11.02	11.48	11.86	11.60	11.54	12.75	10.51	9.56	8.35	8.22	7.21		
Kustwaarts LaMER 135	14.60	12.36	11.01	10.94	10.27	10.69	10.22	10.61	10.13	10.32	9.22	8.50	7.52	7.60	6.77		
Kustwaarts LaMER 165	14.60	12.36	11.01	10.94	10.27	10.92	10.93	11.56	11.23	11.54	10.32	9.21	8.07	8.07	7.18		
Kustwaarts KLZ 120 + LaMER 135	15.55	14.57	13.95	13.59	13.62	13.92	14.05	14.20	14.19	15.34	13.01	11.31	9.82	9.55	8.43		
Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165	15.55	14.57	13.95	13.59	13.78	14.69	15.76	15.89	16.16	17.63	14.92	12.61	10.85	10.41	9.17		
Zeewaarts KLZ 140	14.23	11.71	10.27	10.25	10.09	10.31	9.61	9.95	10.17	10.35	9.07	8.64	7.70	7.74	6.85		
Zeewaarts LaMER 165	14.49	12.20	10.82	10.74	10.08	10.70	10.74	11.39	11.11	11.47	10.48	9.51	8.51	8.61	7.79		
Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165	14.64	13.21	12.23	12.53	12.65	13.31	13.33	14.08	14.67	15.17	13.64	11.99	10.64	10.47	9.42		

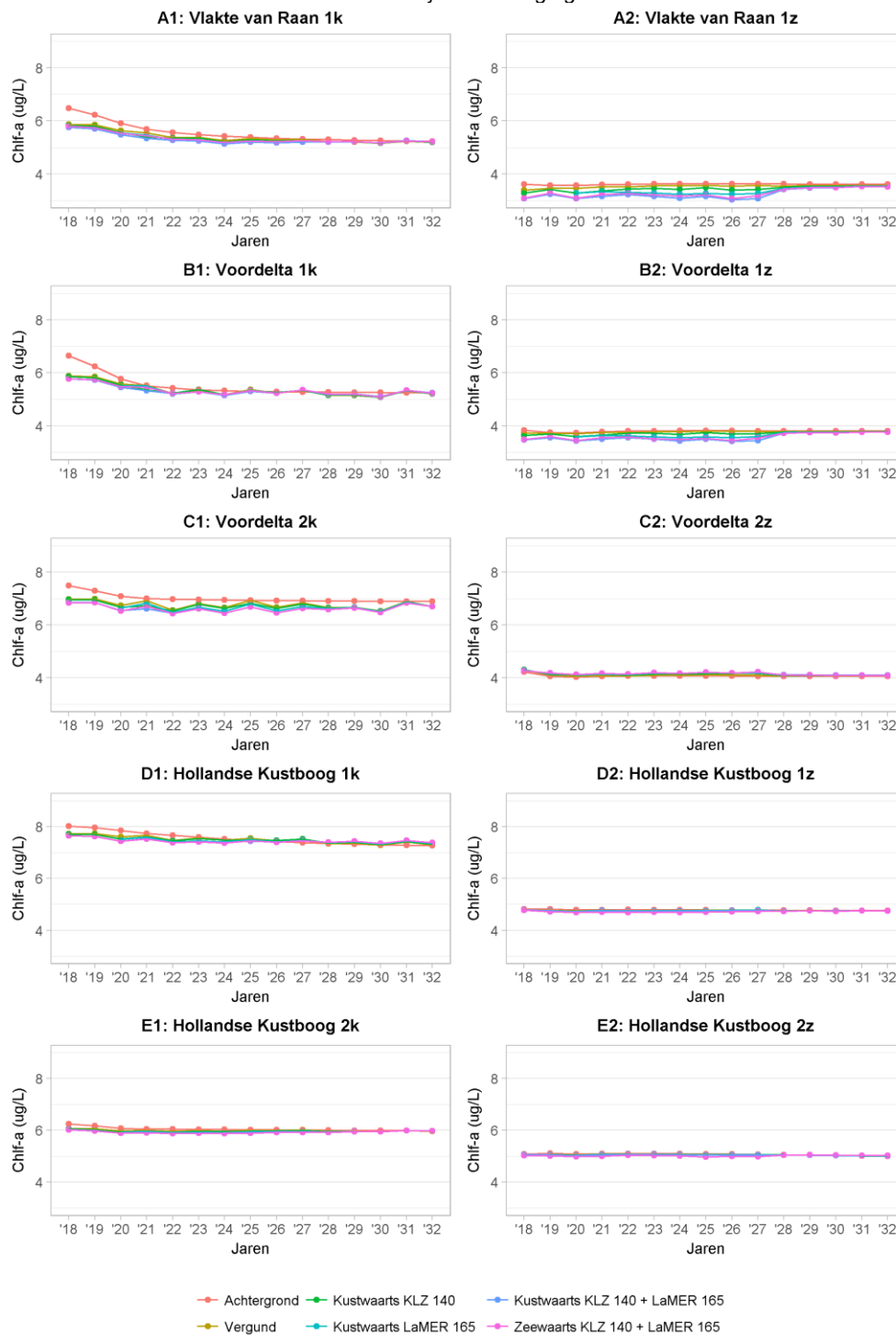
M1: Waddenzee west																
Kustwaarts KLZ 120	0.10	1.06	1.29	1.67	2.76	2.21	1.78	1.95	2.85	2.55	2.12	1.53	1.28	1.09	0.96	
Kustwaarts KLZ 140	0.10	1.06	1.29	1.67	2.91	2.56	2.10	2.22	3.51	3.14	2.50	1.80	1.50	1.28	1.12	
Kustwaarts LaMER 135	0.45	1.47	1.87	2.12	2.34	2.51	2.67	2.75	2.89	2.99	2.66	1.74	1.43	1.23	1.10	
Kustwaarts LaMER 165	0.45	1.47	1.87	2.12	2.34	2.71	3.32	3.57	3.83	4.03	3.57	2.27	1.84	1.58	1.40	
Kustwaarts KLZ 120 + LaMER 135	0.55	2.53	3.16	3.79	5.11	4.72	4.44	4.70	5.74	5.54	4.77	3.27	2.70	2.33	2.06	
Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165	0.55	2.53	3.16	3.79	5.26	5.27	5.42	5.80	7.35	7.17	6.07	4.08	3.34	2.86	2.52	
Zeewaarts KLZ 140	0.09	0.85	1.06	1.51	2.19	1.88	1.63	1.77	2.69	2.34	1.97	1.41	1.19	1.03	0.92	
Zeewaarts LaMER 165	0.42	1.45	1.85	2.11	2.36	2.75	3.40	3.69	3.99	4.23	3.87	2.61	2.25	2.02	1.86	
Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165	0.51	2.30	2.91	3.61	4.55	4.63	5.03	5.46	6.69	6.57	5.84	4.02	3.43	3.06	2.78	
M2: Waddenzee oost																
Kustwaarts KLZ 120	0.83	2.00	2.70	2.44	3.11	3.00	3.58	3.35	3.81	4.71	3.58	2.65	2.18	1.84	1.58	
Kustwaarts KLZ 140	0.83	2.00	2.70	2.44	3.26	3.50	4.51	4.04	4.62	5.72	4.34	3.20	2.63	2.20	1.89	
Kustwaarts LaMER 135	0.46	1.49	1.98	2.29	2.57	2.78	2.98	3.12	3.30	3.44	3.12	2.21	1.85	1.62	1.47	
Kustwaarts LaMER 165	0.46	1.49	1.98	2.29	2.57	2.99	3.65	4.00	4.33	4.58	4.16	2.88	2.37	2.07	1.87	
Kustwaarts KLZ 120 + LaMER 135	1.28	3.49	4.68	4.73	5.68	5.78	6.56	6.47	7.11	8.15	6.70	4.86	4.03	3.46	3.05	
Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165	1.28	3.49	4.68	4.73	5.83	6.49	8.16	8.05	8.95	10.30	8.50	6.08	5.00	4.27	3.76	
Zeewaarts KLZ 140	0.13	0.91	1.30	1.65	2.39	2.42	2.41	2.50	3.34	3.47	2.98	2.34	2.02	1.76	1.55	
Zeewaarts LaMER 165	0.36	1.35	1.80	2.10	2.38	2.79	3.47	3.85	4.22	4.52	4.31	3.16	2.78	2.58	2.44	
Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165	0.48	2.26	3.10	3.75	4.78	5.21	5.89	6.36	7.56	7.99	7.29	5.50	4.80	4.34	3.99	

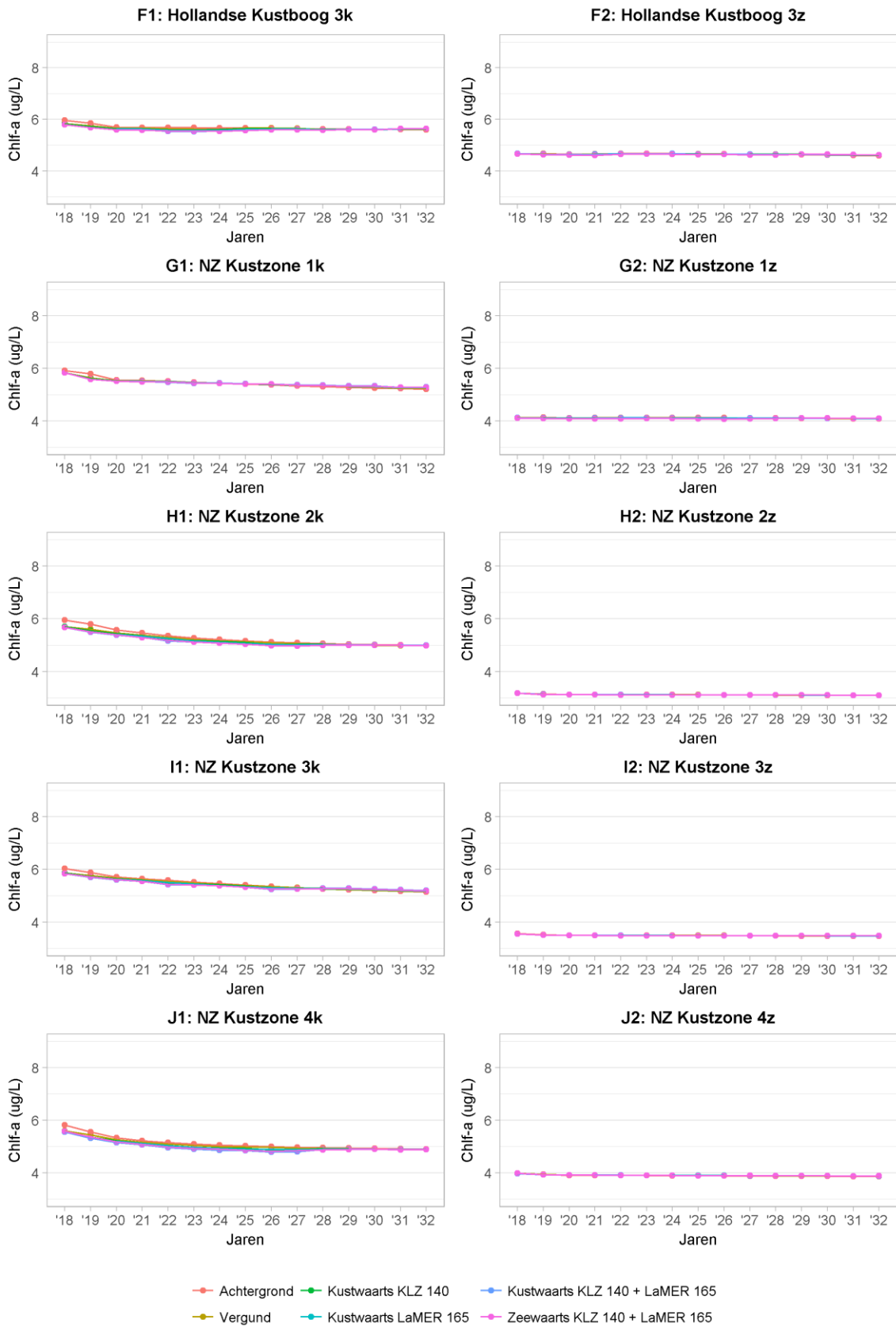
D Bijlage algen, primaire productie en schelpdieren

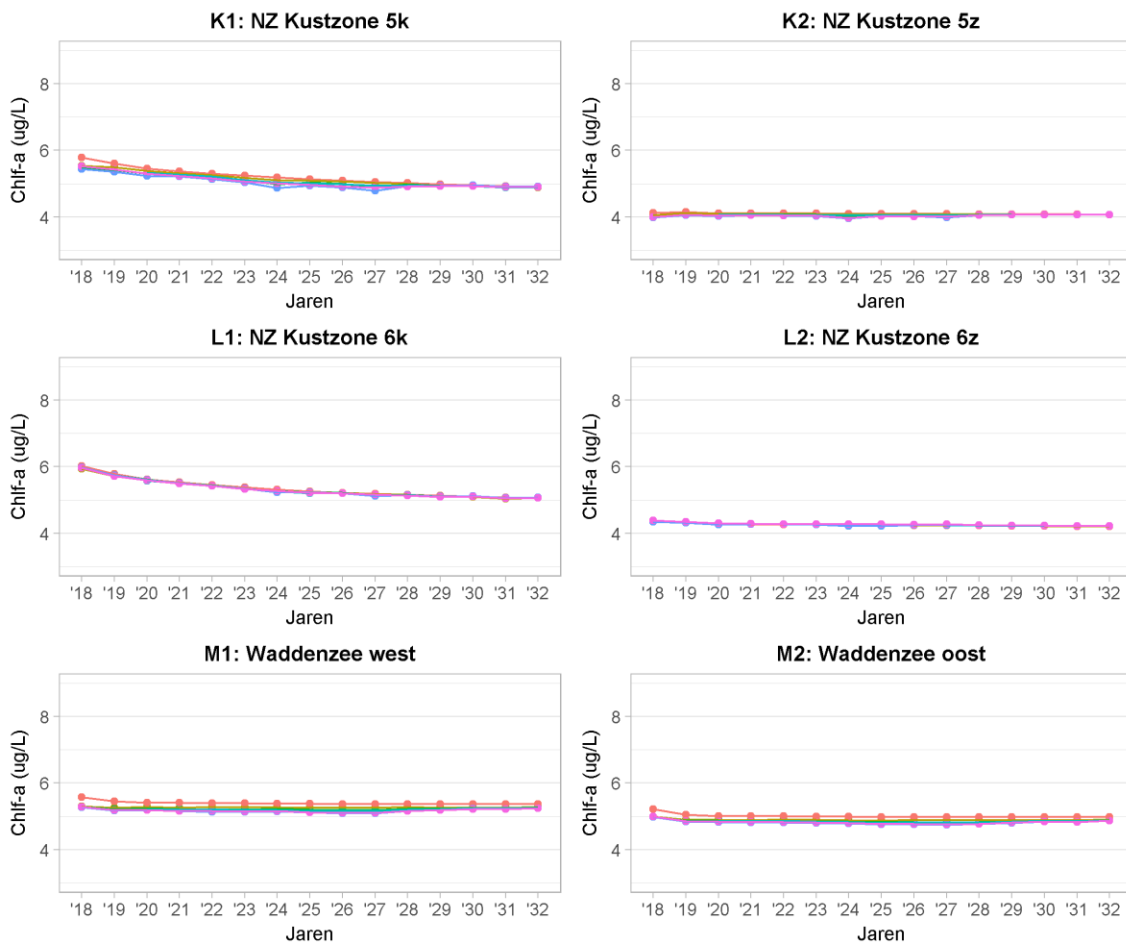
D.1 Chlorofyl-a (tijdseries)

D.1.1 Chlorofyl-a (absoluut, figuren)

Figuur D.1 Absolute waarden voor chlorofyl in alle vakken voor de scenario's waar modellen voor gedraaid zijn. Data voor 2018 en 2019 voor LaMER 165 zijn achterwege gelaten.



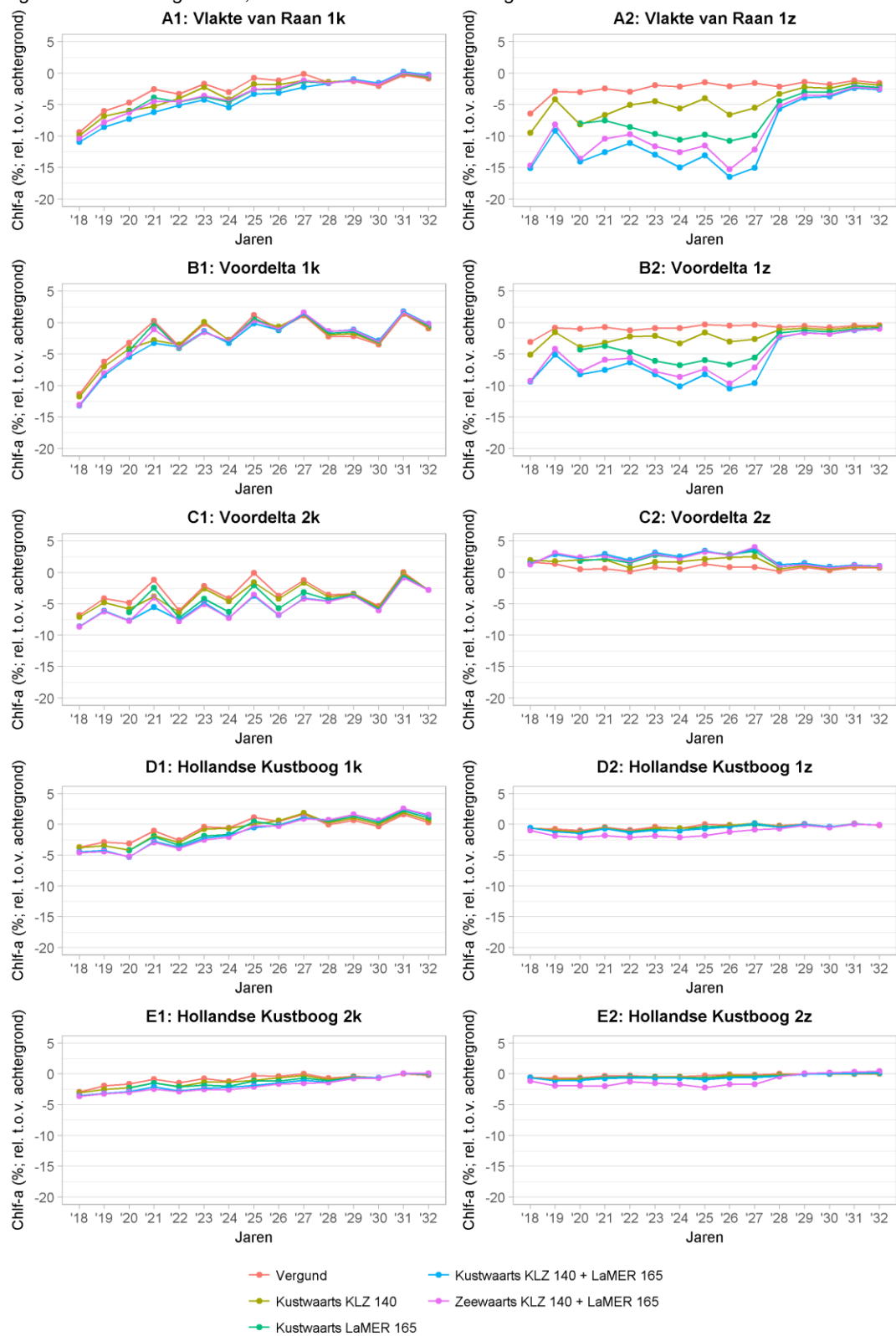


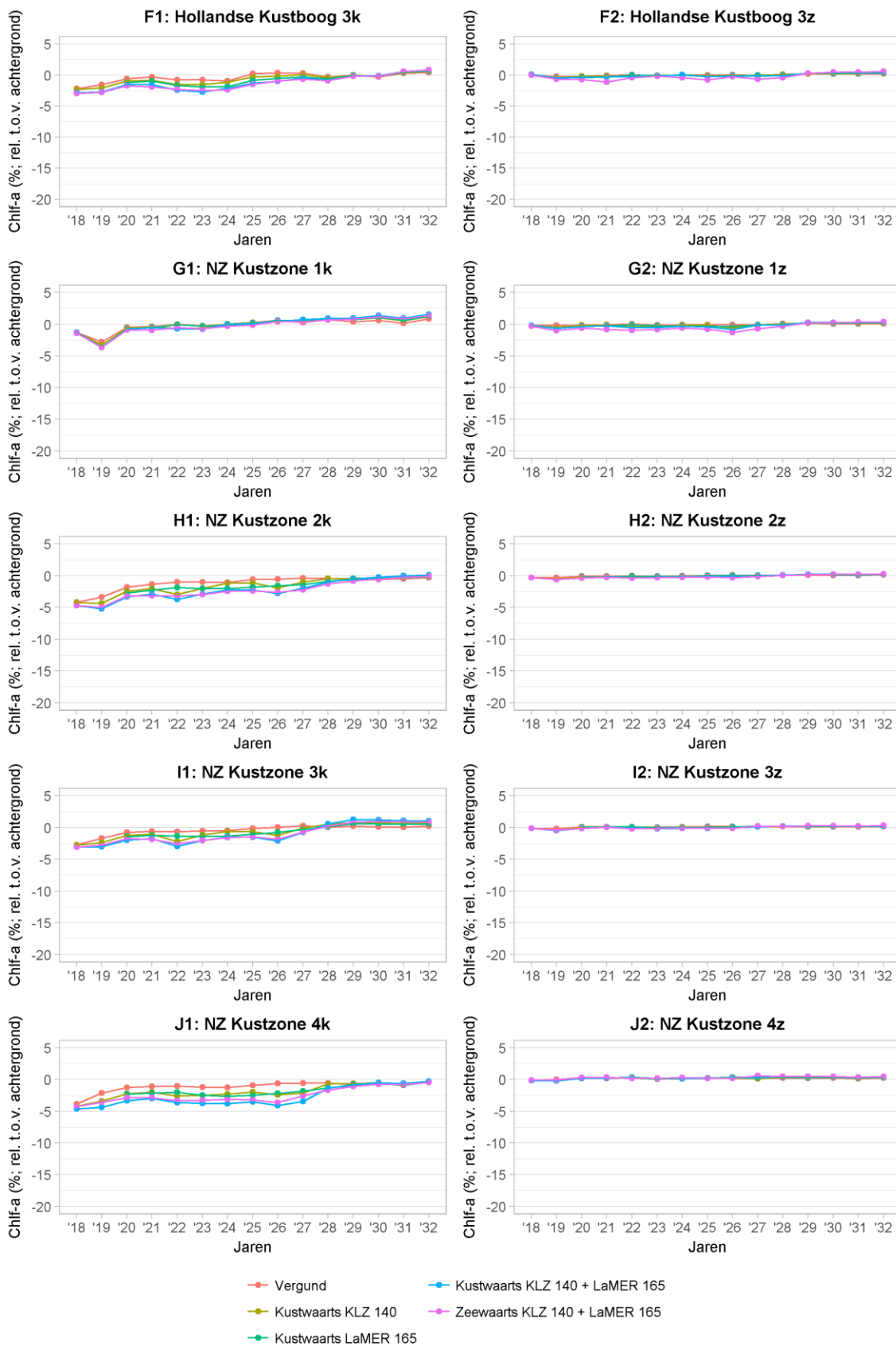


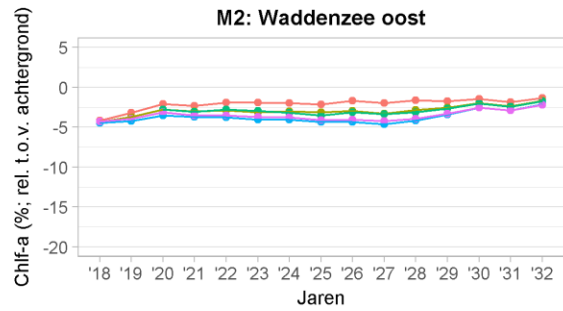
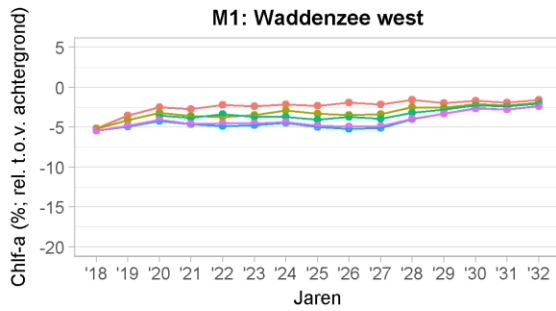
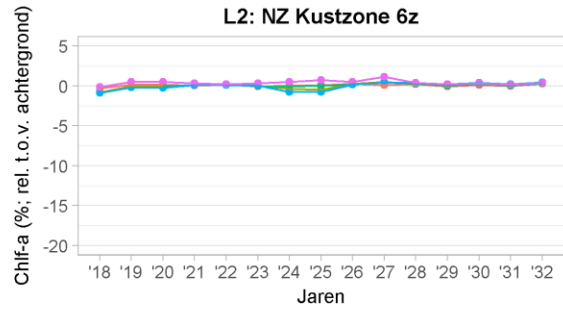
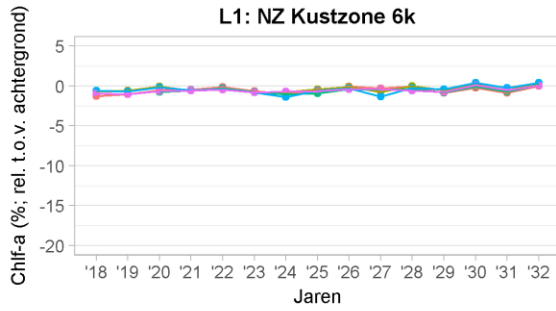
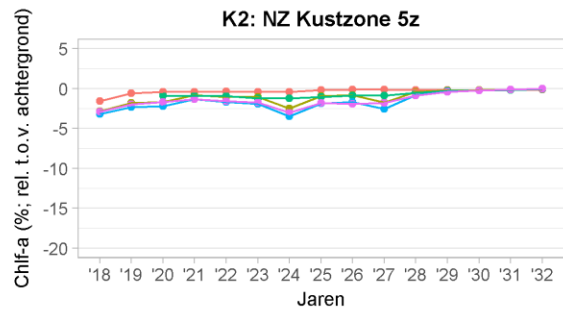
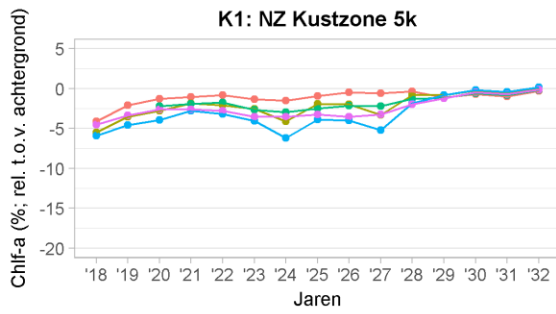
—●— Achtergrond —●— Kustwaarts KLZ 140 —●— Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165
—●— Vergund —●— Kustwaarts LaMER 165 —●— Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165

D.1.2 Chlorofyl-a (t.o.v. achtergrond)

Figuur D.2 Als in Figuur D.1; relatieve effecten t.o.v. achtergrond.

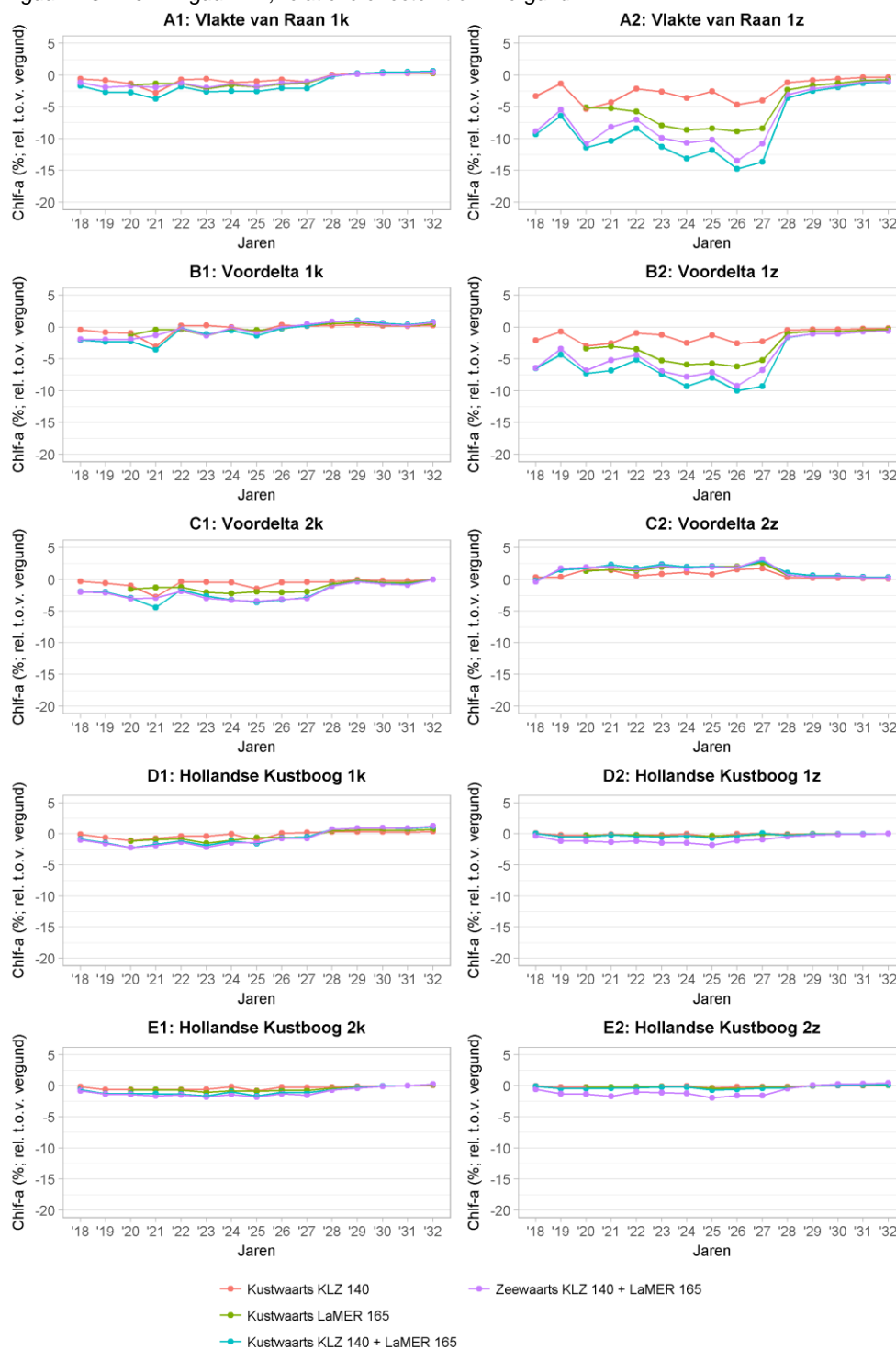


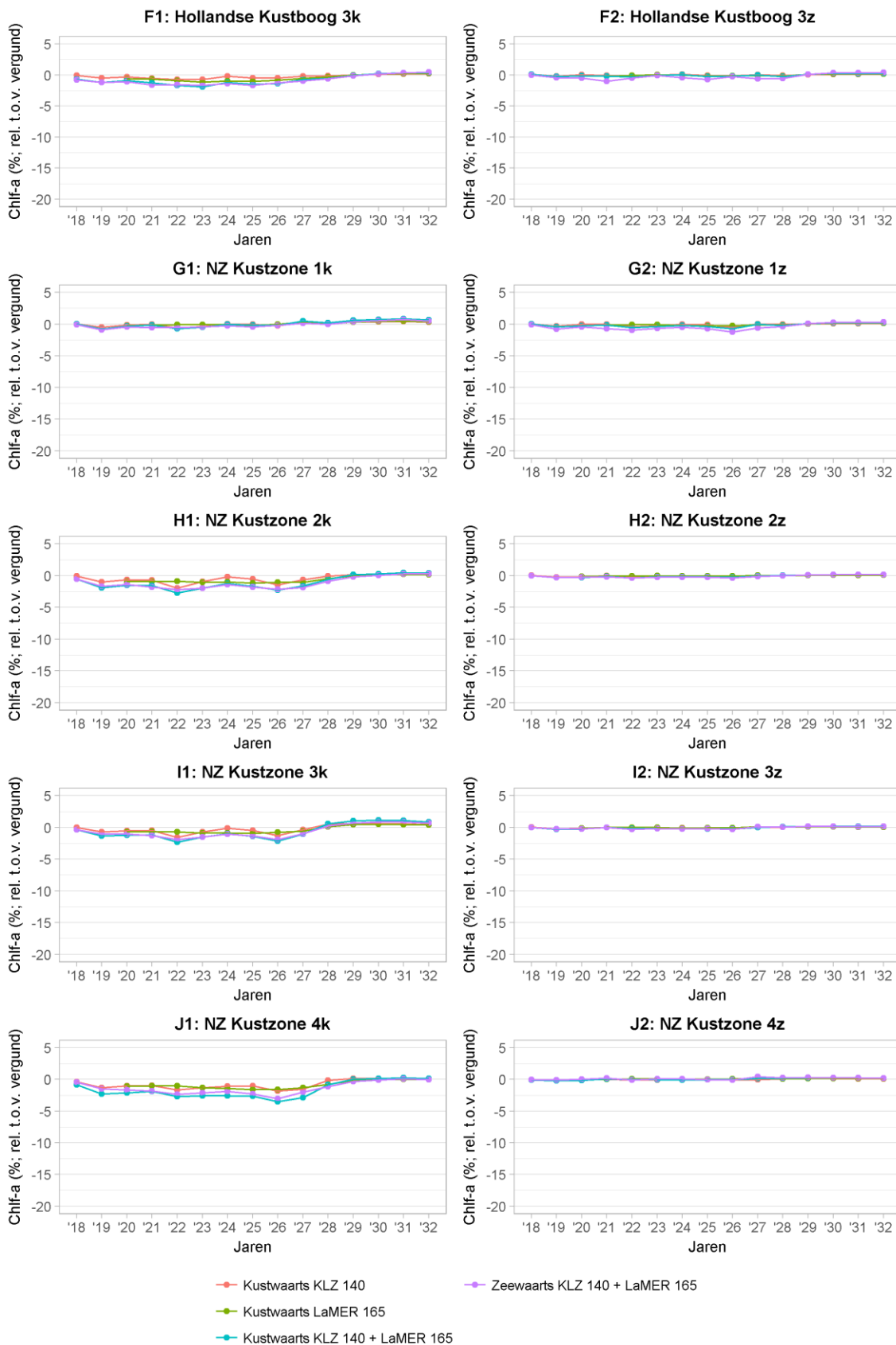


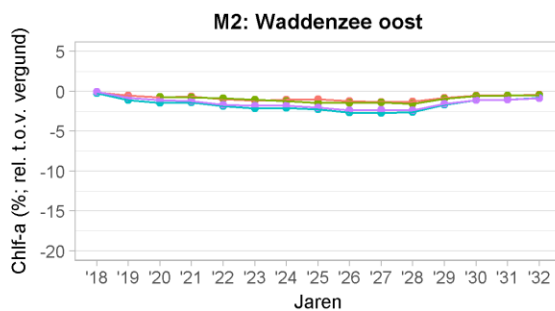
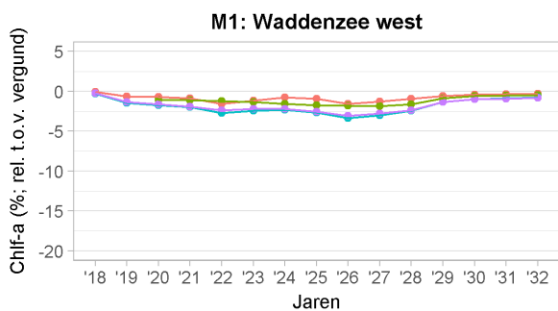
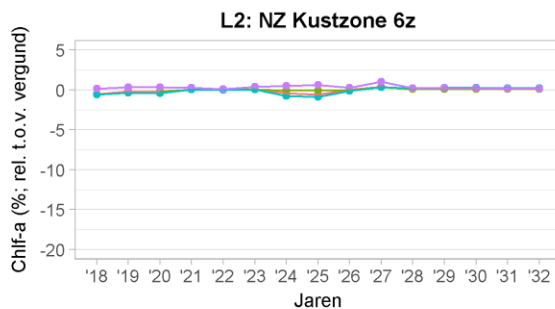
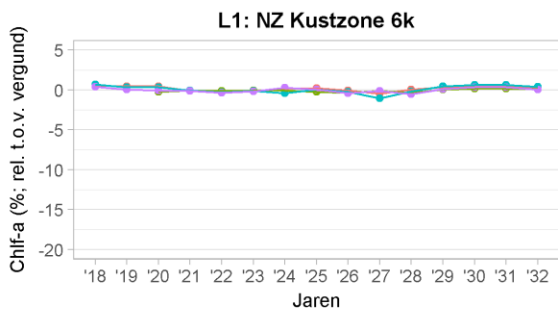
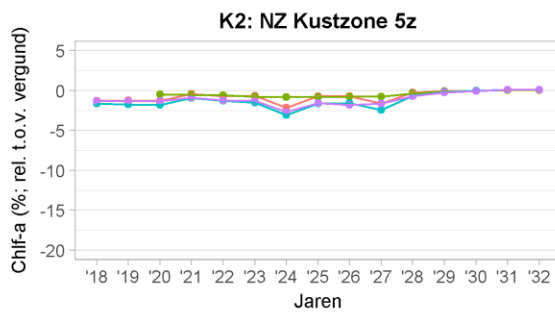
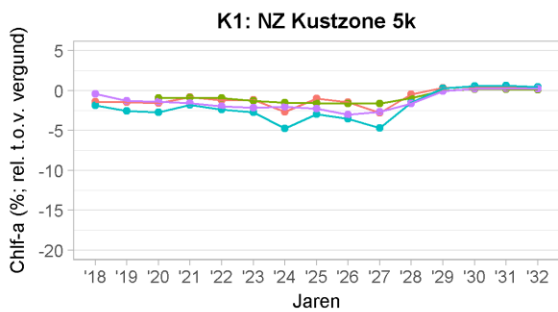


D.1.3 Chlorofyl-a (ten opzichte van vergund, figuren)

Figuur D.3 Als in Figuur D.1; relatieve effecten t.o.v. vergund







- Kustwaarts KLZ 140
- Kustwaarts LaMER 165
- Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165
- Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165

M1: Waddenzee west															
Achtergrond	5.581186	5.446498	5.412795	5.407209	5.400125	5.392696	5.386317	5.379243	5.372983	5.36959	5.36699	5.36481	5.365127	5.365541	5.366152
Vergund	5.292097	5.255083	5.277817	5.259733	5.282132	5.264322	5.270164	5.252546	5.270016	5.253927	5.282183	5.25919	5.275355	5.26312	5.281583
Kustwaarts KLZ 120 (A)	5.28921	5.221224	5.240906	5.213197	5.201661	5.211637	5.235544	5.208489	5.200196	5.20042	5.241032	5.23464	5.257753	5.247181	5.267538
Kustwaarts KLZ 120 (V)	5.28921	5.221224	5.240906	5.213197	5.202481	5.212182	5.235154	5.208601	5.201757	5.200008	5.24103	5.23359	5.256745	5.246248	5.266791
Kustwaarts KLZ 140	5.28921	5.221224	5.240906	5.213197	5.198152	5.203924	5.228861	5.202516	5.18595	5.187532	5.233654	5.229072	5.253546	5.243307	5.264326
Kustwaarts LaMER 135 (A)			5.221552	5.201072	5.218058	5.198357	5.202503	5.179026	5.195586	5.180787	5.216123	5.225216	5.25238	5.243394	5.26378
Kustwaarts LaMER 135 (V)			5.221552	5.201072	5.218058	5.19894	5.203903	5.181233	5.198161	5.182192	5.218706	5.224588	5.251251	5.242296	5.262951
Kustwaarts LaMER 165			5.221552	5.201072	5.218058	5.19373	5.187772	5.159969	5.17479	5.157241	5.196991	5.214048	5.24434	5.23637	5.25787
Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165	5.277091	5.17713	5.184861	5.156789	5.137411	5.135338	5.146743	5.112482	5.091989	5.0954	5.153199	5.187236	5.2234	5.216875	5.241284
Zeewaarts KLZ 140 (A)	5.289801	5.223004	5.235256	5.211253	5.212068	5.211225	5.228795	5.204243	5.197275	5.201295	5.233908	5.239321	5.263347	5.253605	5.272837
Zeewaarts KLZ 140 (V)	5.289706	5.229224	5.246427	5.21796	5.221597	5.21757	5.232289	5.209432	5.204932	5.201898	5.239291	5.234019	5.256894	5.246715	5.267123
Zeewaarts LaMER 165 (A)	5.281127	5.207557	5.216753	5.196636	5.208057	5.191532	5.189362	5.160385	5.168132	5.159483	5.195246	5.215355	5.243978	5.234548	5.255003
Zeewaarts LaMER 165 (V)	5.28094	5.21097	5.223032	5.201362	5.216898	5.195934	5.191161	5.162665	5.173479	5.159874	5.197923	5.212598	5.240449	5.230946	5.252349
Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165	5.278549	5.185111	5.191642	5.159865	5.156364	5.149181	5.153286	5.119551	5.108154	5.107845	5.155503	5.187427	5.222143	5.214381	5.237889
M2: Waddenzee oost															
Achtergrond	5.210951	5.050873	5.002364	5.004479	5.002112	4.995165	4.986399	4.980691	4.977113	4.975938	4.974742	4.973183	4.973438	4.973745	4.973709
Vergund	4.992496	4.89084	4.898485	4.887202	4.906234	4.897821	4.887292	4.874859	4.89182	4.876203	4.894748	4.886499	4.901285	4.880591	4.908263
Kustwaarts KLZ 120 (A)	4.985183	4.864396	4.861531	4.854444	4.858446	4.847328	4.849536	4.835396	4.841605	4.824733	4.843699	4.853436	4.880412	4.860811	4.89253
Kustwaarts KLZ 120 (V)	4.985183	4.864396	4.861531	4.854444	4.858626	4.848165	4.847318	4.833808	4.841297	4.822298	4.843732	4.852478	4.87928	4.859343	4.891855
Kustwaarts KLZ 140	4.985183	4.864396	4.861531	4.854444	4.856329	4.839889	4.836934	4.825353	4.830556	4.810739	4.832902	4.845417	4.874738	4.855185	4.888636
Kustwaarts LaMER 135 (A)			4.863495	4.849621	4.863065	4.849924	4.838069	4.818955	4.83677	4.826381	4.835417	4.850221	4.878098	4.860659	4.891248
Kustwaarts LaMER 135 (V)			4.863495	4.849621	4.863065	4.850382	4.838691	4.819959	4.83825	4.825503	4.837783	4.850779	4.877743	4.859519	4.890962
Kustwaarts LaMER 165			4.863495	4.849621	4.863065	4.846799	4.827764	4.804474	4.82153	4.808701	4.818795	4.83995	4.871125	4.853666	4.886254
Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165	4.979445	4.836242	4.826545	4.817589	4.814807	4.792089	4.785176	4.763076	4.761558	4.74395	4.765708	4.802558	4.845844	4.830464	4.866895
Zeewaarts KLZ 140 (A)	4.994289	4.873596	4.869408	4.858618	4.860244	4.851345	4.85114	4.836166	4.837652	4.831224	4.843271	4.854783	4.881972	4.867422	4.893853
Zeewaarts KLZ 140 (V)	4.991291	4.874753	4.875651	4.860349	4.865242	4.856795	4.851077	4.836069	4.840626	4.8274	4.846626	4.853474	4.87846	4.860043	4.891026
Zeewaarts LaMER 165 (A)	4.99033	4.866178	4.862288	4.851646	4.860385	4.845905	4.835236	4.81525	4.824762	4.815564	4.822832	4.842861	4.87235	4.855471	4.882895
Zeewaarts LaMER 165 (V)	4.989159	4.866974	4.866868	4.853026	4.865413	4.850522	4.835148	4.815122	4.827138	4.812633	4.825149	4.841901	4.869873	4.850469	4.881129
Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165	4.988046	4.850888	4.844034	4.826173	4.82425	4.809497	4.798782	4.776177	4.775944	4.763831	4.777028	4.808876	4.847048	4.829921	4.863893

M1: Waddenzee west															
Vergund	-5.1797	-3.51447	-2.49369	-2.7274	-2.18502	-2.38051	-2.15645	-2.35529	-1.9164	-2.15404	-1.58016	-1.96877	-1.67324	-1.90885	-1.57598
Kustwaarts KLZ 120	-5.23143	-4.13613	-3.17561	-3.58804	-3.67518	-3.35748	-2.79918	-3.1743	-3.21585	-3.15053	-2.34692	-2.42638	-2.00132	-2.20592	-1.83771
Kustwaarts KLZ 140	-5.23143	-4.13613	-3.17561	-3.58804	-3.74016	-3.50051	-2.92327	-3.28535	-3.48099	-3.39053	-2.48438	-2.53017	-2.07974	-2.27813	-1.89756
Kustwaarts LaMER 135			-3.53317	-3.81228	-3.37154	-3.60374	-3.41261	-3.72202	-3.30165	-3.51614	-2.81102	-2.60205	-2.10147	-2.2765	-1.90774
Kustwaarts LaMER 165			-3.53317	-3.81228	-3.37154	-3.68954	-3.6861	-4.07631	-3.68871	-3.95465	-3.1675	-2.81021	-2.25132	-2.40742	-2.01787
Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165	-5.44858	-4.94571	-4.21103	-4.63123	-4.86497	-4.77235	-4.44782	-4.95909	-5.22976	-5.10634	-3.98344	-3.30998	-2.64163	-2.77075	-2.32695
Zeewaarts KLZ 140	-5.22084	-4.10345	-3.28	-3.62399	-3.48246	-3.36513	-2.92448	-3.25325	-3.27021	-3.13421	-2.47964	-2.33912	-1.89705	-2.0862	-1.73896
Zeewaarts LaMER 165	-5.37625	-4.38706	-3.62184	-3.89431	-3.55673	-3.73031	-3.65657	-4.06857	-3.81263	-3.9129	-3.20001	-2.78584	-2.25808	-2.44137	-2.07131
Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165	-5.42245	-4.79918	-4.08576	-4.57434	-4.514	-4.51563	-4.32636	-4.82767	-4.9289	-4.87458	-3.94933	-3.30643	-2.66506	-2.81723	-2.39023
M2: Waddenzee oost															
Vergund	-4.19224	-3.16843	-2.0766	-2.34344	-1.91676	-1.94877	-1.98754	-2.12484	-1.71371	-2.00436	-1.608	-1.74302	-1.45078	-1.87291	-1.31584
Kustwaarts KLZ 120	-4.33257	-3.69197	-2.81534	-2.99802	-2.87211	-2.9596	-2.74471	-2.91716	-2.72263	-3.03874	-2.63417	-2.40785	-1.87046	-2.27061	-1.63216
Kustwaarts KLZ 140	-4.33257	-3.69197	-2.81534	-2.99802	-2.91443	-3.10853	-2.99745	-3.11881	-2.94463	-3.31996	-2.8512	-2.56909	-1.98454	-2.38371	-1.71045
Kustwaarts LaMER 135			-2.77606	-3.09438	-2.77977	-2.90764	-2.97469	-3.24725	-2.81978	-3.00561	-2.80064	-2.4725	-1.91698	-2.27365	-1.65793
Kustwaarts LaMER 165			-2.77606	-3.09438	-2.77977	-2.9702	-3.18135	-3.538	-3.12598	-3.36092	-3.13477	-2.67903	-2.05718	-2.41426	-1.75834
Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165	-4.44269	-4.24938	-3.51473	-3.73445	-3.74453	-4.06545	-4.03544	-4.36917	-4.33093	-4.66219	-4.2019	-3.43091	-2.56552	-2.88075	-2.14756
Zeewaarts KLZ 140	-4.15783	-3.50983	-2.65785	-2.9146	-2.83616	-2.87918	-2.71255	-2.90171	-2.80204	-2.90828	-2.64277	-2.38076	-1.8391	-2.13768	-1.60555
Zeewaarts LaMER 165	-4.2338	-3.65669	-2.80019	-3.05393	-2.83334	-2.9881	-3.03151	-3.32166	-3.06103	-3.22299	-3.05361	-2.62049	-2.03256	-2.37796	-1.82588
Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165	-4.27762	-3.95942	-3.1651	-3.56292	-3.55574	-3.71697	-3.76257	-4.10614	-4.04189	-4.26267	-3.97436	-3.30386	-2.5413	-2.89167	-2.20793

D.1.6 Chlorofyl-a, t.o.v. vergund

Tabel D.3 Als Error! Reference source not found.. Resultaten relatief t.o.v. vergund. Hier is voor de afleiding van niet gedraaide scenario's alleen de correlatie t.o.v. vergund gebruikt (zie Figuur E.2)

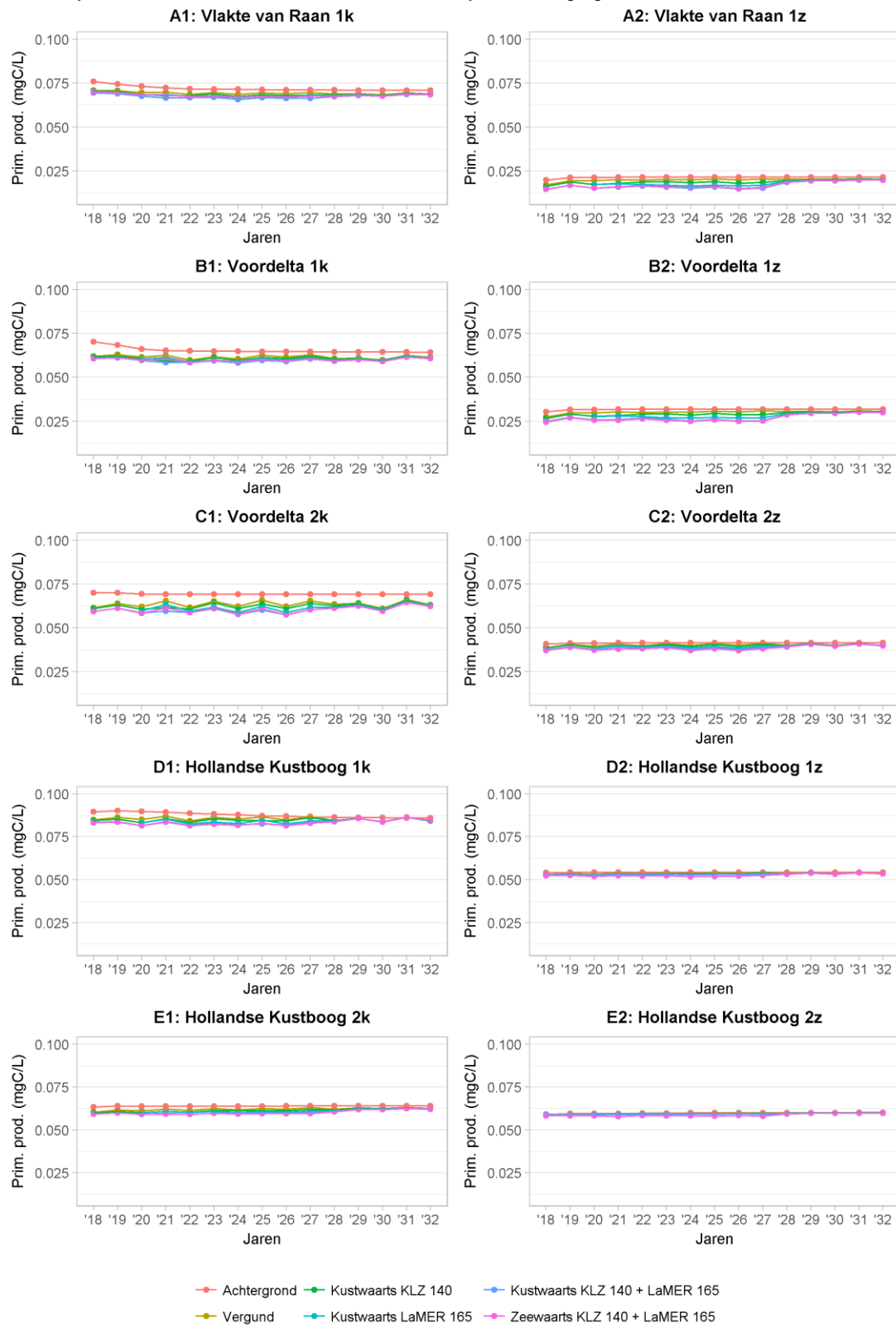
Table with 15 columns (Chl-f-a (%; rel. t.o.v. vergund) and years 2018-2032) and multiple rows of data grouped into sections A1, A2, B1, B2, C1, C2, D1, D2.

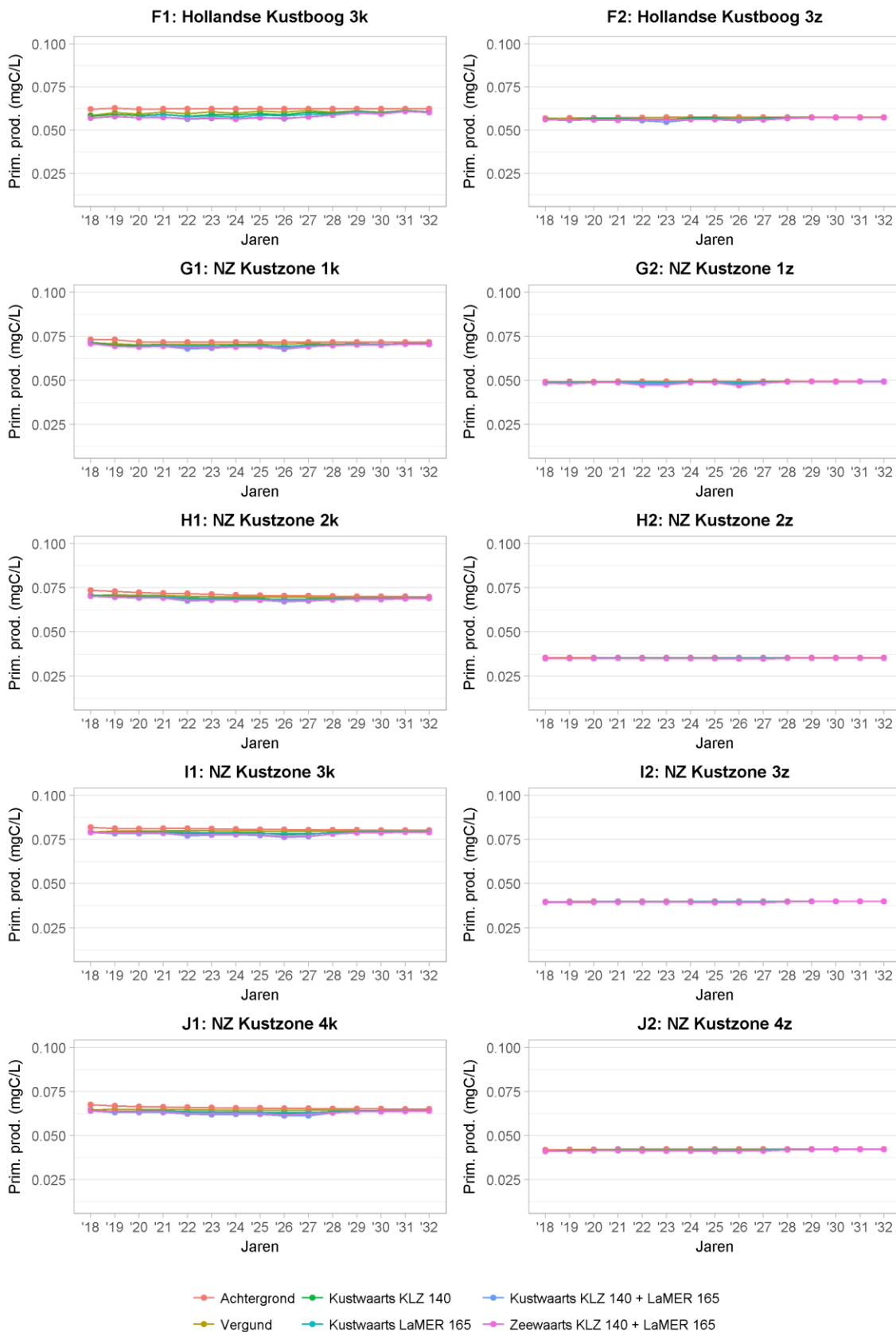
M1: Waddenzee west															
Kustwaarts KLZ 120	-0.05456	-0.64431	-0.69936	-0.88477	-1.50793	-0.99045	-0.66429	-0.83665	-1.29522	-1.02626	-0.77908	-0.48677	-0.35279	-0.32058	-0.28005
Kustwaarts KLZ 140	-0.05456	-0.64431	-0.69936	-0.88477	-1.58988	-1.14731	-0.78372	-0.95249	-1.59516	-1.26371	-0.91873	-0.57267	-0.41342	-0.37646	-0.32673
Kustwaarts LaMER 135			-1.06606	-1.1153	-1.21303	-1.24199	-1.25728	-1.35769	-1.36346	-1.36535	-1.20171	-0.65793	-0.45692	-0.39568	-0.35276
Kustwaarts LaMER 165			-1.06606	-1.1153	-1.21303	-1.34095	-1.56336	-1.76253	-1.80694	-1.84026	-1.61283	-0.85834	-0.58793	-0.50827	-0.44897
Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165	-0.28357	-1.48338	-1.76125	-1.95721	-2.73982	-2.45017	-2.34187	-2.66661	-3.3781	-3.0173	-2.44186	-1.36814	-0.98488	-0.87867	-0.763
Zeewaarts KLZ 140	-0.04518	-0.49208	-0.59476	-0.7942	-1.14602	-0.8881	-0.71867	-0.82082	-1.23497	-0.99029	-0.81202	-0.4786	-0.34996	-0.31171	-0.27378
Zeewaarts LaMER 165	-0.21084	-0.83943	-1.03802	-1.10978	-1.23498	-1.29909	-1.49906	-1.7112	-1.8318	-1.79014	-1.59518	-0.88592	-0.66169	-0.61132	-0.55351
Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165	-0.25601	-1.3315	-1.63278	-1.89873	-2.381	-2.18719	-2.21773	-2.53201	-3.07136	-2.78043	-2.4072	-1.36452	-1.0087	-0.92606	-0.82728
M2: Waddenzee oost															
Kustwaarts KLZ 120	-0.14647	-0.54067	-0.7544	-0.67028	-0.97036	-1.01384	-0.81791	-0.8421	-1.03281	-1.10546	-1.04226	-0.69623	-0.44895	-0.43537	-0.33428
Kustwaarts KLZ 140	-0.14647	-0.54067	-0.7544	-0.67028	-1.01716	-1.18281	-1.03038	-1.01555	-1.25238	-1.34251	-1.26352	-0.84073	-0.54162	-0.52055	-0.39987
Kustwaarts LaMER 135			-0.7143	-0.76896	-0.87988	-0.96856	-0.99443	-1.1262	-1.09509	-1.03974	-1.16379	-0.73099	-0.48032	-0.43175	-0.35248
Kustwaarts LaMER 165			-0.7143	-0.76896	-0.87988	-1.04173	-1.21801	-1.44384	-1.43689	-1.38431	-1.55172	-0.95261	-0.61533	-0.55168	-0.4484
Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165	-0.26141	-1.11633	-1.46862	-1.42438	-1.86348	-2.15875	-2.08942	-2.29305	-2.66285	-2.7122	-2.63629	-1.71783	-1.13115	-1.02708	-0.84281
Zeewaarts KLZ 140	-0.02414	-0.32892	-0.46615	-0.54945	-0.8355	-0.83764	-0.74101	-0.79572	-1.04652	-1.00083	-0.98313	-0.67585	-0.46568	-0.42102	-0.35117
Zeewaarts LaMER 165	-0.06684	-0.48796	-0.64543	-0.69929	-0.832	-0.9657	-1.06693	-1.22541	-1.32225	-1.30367	-1.42191	-0.91268	-0.64089	-0.61718	-0.55281
Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165	-0.08912	-0.81687	-1.11158	-1.24874	-1.671	-1.80334	-1.81102	-2.02431	-2.36877	-2.3045	-2.40503	-1.58853	-1.10658	-1.0382	-0.90398

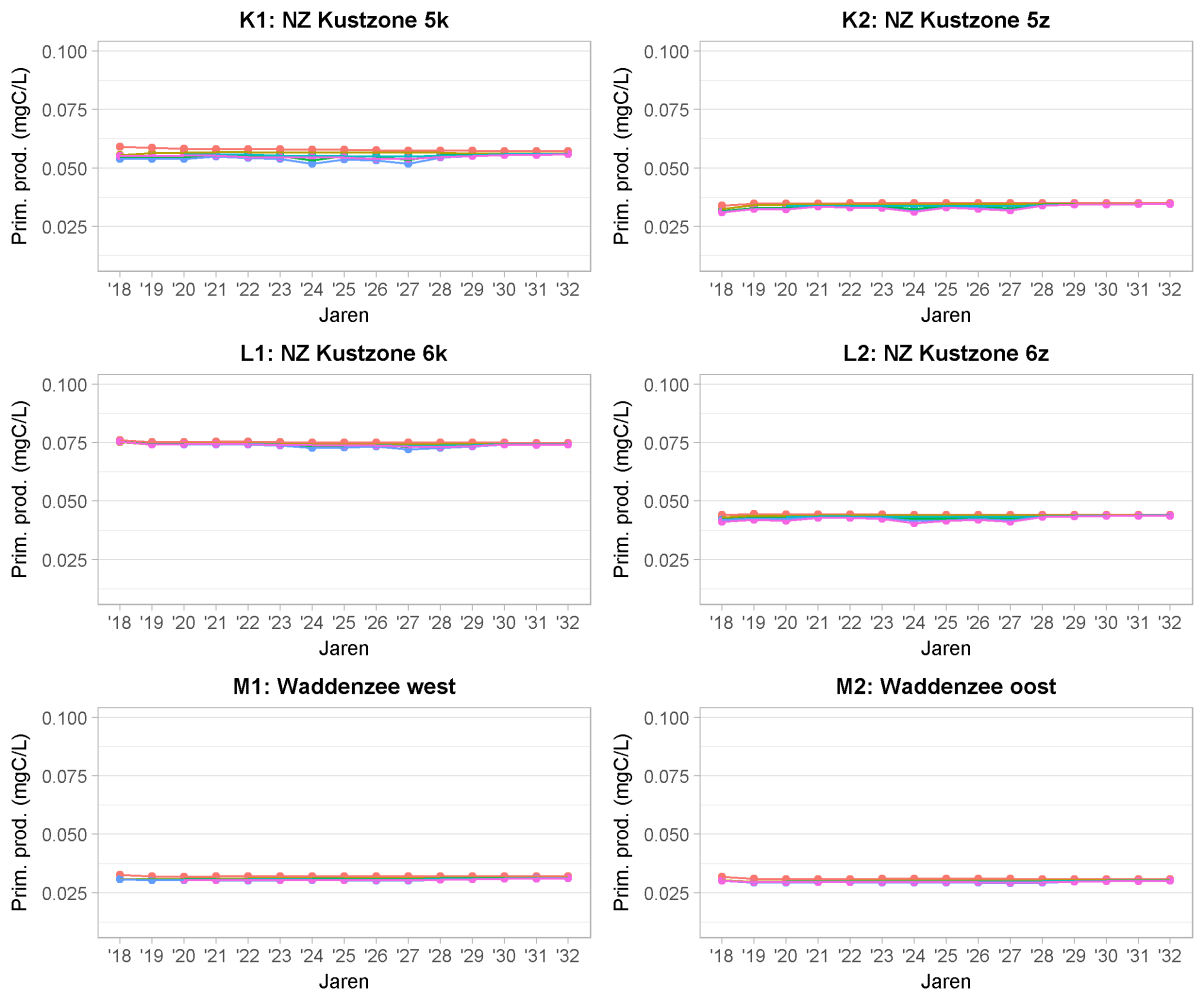
D.2 Primaire Productie (tijdseries)

D.2.1 Primaire productie (absoluut, figuren)

Figuur D.4 Absolute waarden voor primaire productie in alle vakken voor de scenario's waar modelle voor gedraaid zijn. Data voor 2018 en 2019 voor LaMER 165 zijn achterwege gelaten



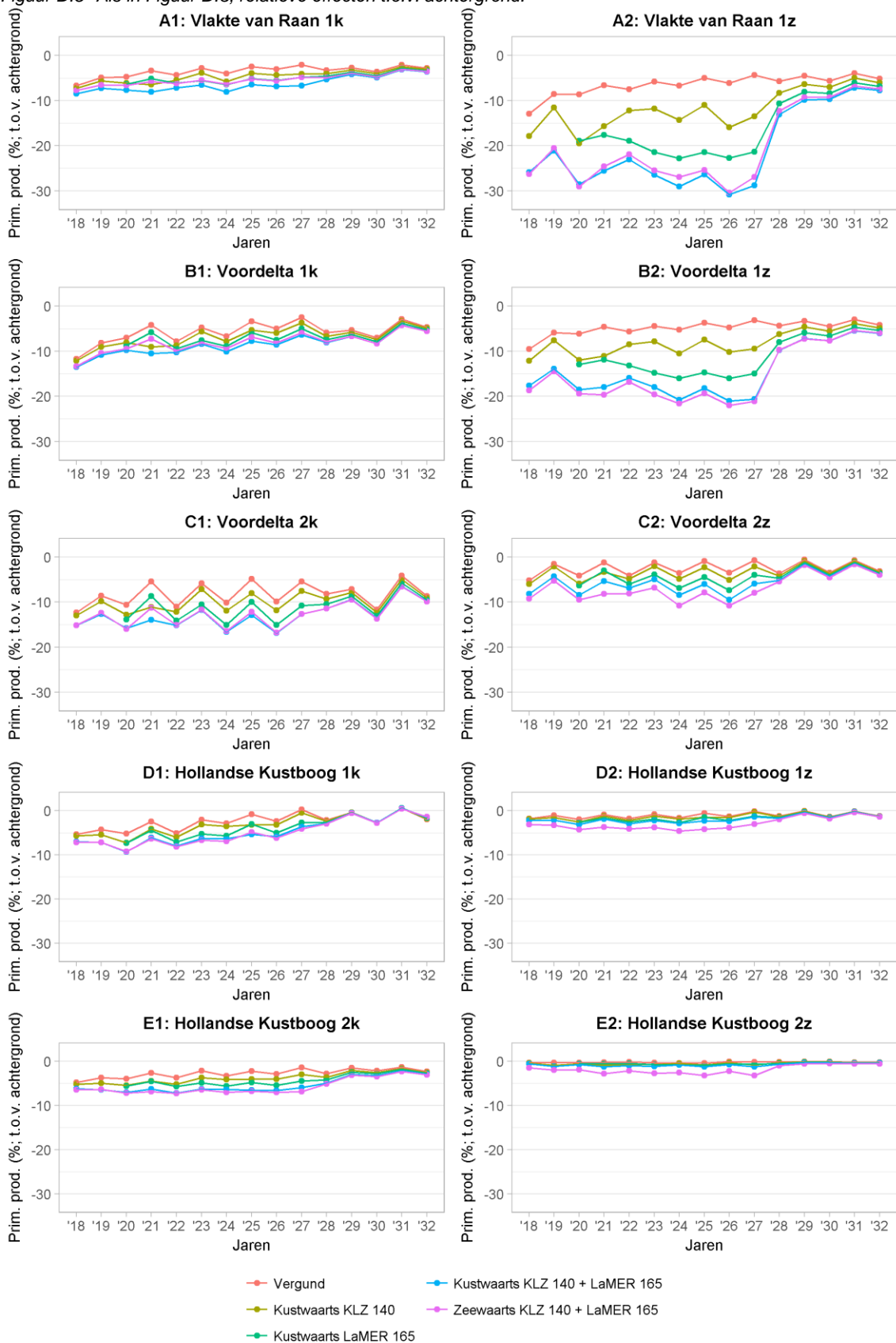


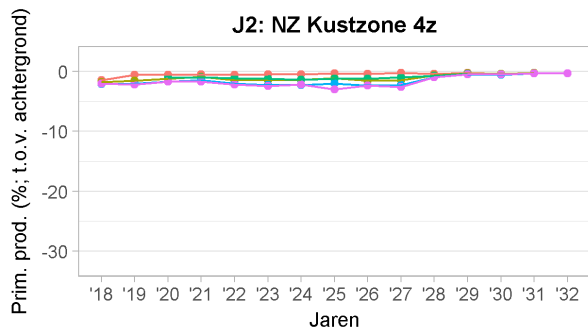
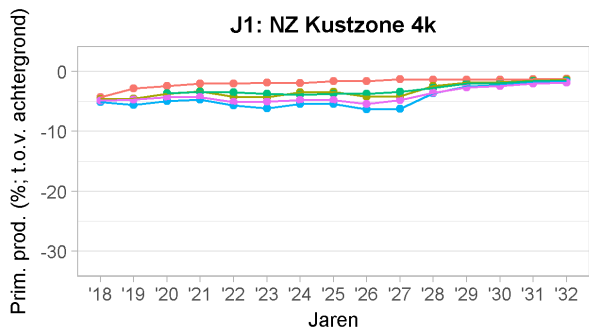
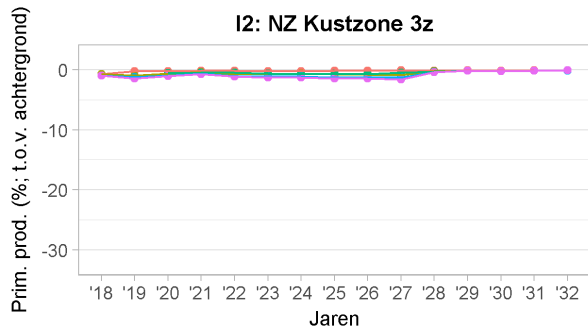
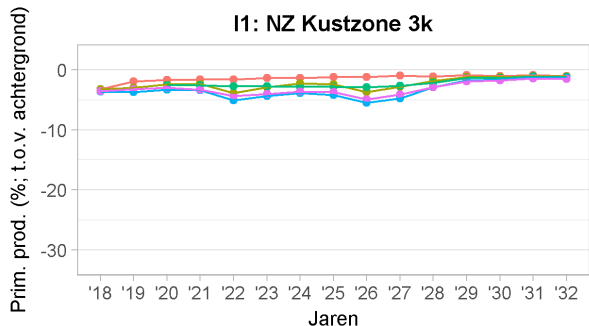
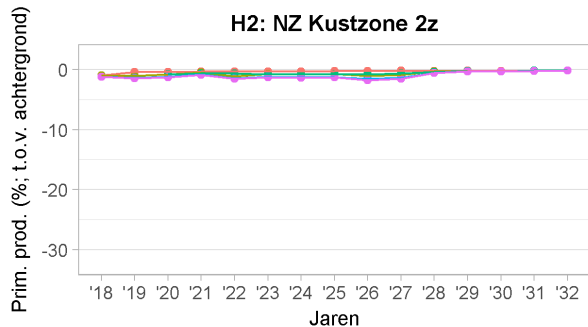
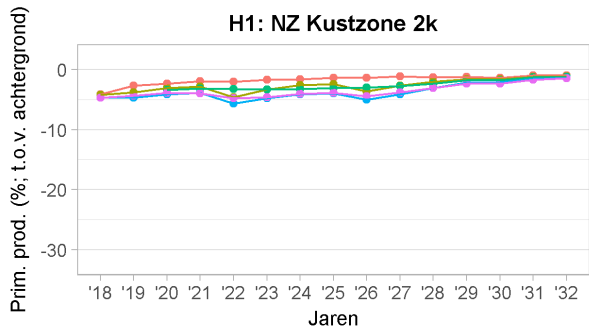
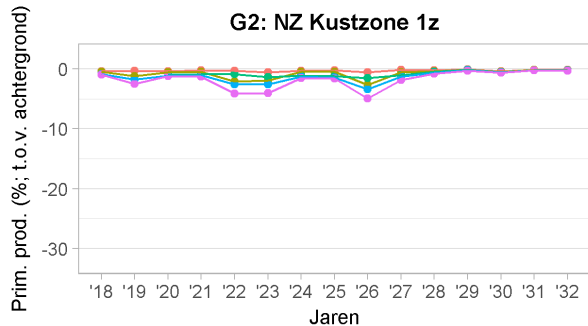
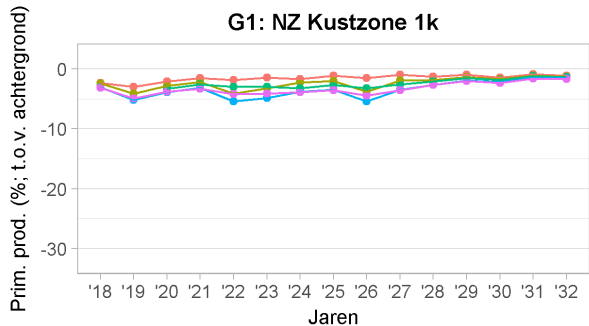
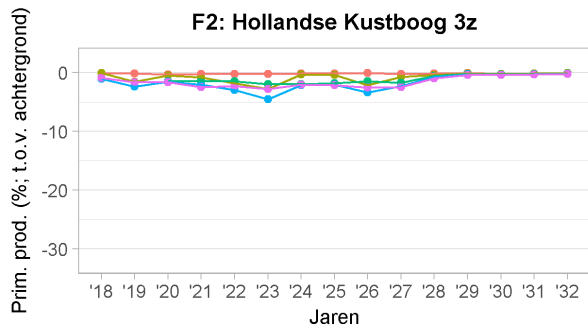
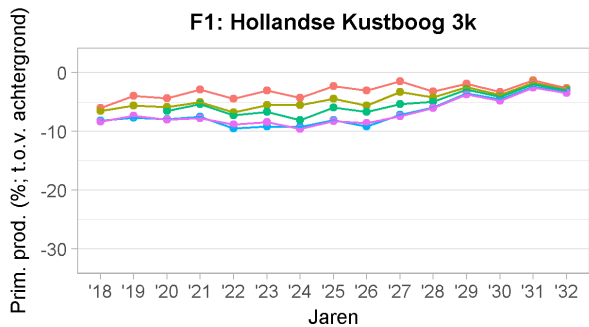


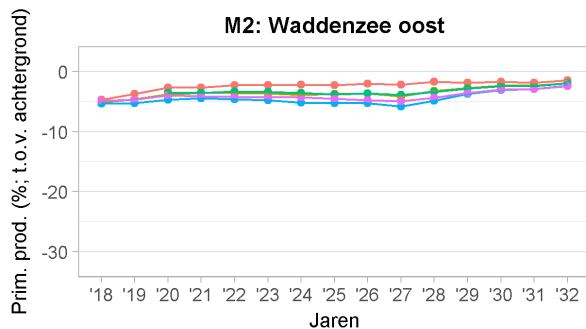
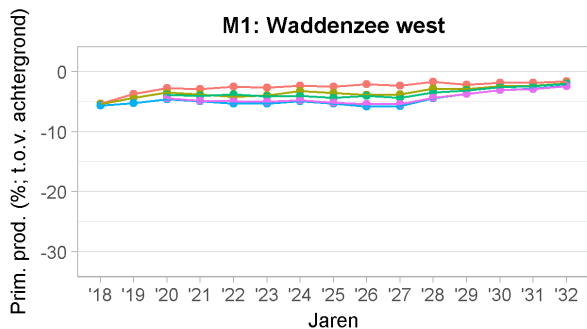
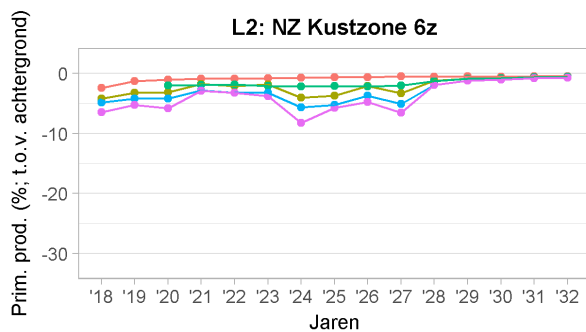
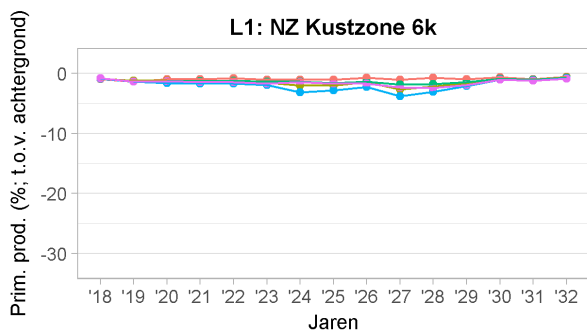
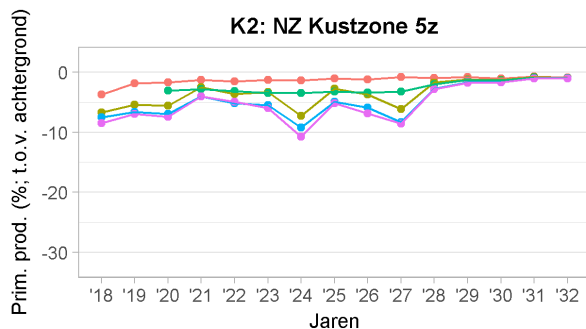
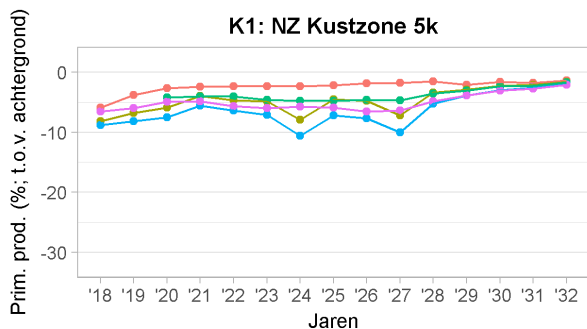
—●— Achtergrond
 —●— Kustwaarts KLZ 140
 —●— Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165
—●— Vergund
 —●— Kustwaarts LaMER 165
 —●— Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165

D.2.2 Primaire productie (ten opzichte van achtergrond, figuren)

Figuur D.5 Als in Figuur D.3; relatieve effecten t.o.v. achtergrond.



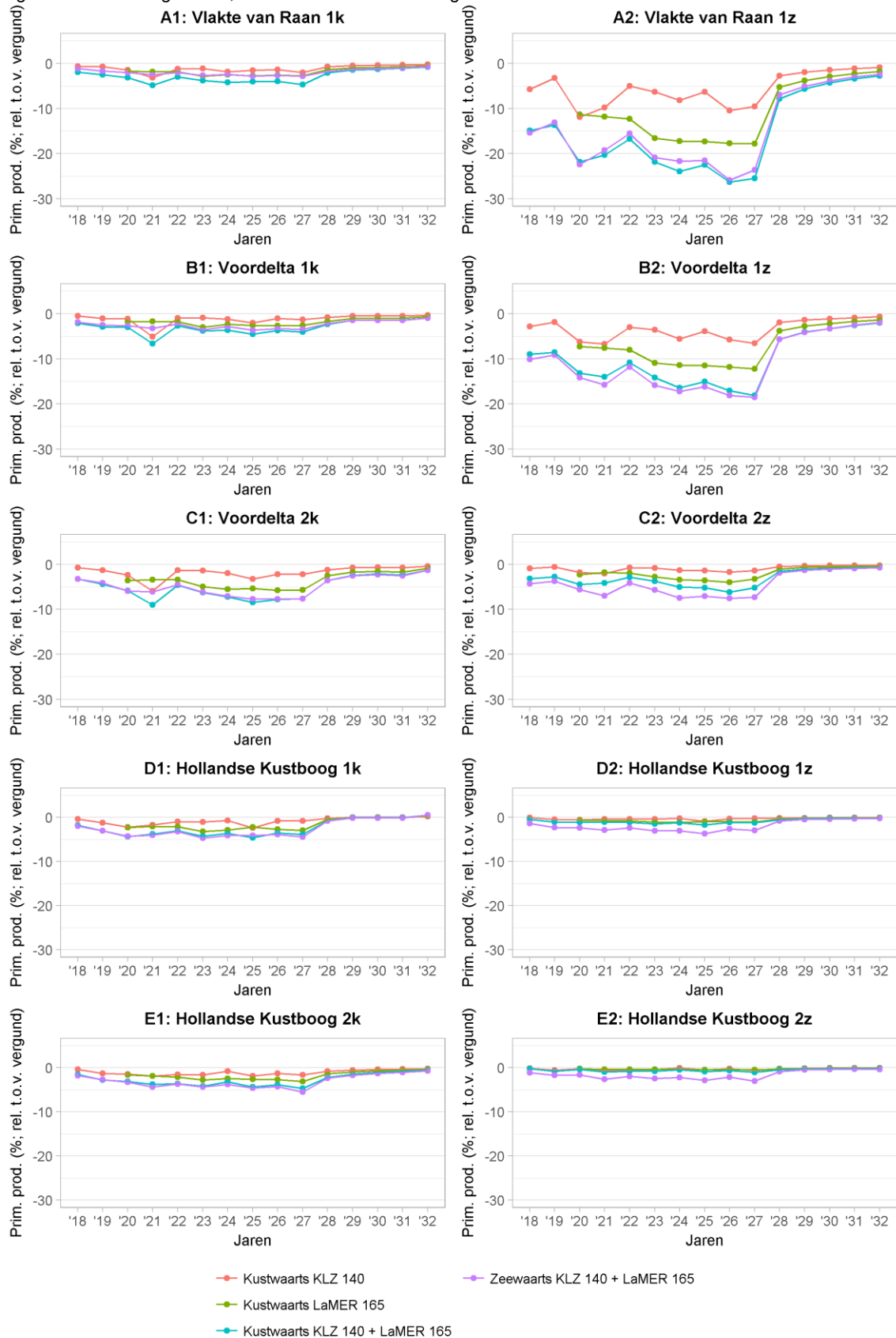


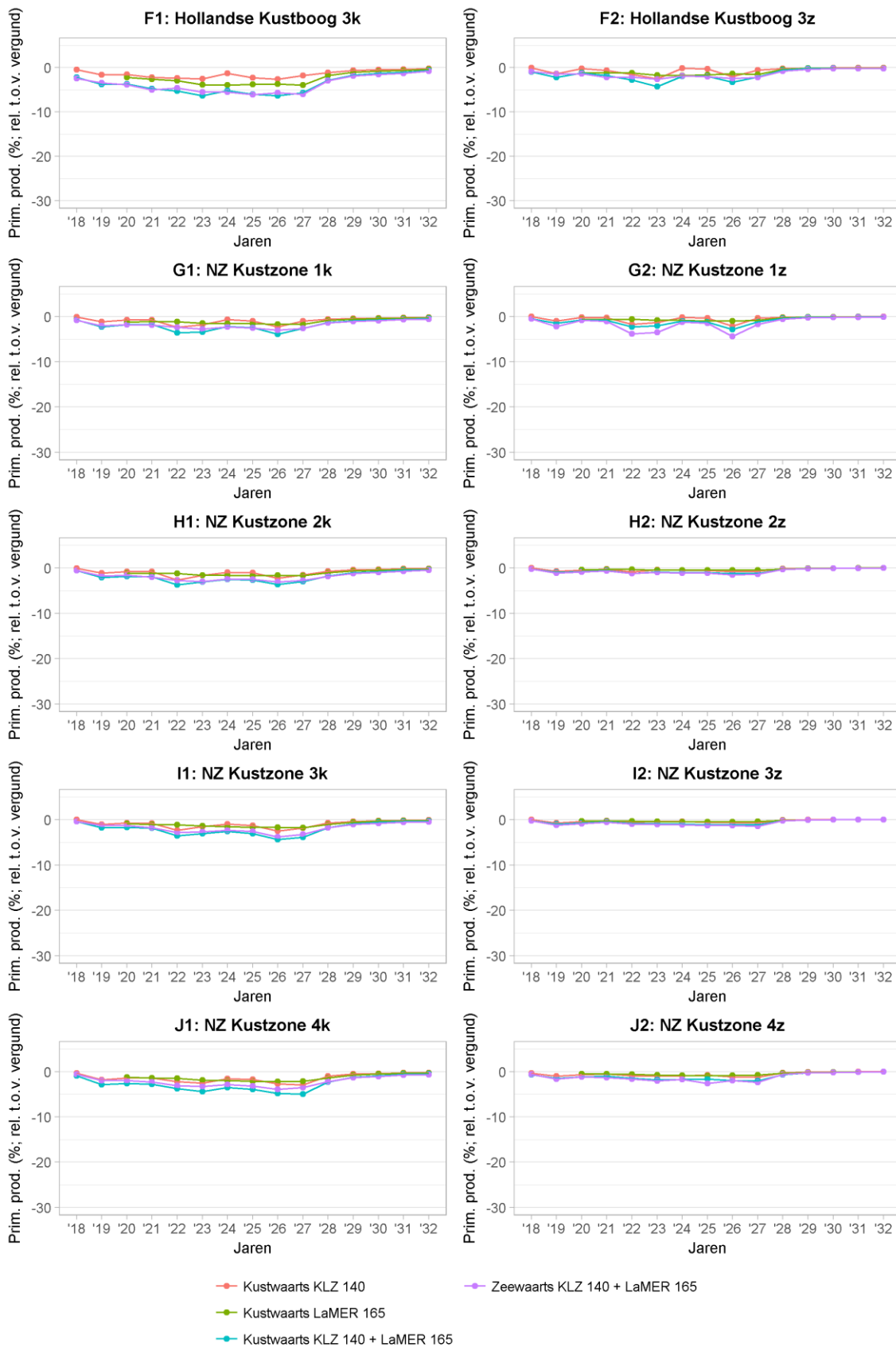


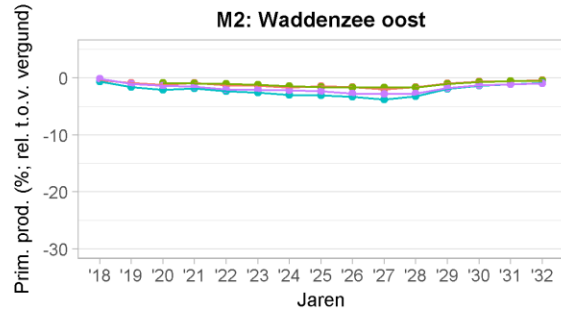
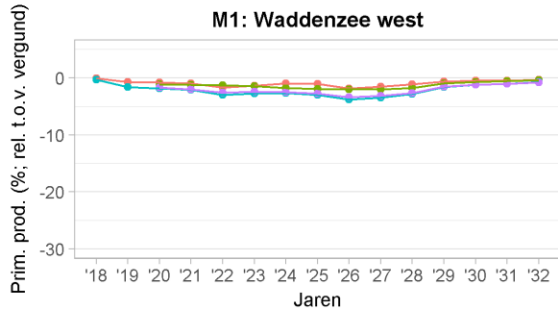
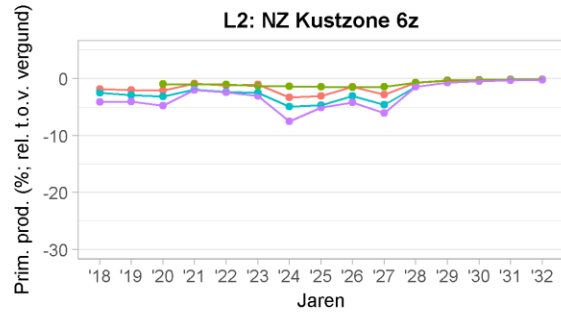
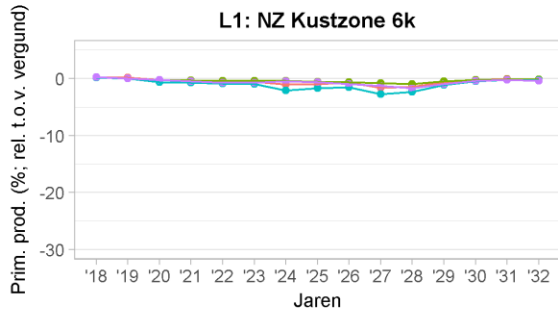
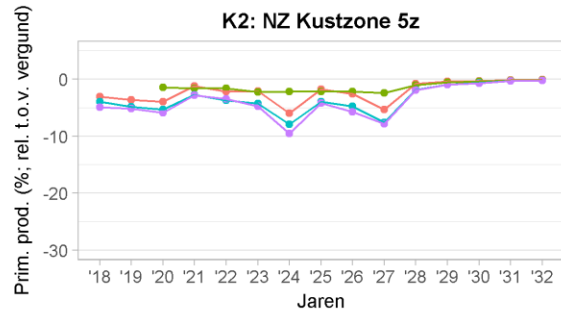
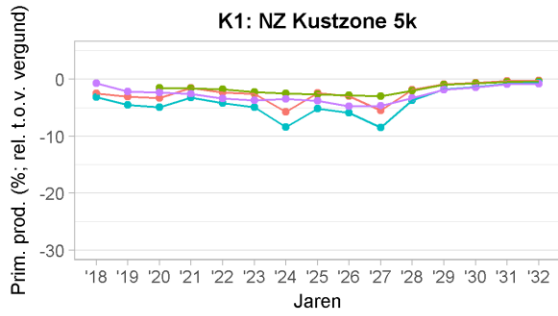
- Vergund
- Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165
- Kustwaarts KLZ 140
- Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165
- Kustwaarts LaMER 165

D.2.3 Primair productie (ten opzichte van vergund, figuren)

Figuur D.6 Als in Figuur D.4; relatieve effecten t.o.v. vergund







M1: Waddenzee west															
Achtergrond	0.032516	0.03192	0.031847	0.031896	0.03193	0.031951	0.031962	0.031967	0.031965	0.031973	0.031974	0.031967	0.03197	0.03197	0.031969
Vergund	0.030779	0.030732	0.030973	0.030969	0.031141	0.031112	0.031221	0.031182	0.031297	0.031223	0.031436	0.031264	0.031371	0.031376	0.031459
Kustwaarts KLZ 120 (A)	0.030759	0.030517	0.03073	0.030679	0.030625	0.030739	0.030964	0.030882	0.030812	0.030838	0.031131	0.03109	0.031239	0.03126	0.031377
Kustwaarts KLZ 120 (V)	0.030759	0.030517	0.03073	0.030679	0.03063	0.030746	0.030966	0.030885	0.030826	0.03084	0.031136	0.031084	0.031234	0.031257	0.031372
Kustwaarts KLZ 140	0.030759	0.030517	0.03073	0.030679	0.030602	0.030688	0.03092	0.030844	0.030717	0.030751	0.031082	0.031052	0.031211	0.031237	0.031357
Kustwaarts LaMER 135 (A)			0.030618	0.030599	0.03073	0.030679	0.030768	0.030703	0.030802	0.030735	0.030998	0.03104	0.031207	0.031235	0.031357
Kustwaarts LaMER 135 (V)			0.030618	0.030599	0.03073	0.030683	0.03078	0.03072	0.030821	0.030746	0.031018	0.031035	0.031201	0.031233	0.031351
Kustwaarts LaMER 165			0.030618	0.030599	0.03073	0.030649	0.030672	0.030582	0.030666	0.03058	0.030875	0.030966	0.031152	0.031193	0.031322
Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165	0.030677	0.030247	0.030389	0.030321	0.030216	0.030251	0.030389	0.030262	0.030112	0.030143	0.030546	0.030772	0.030996	0.031057	0.031224
Zeewaarts KLZ 140 (A)			0.030715	0.030674	0.030708	0.030761	0.030937	0.030858	0.030815	0.030859	0.031103	0.031132	0.031277	0.031285	0.031414
Zeewaarts KLZ 140 (V)			0.030778	0.030711	0.030758	0.030804	0.03097	0.030903	0.030869	0.030873	0.03115	0.031097	0.031241	0.031264	0.031375
Zeewaarts LaMER 165 (A)			0.030597	0.030583	0.030682	0.030632	0.030681	0.03058	0.030624	0.030583	0.03085	0.030972	0.031145	0.031169	0.031308
Zeewaarts LaMER 165 (V)			0.030632	0.030609	0.030729	0.030662	0.030697	0.0306	0.030662	0.030591	0.030873	0.030954	0.031125	0.031158	0.03129
Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165			0.030436	0.030353	0.030346	0.030354	0.030446	0.030321	0.030232	0.030241	0.030587	0.030786	0.030996	0.031045	0.031206
M2: Waddenzee oost															
Achtergrond	0.031715	0.030879	0.030725	0.030787	0.030828	0.030849	0.030857	0.030867	0.030864	0.030857	0.030839	0.030819	0.030803	0.030786	0.030765
Vergund	0.030225	0.02973	0.029917	0.029975	0.030125	0.030166	0.030179	0.030174	0.030241	0.030187	0.030326	0.03026	0.030285	0.030229	0.030313
Kustwaarts KLZ 120 (A)	0.030092	0.029457	0.029553	0.029698	0.029756	0.029795	0.029774	0.029803	0.029827	0.029689	0.029911	0.030017	0.03012	0.030092	0.030211
Kustwaarts KLZ 120 (V)	0.030092	0.029457	0.029553	0.029698	0.029757	0.029803	0.029778	0.029806	0.02983	0.029688	0.029921	0.030014	0.030114	0.030086	0.030205
Kustwaarts KLZ 140	0.030092	0.029457	0.029553	0.029698	0.02974	0.029742	0.029674	0.02973	0.029743	0.029581	0.029834	0.029963	0.030079	0.030057	0.030184
Kustwaarts LaMER 135 (A)			0.029652	0.029688	0.029807	0.02982	0.029823	0.029787	0.029847	0.029795	0.029915	0.030014	0.030119	0.030092	0.030206
Kustwaarts LaMER 135 (V)			0.029652	0.029688	0.029807	0.029824	0.02983	0.029797	0.029857	0.029798	0.029935	0.03002	0.030117	0.030089	0.030202
Kustwaarts LaMER 165			0.029652	0.029688	0.029807	0.029798	0.029751	0.02969	0.029737	0.029669	0.029804	0.029947	0.030069	0.030049	0.030172
Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165	0.030035	0.029258	0.02928	0.02941	0.029419	0.029384	0.029266	0.029252	0.029235	0.029051	0.029343	0.029665	0.029869	0.029883	0.030047
Zeewaarts KLZ 140 (A)	0.030211	0.029593	0.029697	0.029756	0.029791	0.029835	0.029898	0.029879	0.029849	0.029819	0.02994	0.03003	0.03014	0.030117	0.030231
Zeewaarts KLZ 140 (V)	0.030209	0.029609	0.029743	0.029778	0.029827	0.029875	0.029912	0.029897	0.029869	0.029817	0.029983	0.030032	0.030117	0.030088	0.030203
Zeewaarts LaMER 165 (A)	0.030184	0.029539	0.029642	0.029707	0.029792	0.029797	0.029786	0.029736	0.029755	0.029707	0.0298	0.029951	0.03007	0.030042	0.030158
Zeewaarts LaMER 165 (V)	0.030182	0.02955	0.029676	0.029724	0.029828	0.029831	0.029795	0.029748	0.029771	0.029705	0.02983	0.029952	0.030054	0.030023	0.03014
Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165	0.030168	0.029428	0.029501	0.029527	0.029528	0.02954	0.029527	0.029469	0.0294	0.029335	0.029487	0.029724	0.029886	0.029882	0.030031

M1: Waddenzee west															
Vergund	-5.34248	-3.72153	-2.74419	-2.90751	-2.47065	-2.625	-2.31765	-2.45578	-2.08931	-2.34363	-1.68172	-2.19884	-1.87487	-1.8608	-1.59396
Kustwaarts KLZ 120	-5.40311	-4.39712	-3.50616	-3.81713	-4.0882	-3.79248	-3.12256	-3.3948	-3.60545	-3.54862	-2.63495	-2.74561	-2.28643	-2.22271	-1.85256
Kustwaarts KLZ 140	-5.40311	-4.39712	-3.50616	-3.81713	-4.16048	-3.95404	-3.26098	-3.51356	-3.90272	-3.81895	-2.78928	-2.86305	-2.37602	-2.29546	-1.91289
Kustwaarts LaMER 135			-3.85785	-4.06675	-3.76022	-3.98072	-3.73671	-3.95569	-3.63715	-3.87143	-3.05114	-2.90178	-2.38909	-2.3001	-1.91416
Kustwaarts LaMER 165			-3.85785	-4.06675	-3.76022	-4.0755	-4.03617	-4.33222	-4.06354	-4.35425	-3.43808	-3.13393	-2.55945	-2.43237	-2.02466
Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165	-5.65631	-5.242	-4.57924	-4.93728	-5.36744	-5.31968	-4.92315	-5.33409	-5.79715	-5.72312	-4.46698	-3.73884	-3.04839	-2.85638	-2.33057
Zeewaarts KLZ 140			-3.55536	-3.83228	-3.82837	-3.72518	-3.20635	-3.47102	-3.59675	-3.48137	-2.72429	-2.6134	-2.17001	-2.14244	-1.73611
Zeewaarts LaMER 165			-3.9259	-4.11814	-3.91002	-4.12942	-4.009	-4.34092	-4.19333	-4.3463	-3.51573	-3.1125	-2.58299	-2.50719	-2.06791
Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165			-4.42876	-4.83725	-4.96237	-4.99878	-4.74334	-5.15082	-5.42107	-5.4145	-4.33898	-3.69413	-3.04853	-2.89318	-2.38631
M2: Waddenzee oost															
Vergund	-4.69838	-3.72003	-2.6296	-2.63676	-2.2791	-2.21506	-2.1968	-2.24452	-2.01865	-2.17135	-1.66233	-1.81376	-1.67993	-1.80761	-1.46981
Kustwaarts KLZ 120	-5.11684	-4.6039	-3.81505	-3.53628	-3.47784	-3.41755	-3.5106	-3.4469	-3.35869	-3.78525	-3.00887	-2.60231	-2.21567	-2.25403	-1.80141
Kustwaarts KLZ 140	-5.11684	-4.6039	-3.81505	-3.53628	-3.52908	-3.58952	-3.83386	-3.68517	-3.63255	-4.13556	-3.25677	-2.77657	-2.3508	-2.3663	-1.88782
Kustwaarts LaMER 135			-3.49176	-3.56802	-3.31023	-3.33746	-3.35145	-3.49999	-3.29517	-3.44276	-2.99699	-2.61209	-2.21844	-2.25305	-1.81897
Kustwaarts LaMER 165			-3.49176	-3.56802	-3.31023	-3.40927	-3.58428	-3.81337	-3.65298	-3.84975	-3.35454	-2.83027	-2.38069	-2.39239	-1.92913
Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165	-5.29623	-5.24929	-4.70225	-4.47178	-4.56999	-4.7514	-5.156	-5.2319	-5.27745	-5.85425	-4.85053	-3.74447	-3.0326	-2.932	-2.3327
Zeewaarts KLZ 140	-4.74057	-4.16589	-3.34455	-3.34797	-3.3627	-3.28769	-3.1064	-3.19992	-3.28926	-3.36498	-2.91456	-2.55928	-2.15255	-2.17163	-1.73543
Zeewaarts LaMER 165	-4.82719	-4.34021	-3.52366	-3.50802	-3.35936	-3.41206	-3.47167	-3.66302	-3.59328	-3.72912	-3.36765	-2.81698	-2.37899	-2.41572	-1.97358
Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165	-4.87716	-4.69952	-3.98284	-4.09269	-4.21587	-4.24435	-4.30888	-4.52812	-4.74468	-4.93206	-4.38308	-3.55159	-2.97443	-2.93759	-2.38653

M1: Waddenzee west															
Kustwaarts KLZ 120	-0.06405	-0.7017	-0.78347	-0.93686	-1.64332	-1.17826	-0.81855	-0.95252	-1.50384	-1.22686	-0.95527	-0.57727	-0.43581	-0.37716	-0.2778
Kustwaarts KLZ 140	-0.06405	-0.7017	-0.78347	-0.93686	-1.73263	-1.36487	-0.96571	-1.08441	-1.8521	-1.51072	-1.1265	-0.67914	-0.51072	-0.4429	-0.3241
Kustwaarts LaMER 135			-1.14509	-1.19395	-1.32224	-1.37967	-1.41485	-1.48182	-1.52148	-1.52755	-1.33104	-0.73288	-0.5422	-0.45339	-0.34389
Kustwaarts LaMER 165			-1.14509	-1.19395	-1.32224	-1.48961	-1.75929	-1.92367	-2.01636	-2.05887	-1.7864	-0.95611	-0.69766	-0.58241	-0.43768
Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165	-0.33154	-1.57924	-1.88682	-2.09055	-2.97017	-2.76733	-2.66731	-2.95077	-3.78696	-3.46059	-2.8329	-1.57462	-1.19594	-1.01445	-0.74855
Zeewaarts KLZ 140			-0.63094	-0.83135	-1.22969	-0.98985	-0.80471	-0.89566	-1.36826	-1.11998	-0.9117	-0.53626	-0.41497	-0.35409	-0.26647
Zeewaarts LaMER 165			-1.10117	-1.16168	-1.32515	-1.44792	-1.67853	-1.86723	-2.0295	-2.02458	-1.79101	-0.99265	-0.7846	-0.69443	-0.53872
Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165			-1.7321	-1.98752	-2.55484	-2.43777	-2.48324	-2.76289	-3.40285	-3.14456	-2.70271	-1.52891	-1.19609	-1.05195	-0.80519
M2: Waddenzee oost															
Kustwaarts KLZ 120	-0.43908	-0.91802	-1.21747	-0.92388	-1.22027	-1.2048	-1.32867	-1.22203	-1.35837	-1.65327	-1.33746	-0.81206	-0.56559	-0.47587	-0.35466
Kustwaarts KLZ 140	-0.43908	-0.91802	-1.21747	-0.92388	-1.27913	-1.40559	-1.67382	-1.47373	-1.64715	-2.0078	-1.62139	-0.9806	-0.68234	-0.56897	-0.42425
Kustwaarts LaMER 135			-0.88544	-0.95649	-1.05518	-1.13548	-1.15824	-1.2518	-1.27123	-1.28861	-1.29061	-0.79445	-0.55636	-0.46608	-0.36646
Kustwaarts LaMER 165			-0.88544	-0.95649	-1.05518	-1.22126	-1.41864	-1.60487	-1.66801	-1.71565	-1.72081	-1.03529	-0.71274	-0.59554	-0.46618
Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165	-0.62732	-1.58835	-2.12862	-1.88472	-2.34431	-2.59379	-3.02566	-3.05597	-3.32594	-3.76464	-3.24208	-1.96638	-1.37579	-1.14509	-0.87577
Zeewaarts KLZ 140	-0.05081	-0.40963	-0.58281	-0.65796	-0.99097	-0.96394	-0.88361	-0.91825	-1.22917	-1.22557	-1.13099	-0.75303	-0.55408	-0.46668	-0.36143
Zeewaarts LaMER 165	-0.14069	-0.6077	-0.80697	-0.8374	-0.98682	-1.11132	-1.27225	-1.41411	-1.55303	-1.59641	-1.63575	-1.01691	-0.76254	-0.6841	-0.56897
Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165	-0.18759	-1.01733	-1.38979	-1.49536	-1.98194	-2.07525	-2.15952	-2.33604	-2.7822	-2.82198	-2.76674	-1.76994	-1.31662	-1.15078	-0.9304

D.3 Relatieve effecten in de Waddenzee (gecompenseerd voor benthische primaire productie)

D.3.1 Primaire productie

Tabel D.7 Gecompenseerde effecten voor primaire productie (t.o.v. achtergrond)

Prim. prod. (mgC/L/d)	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
M1: Waddenzee west														
Achtergrond	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Vergund	-4.48	-3.11	-2.29	-2.43	-2.06	-2.19	-1.94	-2.05	-1.75	-1.96	-1.40	-1.84	-1.57	-1.55
Kustwaarts KLZ 120 (A)	-4.53	-3.67	-2.93	-3.19	-3.41	-3.17	-2.61	-2.84	-3.01	-2.96	-2.20	-2.29	-1.91	-1.86
Kustwaarts KLZ 140	-4.53	-3.67	-2.93	-3.19	-3.47	-3.30	-2.72	-2.94	-3.26	-3.19	-2.33	-2.39	-1.98	-1.92
Kustwaarts LaMER 135 (A)			-3.22	-3.40	-3.14	-3.33	-3.12	-3.30	-3.04	-3.23	-2.55	-2.42	-2.00	-1.92
Kustwaarts LaMER 165			-3.22	-3.40	-3.14	-3.40	-3.37	-3.62	-3.39	-3.64	-2.87	-2.62	-2.14	-2.03
Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165	-4.74	-4.38	-3.82	-4.12	-4.48	-4.44	-4.11	-4.46	-4.84	-4.78	-3.73	-3.12	-2.55	-2.39
Zeewaarts KLZ 140 (A)			-2.97	-3.20	-3.20	-3.11	-2.68	-2.90	-3.00	-2.91	-2.28	-2.18	-1.81	-1.79
Zeewaarts LaMER 165 (A)			-3.28	-3.44	-3.27	-3.45	-3.35	-3.63	-3.50	-3.63	-2.94	-2.60	-2.16	-2.09
Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165			-3.70	-4.04	-4.14	-4.18	-3.96	-4.30	-4.53	-4.52	-3.62	-3.09	-2.55	-2.42
M2: Waddenzee oost														
Achtergrond	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Vergund	-3.49	-2.74	-1.94	-1.94	-1.68	-1.63	-1.62	-1.65	-1.49	-1.60	-1.23	-1.34	-1.24	-1.33
Kustwaarts KLZ 120 (A)	-3.80	-3.39	-2.81	-2.61	-2.56	-2.52	-2.59	-2.54	-2.48	-2.79	-2.22	-1.92	-1.63	-1.66
Kustwaarts KLZ 140	-3.80	-3.39	-2.81	-2.61	-2.60	-2.65	-2.83	-2.72	-2.68	-3.05	-2.40	-2.05	-1.73	-1.74
Kustwaarts LaMER 135 (A)			-2.57	-2.63	-2.44	-2.46	-2.47	-2.58	-2.43	-2.54	-2.21	-1.93	-1.63	-1.66
Kustwaarts LaMER 165			-2.57	-2.63	-2.44	-2.51	-2.64	-2.81	-2.69	-2.84	-2.47	-2.09	-1.75	-1.76
Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165	-3.93	-3.87	-3.46	-3.29	-3.37	-3.50	-3.80	-3.86	-3.89	-4.32	-3.58	-2.76	-2.23	-2.16
Zeewaarts KLZ 140 (A)	-3.52	-3.07	-2.46	-2.47	-2.48	-2.42	-2.29	-2.36	-2.42	-2.48	-2.15	-1.89	-1.59	-1.60
Zeewaarts LaMER 165 (A)	-3.58	-3.20	-2.59	-2.58	-2.48	-2.52	-2.56	-2.70	-2.65	-2.75	-2.48	-2.08	-1.75	-1.78
Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165	-3.62	-3.47	-2.93	-3.02	-3.11	-3.13	-3.18	-3.34	-3.50	-3.64	-3.23	-2.62	-2.19	-2.16

(A): Waardes zijn afgeleid van de correlatie op basis van model resultaten t.o.v. Achtergrond

Tabel Gecompenseerde effecten voor primaire productie (t.o.v. vergund)

Prim. prod. (mgC/L/d)	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
M1: Waddenzee west														
Achtergrond														
Vergund	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kustwaarts KLZ 120 (V)	-0.05	-0.58	-0.65	-0.78	-1.37	-0.98	-0.68	-0.79	-1.25	-1.02	-0.80	-0.48	-0.36	-0.31
Kustwaarts KLZ 140	-0.05	-0.58	-0.65	-0.78	-1.44	-1.14	-0.80	-0.90	-1.54	-1.26	-0.94	-0.57	-0.43	-0.37
Kustwaarts LaMER 135 (V)			-0.95	-0.99	-1.10	-1.15	-1.18	-1.23	-1.27	-1.27	-1.11	-0.61	-0.45	-0.38
Kustwaarts LaMER 165			-0.95	-0.99	-1.10	-1.24	-1.46	-1.60	-1.68	-1.71	-1.49	-0.80	-0.58	-0.49
Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165	-0.28	-1.31	-1.57	-1.74	-2.47	-2.30	-2.22	-2.45	-3.15	-2.88	-2.36	-1.31	-1.00	-0.84
Zeewaarts KLZ 140 (V)			-0.52	-0.69	-1.02	-0.82	-0.67	-0.75	-1.14	-0.93	-0.76	-0.45	-0.35	-0.29
Zeewaarts LaMER 165 (V)			-0.92	-0.97	-1.10	-1.20	-1.40	-1.55	-1.69	-1.68	-1.49	-0.83	-0.65	-0.58
Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165			-1.44	-1.65	-2.12	-2.03	-2.07	-2.30	-2.83	-2.62	-2.25	-1.27	-1.00	-0.88
M2: Waddenzee oost														
Achtergrond														
Vergund	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kustwaarts KLZ 120 (V)	-0.32	-0.67	-0.89	-0.68	-0.89	-0.88	-0.97	-0.90	-1.00	-1.21	-0.98	-0.60	-0.41	-0.35
Kustwaarts KLZ 140	-0.32	-0.67	-0.89	-0.68	-0.94	-1.03	-1.23	-1.08	-1.21	-1.47	-1.19	-0.72	-0.50	-0.42
Kustwaarts LaMER 135 (V)			-0.65	-0.70	-0.77	-0.83	-0.85	-0.92	-0.93	-0.94	-0.95	-0.58	-0.41	-0.34
Kustwaarts LaMER 165			-0.65	-0.70	-0.77	-0.89	-1.04	-1.18	-1.22	-1.26	-1.26	-0.76	-0.52	-0.44
Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165	-0.46	-1.16	-1.56	-1.38	-1.72	-1.90	-2.22	-2.24	-2.44	-2.76	-2.38	-1.44	-1.01	-0.84
Zeewaarts KLZ 140 (V)	-0.04	-0.30	-0.43	-0.48	-0.73	-0.71	-0.65	-0.67	-0.90	-0.90	-0.83	-0.55	-0.41	-0.34
Zeewaarts LaMER 165 (V)	-0.10	-0.44	-0.59	-0.61	-0.72	-0.81	-0.93	-1.04	-1.14	-1.17	-1.20	-0.75	-0.56	-0.50
Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165	-0.14	-0.74	-1.02	-1.09	-1.45	-1.52	-1.58	-1.71	-2.04	-2.07	-2.03	-1.30	-0.97	-0.84

(V): Waardes zijn afgeleid van de correlatie op basis van model resultaten t.o.v. Vergund

D.3.2 Schelpdierbiomassa

Tabel D.8 Gecompenseerde effecten voor schelpdierbiomassa (t.o.v. absoluut)

LaMERplusKLZ - Mussel biomass (%; rel. t.o.v. achtergrond; T)	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
M1: Waddenzee west															
Vergund	-4.30	-4.22	-2.97	-2.30	-2.02	-2.12	-1.81	-1.53	-1.33	-1.42	-0.96	-1.49	-1.45	-1.34	-0.86
Kustwaarts KLZ 140	-4.36	-4.81	-3.92	-3.25	-3.66	-3.83	-2.84	-2.34	-2.76	-2.83	-1.86	-1.85	-1.70	-1.48	-0.99
Kustwaarts LaMER 165			-4.15	-3.56	-3.30	-3.53	-3.45	-3.17	-3.01	-3.13	-2.38	-2.15	-1.90	-1.64	-1.10
Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165	-4.60	-5.66	-5.06	-4.54	-4.94	-5.24	-4.42	-4.00	-4.38	-4.51	-3.33	-2.55	-2.11	-1.78	-1.20
Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165	-4.60	-5.52	-4.84	-4.45	-4.58	-4.81	-4.30	-3.93	-4.13	-4.27	-3.24	-2.60	-2.22	-1.89	-1.31
M2: Waddenzee oost															
Vergund	-5.58	-8.33	-6.81	-5.56	-4.89	-4.48	-4.52	-4.60	-4.02	-4.06	-3.36	-3.51	-3.34	-3.74	-3.30
Kustwaarts KLZ 140	-6.01	-9.89	-9.28	-7.92	-7.31	-7.14	-7.39	-7.82	-7.02	-7.35	-6.54	-5.48	-4.79	-4.94	-4.31
Kustwaarts LaMER 165			-8.50	-7.42	-6.85	-6.66	-6.87	-7.12	-6.83	-6.92	-6.06	-5.57	-4.83	-4.96	-4.36
Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165	-6.29	-11.01	-10.93	-9.64	-9.16	-9.09	-9.79	-10.41	-9.45	-9.67	-8.88	-7.19	-6.10	-6.07	-5.29
Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165	-5.84	-9.89	-9.46	-8.42	-8.35	-8.22	-8.23	-8.46	-8.44	-8.53	-7.67	-6.95	-5.98	-6.04	-5.34

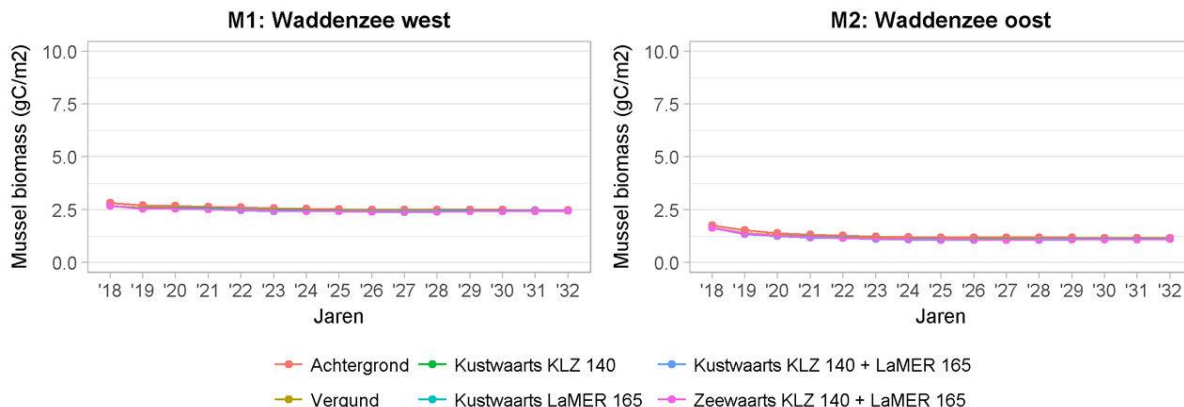
Tabel D.9 Gecompenseerde effecten voor schelpdieren (t.o.v. vergund)

LaMERplusKLZ - Mussel biomass (%; rel. t.o.v. vergund; T)	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
M1: Waddenzee west															
Kustwaarts KLZ 140	-0.05982	-0.61609	-0.97915	-0.96802	-1.67585	-1.7509	-1.04774	-0.82671	-1.45531	-1.43007	-0.90393	-0.3653	-0.25364	-0.14775	-0.12528
Kustwaarts LaMER 165			-1.21652	-1.29273	-1.30911	-1.44238	-1.67209	-1.66425	-1.70303	-1.73498	-1.42895	-0.66679	-0.45993	-0.30498	-0.24116
Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165	-0.3163	-1.50145	-2.15602	-2.29155	-2.98268	-3.18668	-2.66209	-2.51125	-3.09463	-3.13616	-2.3889	-1.07195	-0.67061	-0.44908	-0.33887
Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165	-0.31095	-1.35907	-1.93164	-2.20508	-2.61365	-2.75103	-2.53543	-2.44189	-2.84532	-2.88728	-2.30309	-1.13144	-0.77721	-0.56033	-0.44849
M2: Waddenzee oost															
Kustwaarts KLZ 140	-0.457	-1.70787	-2.65396	-2.49832	-2.53698	-2.78742	-3.00823	-3.37529	-3.1231	-3.42316	-3.28955	-2.04629	-1.50013	-1.24974	-1.04538
Kustwaarts LaMER 165			-1.82246	-1.96624	-2.05549	-2.28411	-2.46706	-2.6472	-2.9254	-2.97281	-2.79563	-2.13635	-1.53343	-1.26807	-1.09115
Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165	-0.75666	-2.93293	-4.42602	-4.3225	-4.48886	-4.827	-5.5232	-6.0943	-5.6552	-5.84376	-5.70721	-3.81765	-2.85768	-2.42007	-2.04964
Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165	-0.28185	-1.70524	-2.84746	-3.02797	-3.63296	-3.91066	-3.89328	-4.04771	-4.6073	-4.65573	-4.45724	-3.56656	-2.72353	-2.39054	-2.1018

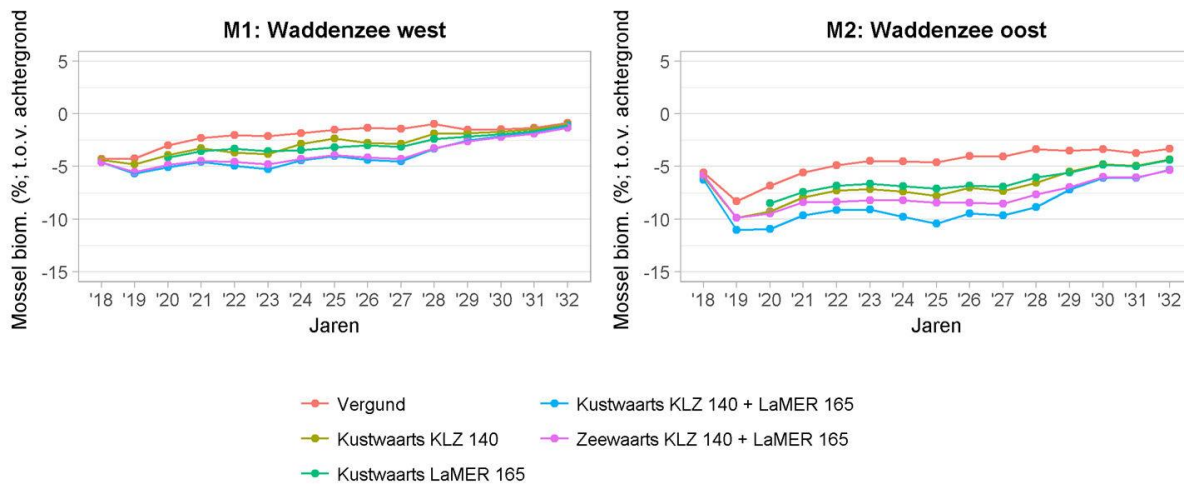
D.4 Mosselen in de Waddenzee (tijdseries)

NB: onderstaande figuren zijn de directe resultaten uit de modelscenario's. Deze zijn niet aangepast met een eventuele compensatie voor de onderschatting van de bijdrage van benthische primaire productie (zie hfdst 6 van dit rapport).

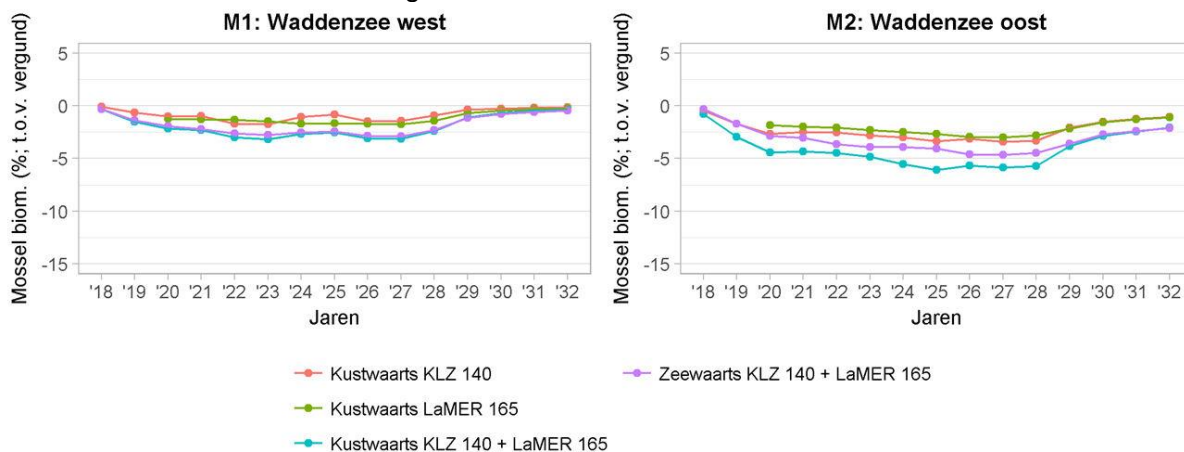
D.4.1 Absolute waarden mosselbiomassa's



D.4.2 Effecten van scenario's t.o.v. achtergrond



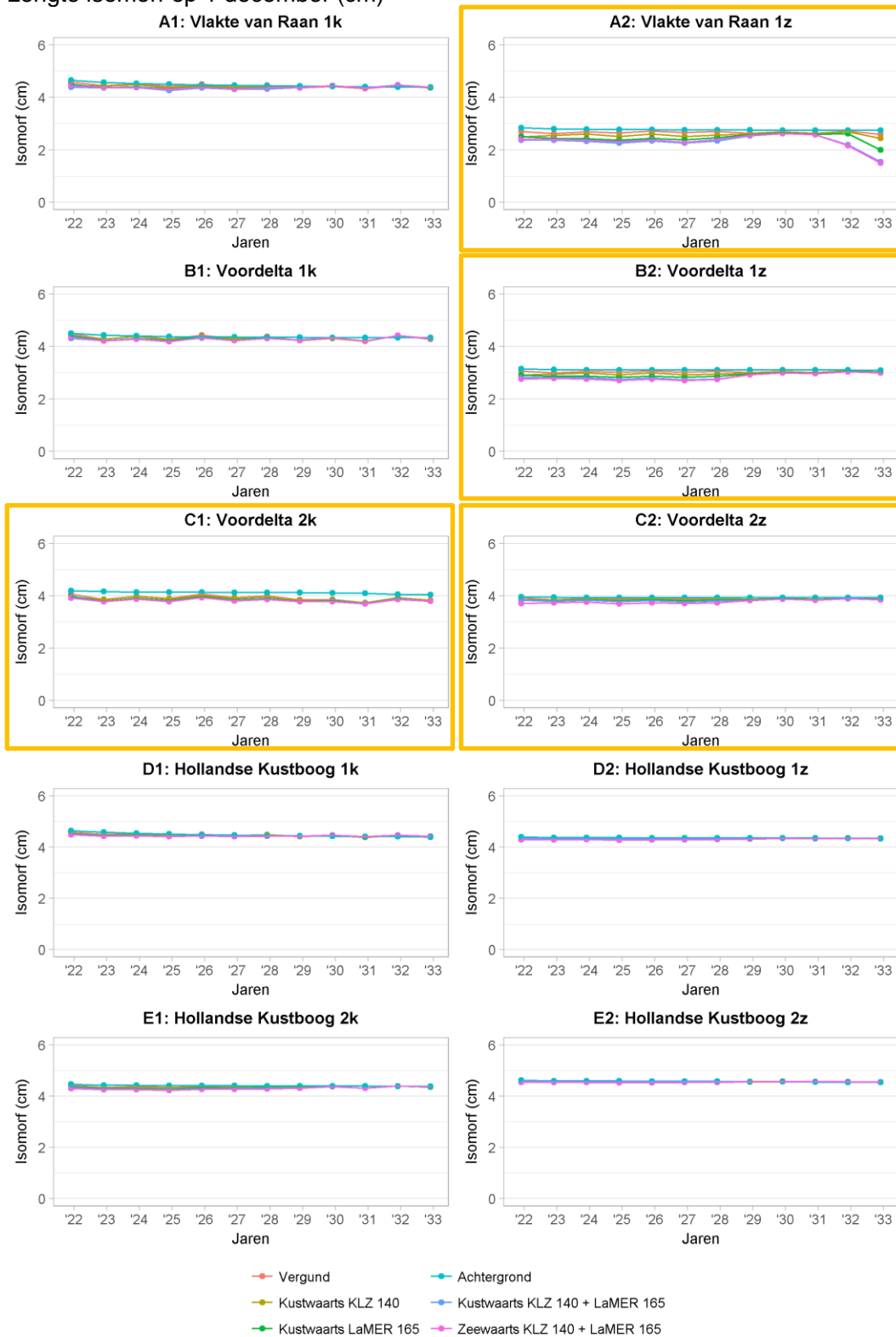
D.4.3 Effecten van scenario's t.o.v. vergund

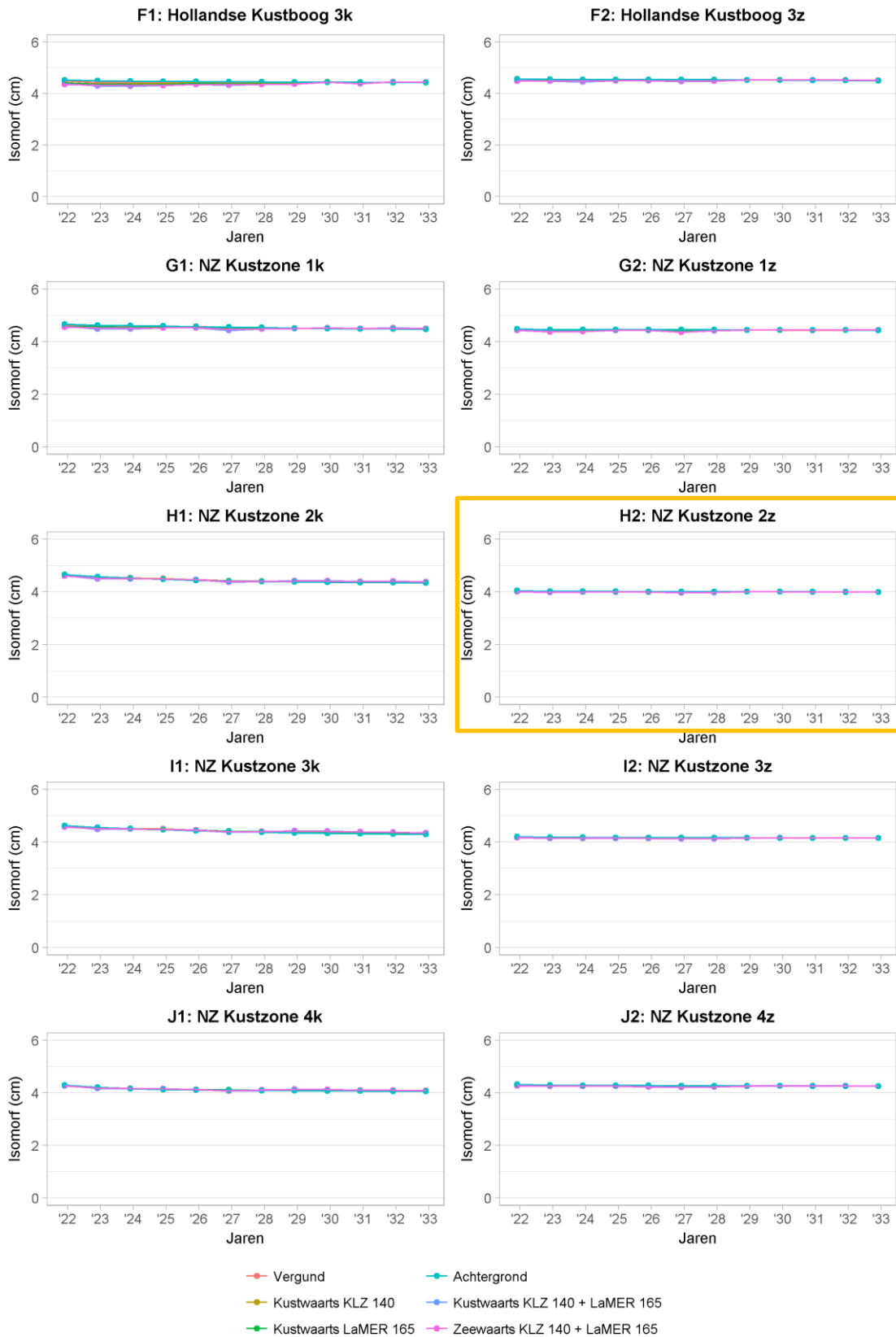


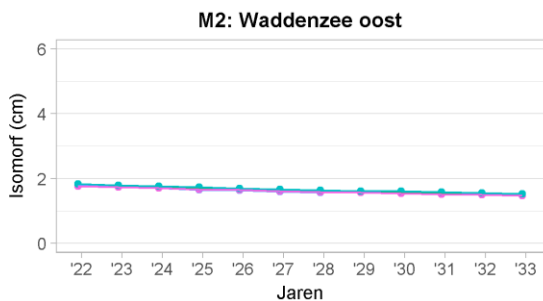
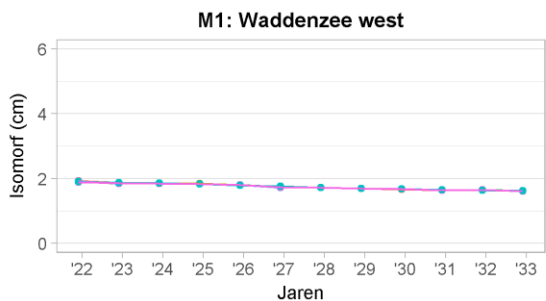
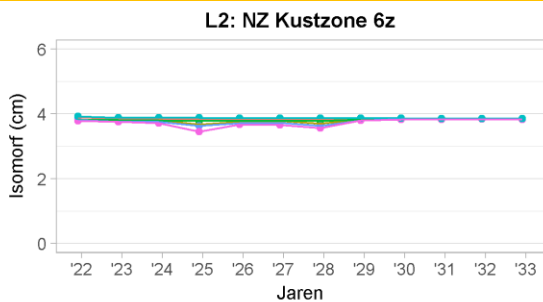
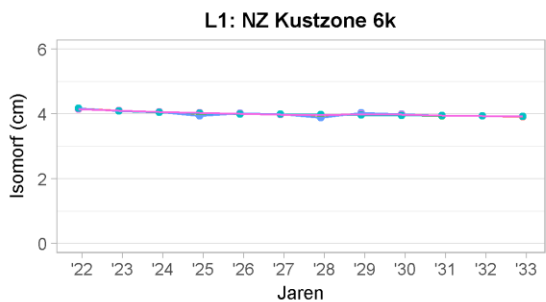
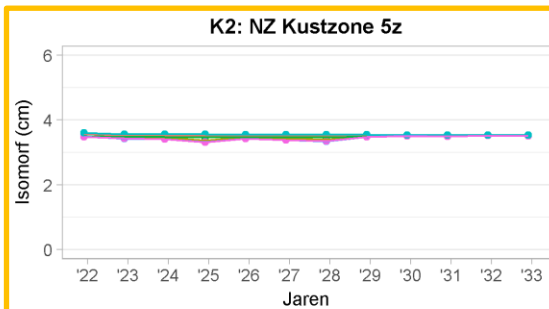
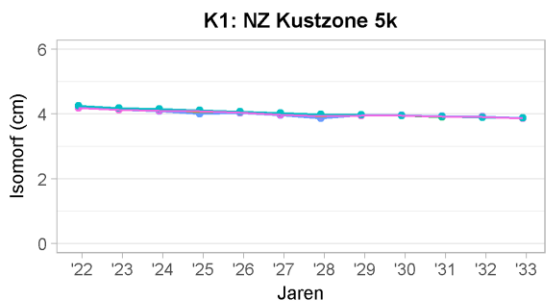
D.5 Analyse isomorfen: lengte isomorf op 1 december

In deze bijlagen staan de grafieken van de lengte van isomorf larven op 1 december en de lengte van de larven relatief t.o.v. de lengte in het achtergrondscenario en het vergunde scenario. Grafieken met een okergele rand zijn van vakken waar de *Ensis* biomassa extreem laag is. Hier zijn vrijwel geen cellen aanwezig waar de biomassa van *Ensis* meer dan 0.1 g C/m² is.

D.5.1 Lengte isomorf op 1 december (cm)

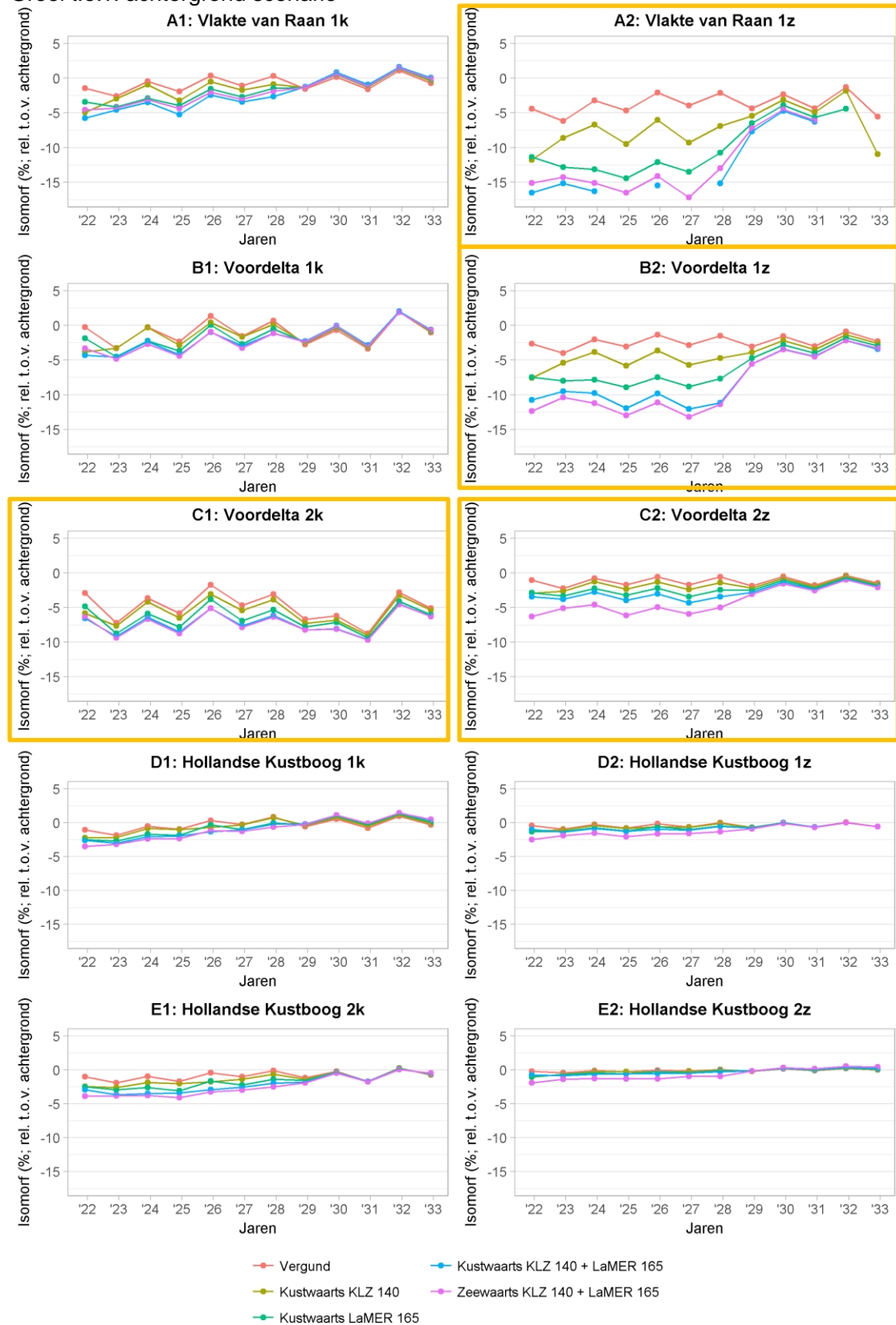


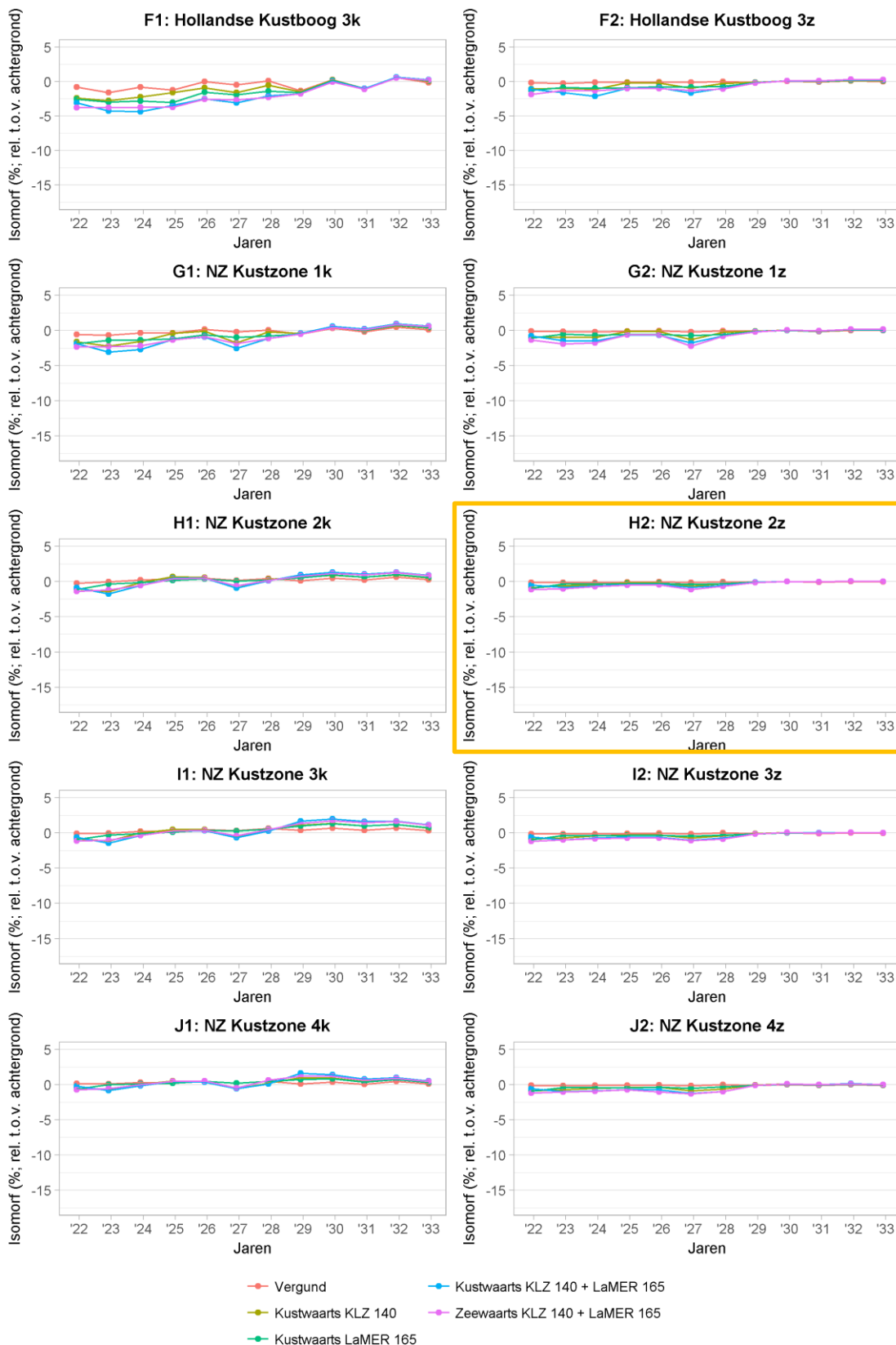


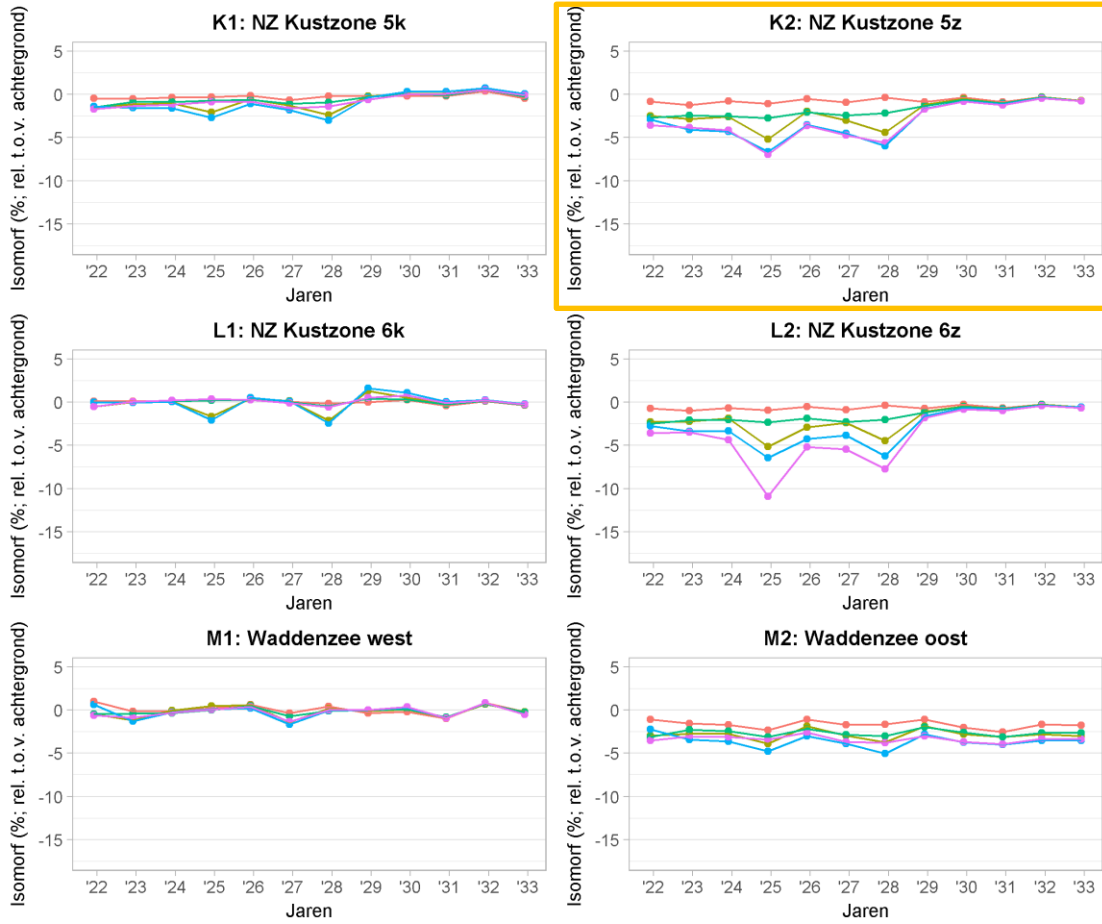


- Vergund
- Achtergrond
- Kustwaarts KLZ 140
- Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165
- Kustwaarts LaMER 165
- Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165

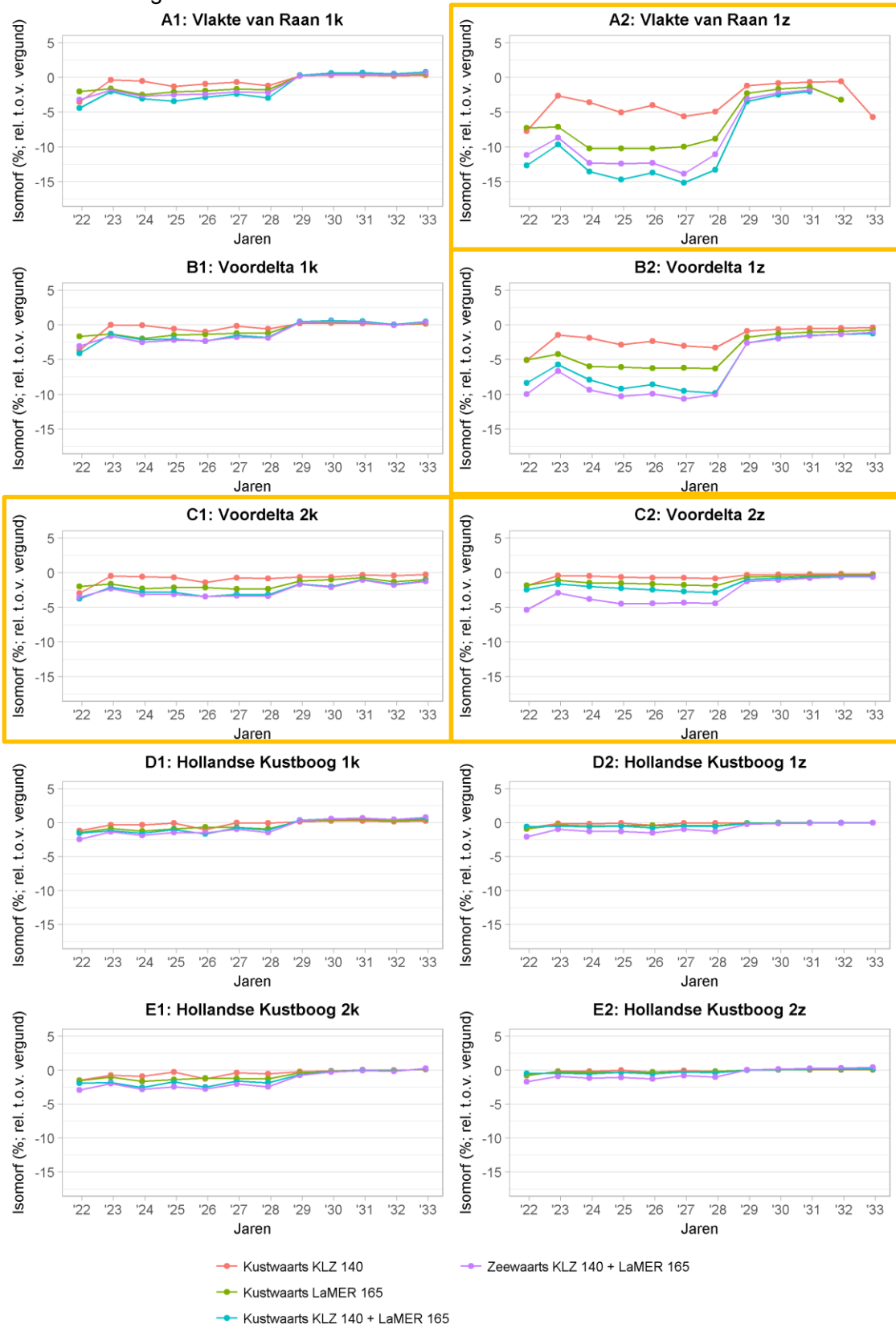
D.5.2 Groei t.o.v. achtergrond scenario

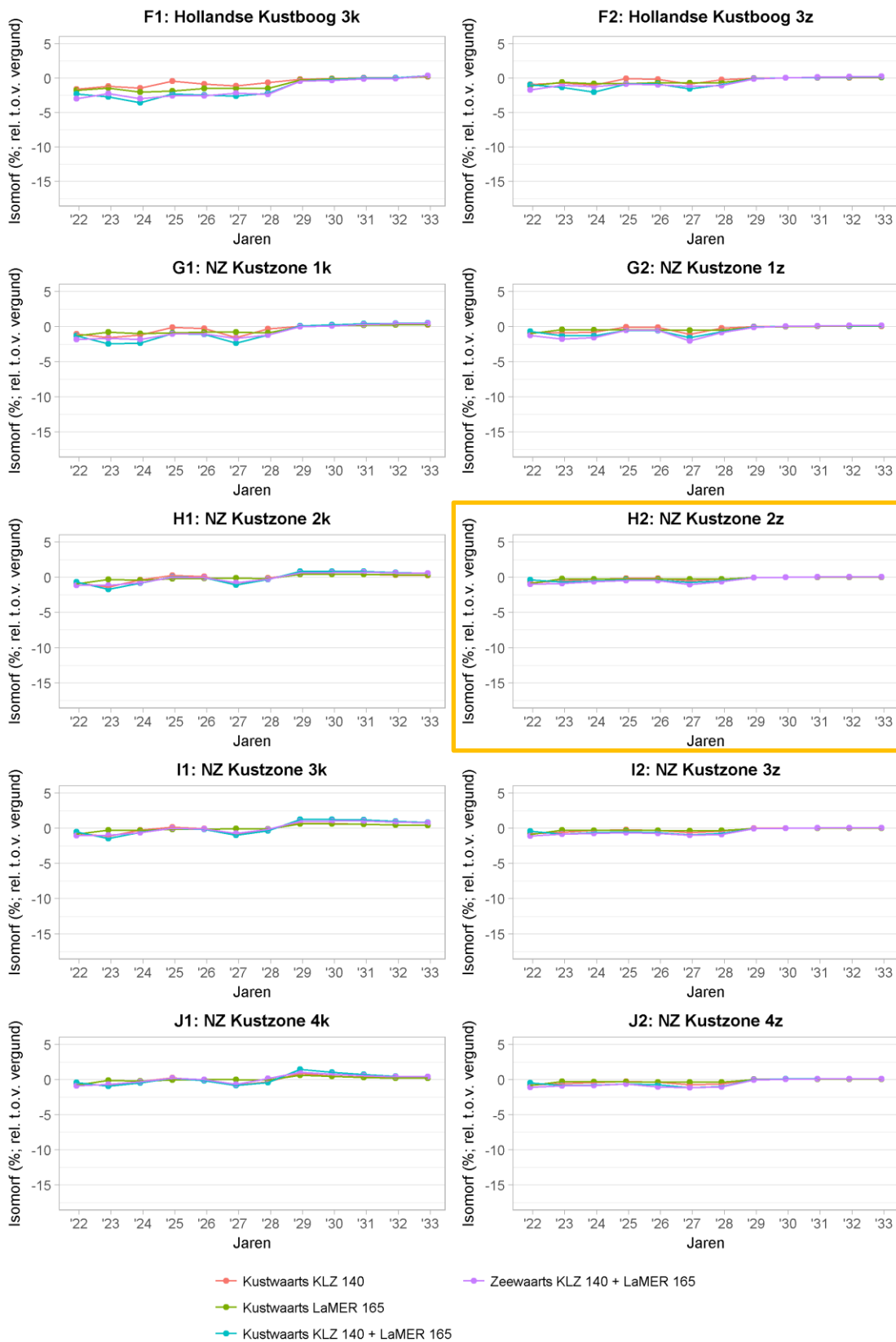


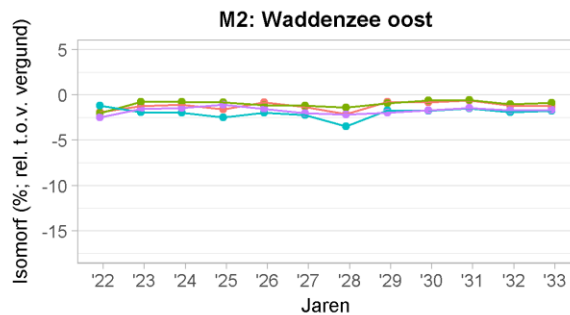
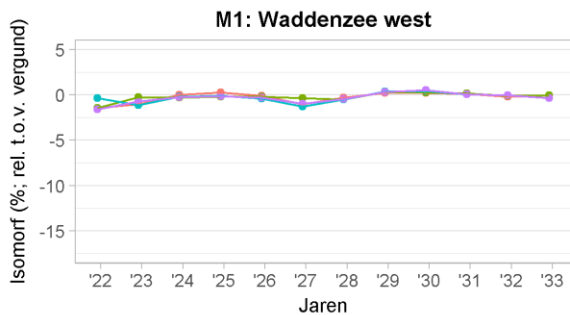
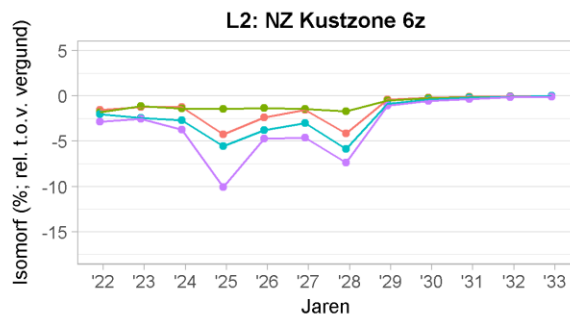
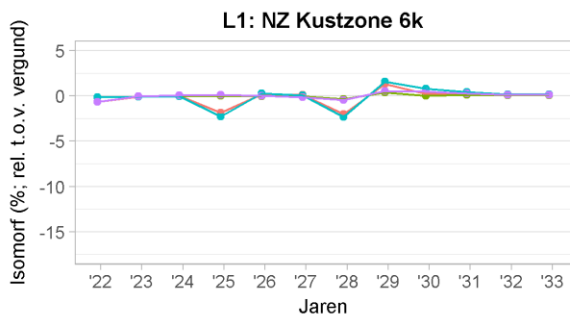
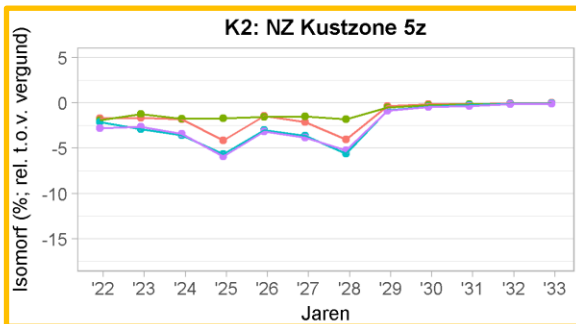
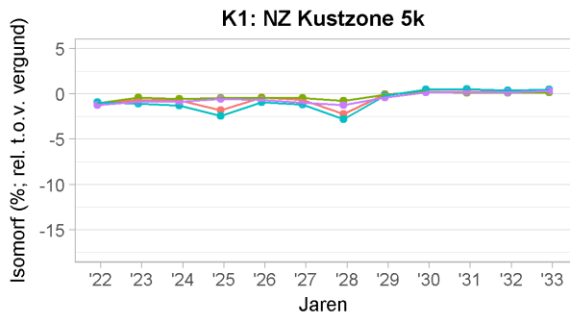




D.5.3 Groei t.o.v 'vergund' scenario







- Kustwaarts KLZ 140
- Kustwaarts LaMER 165
- Kustwaarts KLZ 140 + LaMER 165
- Zeewaarts KLZ 140 + LaMER 165

D.6 Diepte-gewogen groei van *Ensis*

Tabel D.10 . Bovenste rijen: overzicht, per diepteklasse van 2 m en voor alle modelvakken waarin *Ensis* een biomassa hoger heeft dan 0.1 gC/m², van: de fractie van het totale modeloppervlak ingenomen door de diepteklasse, de gemiddelde biomassa van *Ensis* in drie scenario's, het percentage van de totale biomassa aan *Ensis* dat kan worden gevonden in de diepteklasse voor de drie scenario's, en het relatieve scenario-effect in de diepteklasse voor de vergelijkingen cumulatief-achtergrond, vergund-achtergrond en cumulatief-vergund. Onderste rijen: idem voor lengte isomorf (cm)

Diepte	Fractie totaal oppervlak	Gemiddelde waarde in klasse			Fractie totaal in klasse			Relatief scenario-effect in klasse		
		BL	Aut1	Kmc	%BL	%Aut1	%Kmc	Kmc vs bl	aut1 vs bl	Kmc vs aut1
1	0.04%	0.41	0.40	0.40	0.00%	0.00%	0.00%	-1.72%	-1.72%	0.00%
3	0.77%	13.54	12.23	12.04	1.11%	1.13%	1.32%	-11.09%	-9.73%	-1.50%
5	4.48%	25.38	23.72	21.65	12.15%	12.75%	13.87%	-14.68%	-6.52%	-8.73%
7	7.98%	29.50	27.70	25.04	25.14%	26.51%	28.55%	-15.12%	-6.08%	-9.62%
9	9.31%	25.05	22.86	19.50	24.89%	25.50%	25.92%	-22.17%	-8.75%	-14.71%
11	10.97%	14.28	12.08	9.36	16.73%	15.89%	14.67%	-34.47%	-15.42%	-22.52%
13	10.93%	9.51	7.76	5.65	11.10%	10.17%	8.82%	-40.62%	-18.42%	-27.21%
15	6.87%	5.46	4.31	2.98	4.01%	3.55%	2.92%	-45.53%	-21.10%	-30.96%
17	6.66%	2.29	1.85	1.33	1.63%	1.48%	1.26%	-41.99%	-19.18%	-28.22%
19	8.24%	1.28	0.96	0.58	1.13%	0.95%	0.69%	-54.32%	-24.67%	-39.36%
21	10.46%	0.56	0.46	0.31	0.62%	0.58%	0.46%	-45.13%	-17.25%	-33.69%
23	13.54%	0.70	0.62	0.50	1.01%	1.00%	0.97%	-28.18%	-11.65%	-18.71%
25	7.81%	0.53	0.49	0.44	0.44%	0.46%	0.49%	-16.50%	-6.54%	-10.66%
27	1.92%	0.25	0.23	0.21	0.05%	0.05%	0.06%	-16.89%	-6.23%	-11.37%
Diepte		BL	Aut1	Kmc	%BL	%Aut1	%Kmc	Kmc vs bl	aut1 vs bl	Kmc vs aut1
1	0.04%	3.17	3.17	3.17	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.00%
3	0.77%	3.79	3.78	3.79	0.66%	0.66%	0.66%	-0.03%	-0.14%	0.11%
5	4.48%	4.10	4.15	4.17	4.17%	4.20%	4.25%	1.63%	1.24%	0.39%
7	7.98%	4.16	4.20	4.21	7.53%	7.58%	7.65%	1.27%	1.07%	0.20%
9	9.31%	4.28	4.32	4.31	9.03%	9.07%	9.13%	0.82%	0.90%	-0.08%
11	10.97%	4.43	4.45	4.43	11.01%	11.03%	11.04%	-0.02%	0.62%	-0.63%
13	10.93%	4.46	4.49	4.45	11.06%	11.07%	11.05%	-0.35%	0.52%	-0.87%
15	6.87%	4.50	4.51	4.47	7.00%	7.00%	6.98%	-0.64%	0.39%	-1.03%
17	6.66%	4.49	4.50	4.45	6.78%	6.77%	6.74%	-0.97%	0.26%	-1.22%
19	8.24%	4.52	4.52	4.45	8.44%	8.41%	8.34%	-1.41%	0.10%	-1.51%
21	10.46%	4.53	4.53	4.47	10.73%	10.69%	10.63%	-1.29%	0.02%	-1.32%
23	13.54%	4.50	4.50	4.48	13.81%	13.76%	13.77%	-0.61%	0.03%	-0.63%
25	7.81%	4.43	4.43	4.41	7.85%	7.82%	7.84%	-0.45%	0.00%	-0.45%
27	1.92%	4.38	4.38	4.36	1.91%	1.90%	1.90%	-0.58%	-0.02%	-0.56%

E Afleiding van data voor niet gesimuleerde scenario's

E.1 Beschrijving interpolatiemethode voor niet gedraaide scenario's op basis van correlatieve relaties

Schatting van chlorofyl-a en primaire productie op basis van de slibmodellering, voor scenario's waarvan de ecologische effecten niet door simulaties zijn bepaald, op basis van interpolatie in de resultaten van wel gesimuleerde scenario's

E.1.1 Definities

Referentiescenario ("ref"): het scenario ten opzichte waarvan veranderingen worden beschouwd. We gebruiken steeds twee referentiescenario's: "achtergrond" (refA) en "vergund" (refV).

Doorgerekende scenario ("sim"): het scenario waarvan de effecten wel zijn doorgerekend en dat als uitgangspunt dient voor de interpolatie.

Onbekende scenario ("int"): het scenario waarvan de effecten niet zijn doorgerekend en waarvoor de effecten op basis van interpolatie, gebruikmakend van het slibgehalte moeten worden bepaald.

TIM: jaargemiddelde van het berekend slibgehalte, gemiddeld over een deelgebied.

ECO: jaargemiddelde van een relevante ecologische variabele (chlorofyl-a gehalte of primaire productie), gemiddeld over een deelgebied.

E.1.2 Toepassing

De hieronder geschetste uitwerking is toegepast op de volgende scenario's:

Referentiescenario	Doorgerekende scenario	Onbekende scenario
Achtergrond en Vergund	KLZ 140 + LaMER 165 (zw)	KLZ 140 (zw)
Achtergrond en Vergund	KLZ 140 + LaMER 165 (zw)	LaMER 165 (zw)
Achtergrond en Vergund	KLZ 140 (kw)	KLZ 120 (kw)
Achtergrond en Vergund	LaMER 165 (kw)	LaMER 135 (kw)

E.1.3 Uitwerking

1. Uitrekenen van TIM en ECO:

- per deelgebied
- voor de periode 2018-2032
- voor refA, refV en sim.

2. Uitrekenen van de relatieve verschillen voor ECO en TIM tussen sim en ref, per deelgebied en per jaar:

$$\Delta ECO_{sim} = \left(\frac{ECO_{sim} - ECO_{ref}}{ECO_{ref}} \right)$$

$$\Delta TIM_{sim} = \left(\frac{TIM_{sim} - TIM_{ref}}{TIM_{ref}} \right)$$

3. Uitrekenen van TIM:

- per deelgebied
- voor de periode 2018-2032
- voor int.

4. Uitrekenen van de relatieve verschillen voor TIM tussen int en ref, per deelgebied en per jaar:

$$\Delta TIM_{int} = \left(\frac{TIM_{int} - TIM_{ref}}{TIM_{ref}} \right)$$

5. Het schatten van de relatieve verschillen voor ECO tussen int en ref, per deelgebied en per jaar:

$$\Delta ECO_{int} = \left(\frac{\Delta TIM_{int}}{\Delta TIM_{sim}} \right) \cdot \Delta ECO_{sim}$$

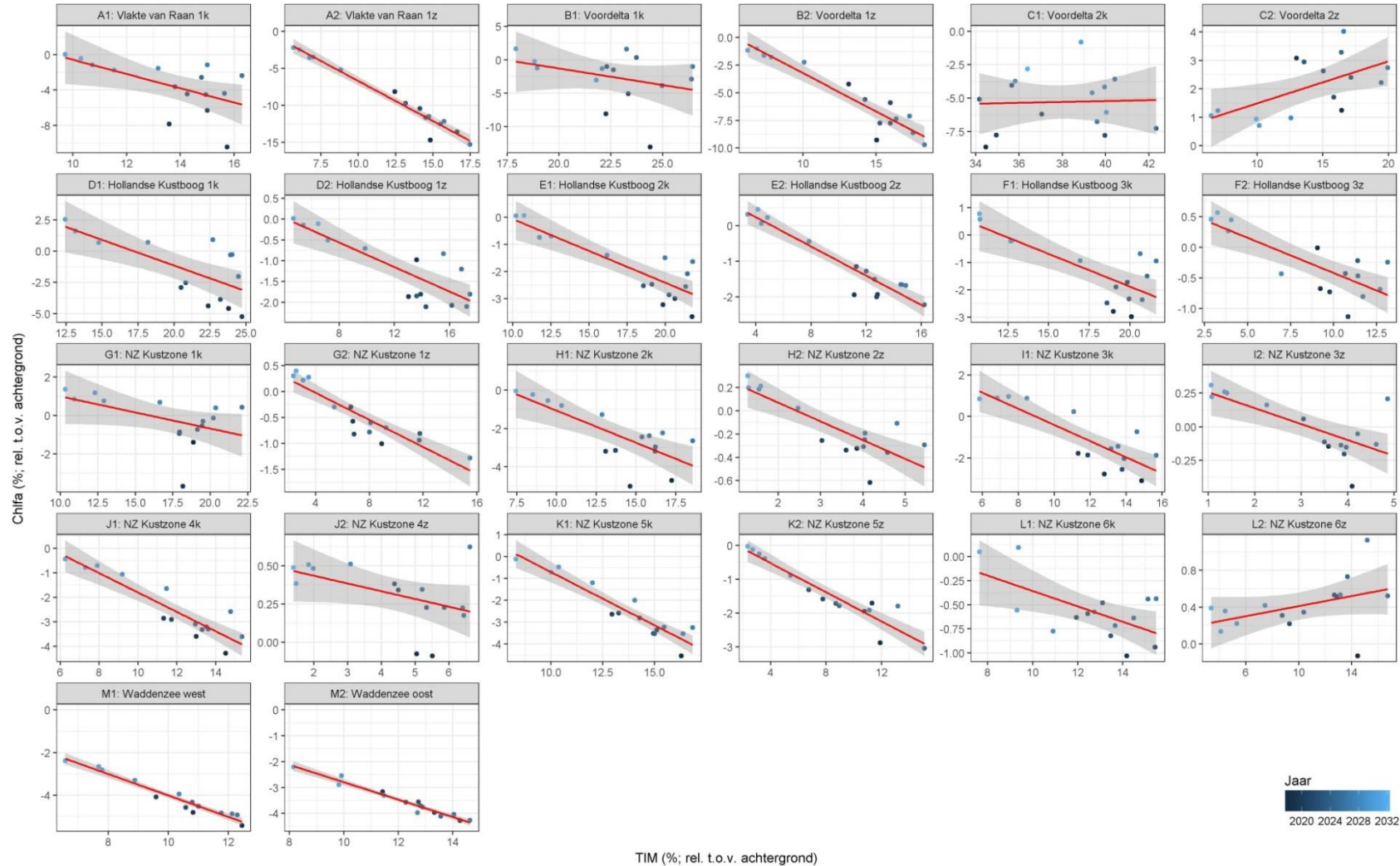
6. Het omrekenen van de relatieve verschillen voor ECO naar absolute verschillen:

$$ECO_{int} = (1 + \Delta ECO_{int}) \cdot ECO_{ref}$$

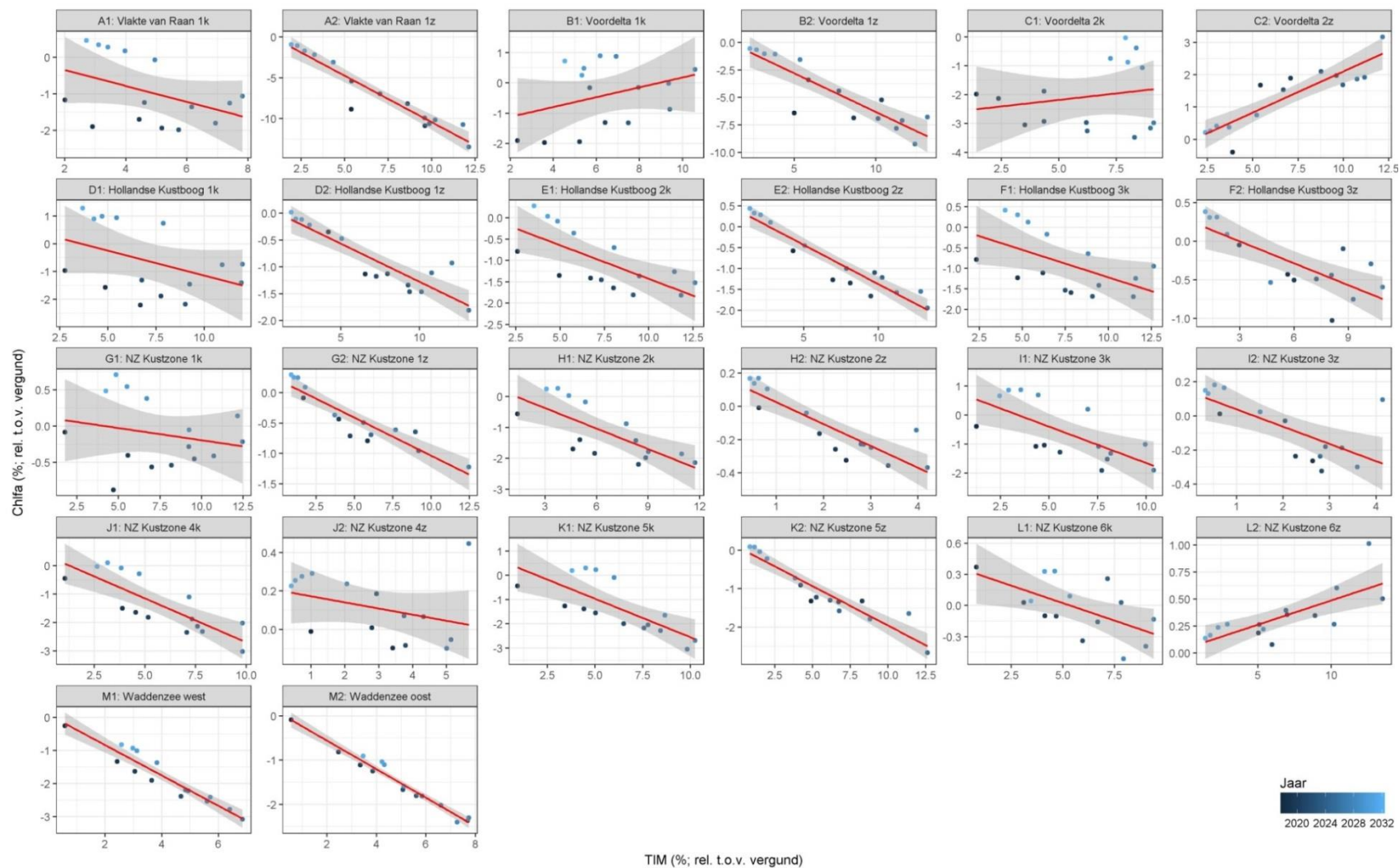
Hieruit volgen per deelgebied, per jaar en per variabele twee schattingen: 1 op basis van refV en 1 op basis van refA. Deze worden gemiddeld om de uiteindelijke schatting te bepalen. In gevallen waarin beide schattingen sterk verschillen, laten we de schatting waarbij de relatieve verandering van ECO het grootst is prevaleren.

In figuur E.1 tot E.4 zijn de relaties afgebeeld tussen de relatieve verandering van chlorofyl-a respectievelijk primaire productie enerzijds en slib anderzijds op basis van model resultaten van scenario "KLZ 140 + LaMER 165 (zeewaarts)" ten opzichte van het scenario "Achtergrond" respectievelijk "Vergund". Aan de hand van deze figuren kan beoordeeld worden waar en voor welke variabelen een sterk lineair verband aanwezig is en waar niet.

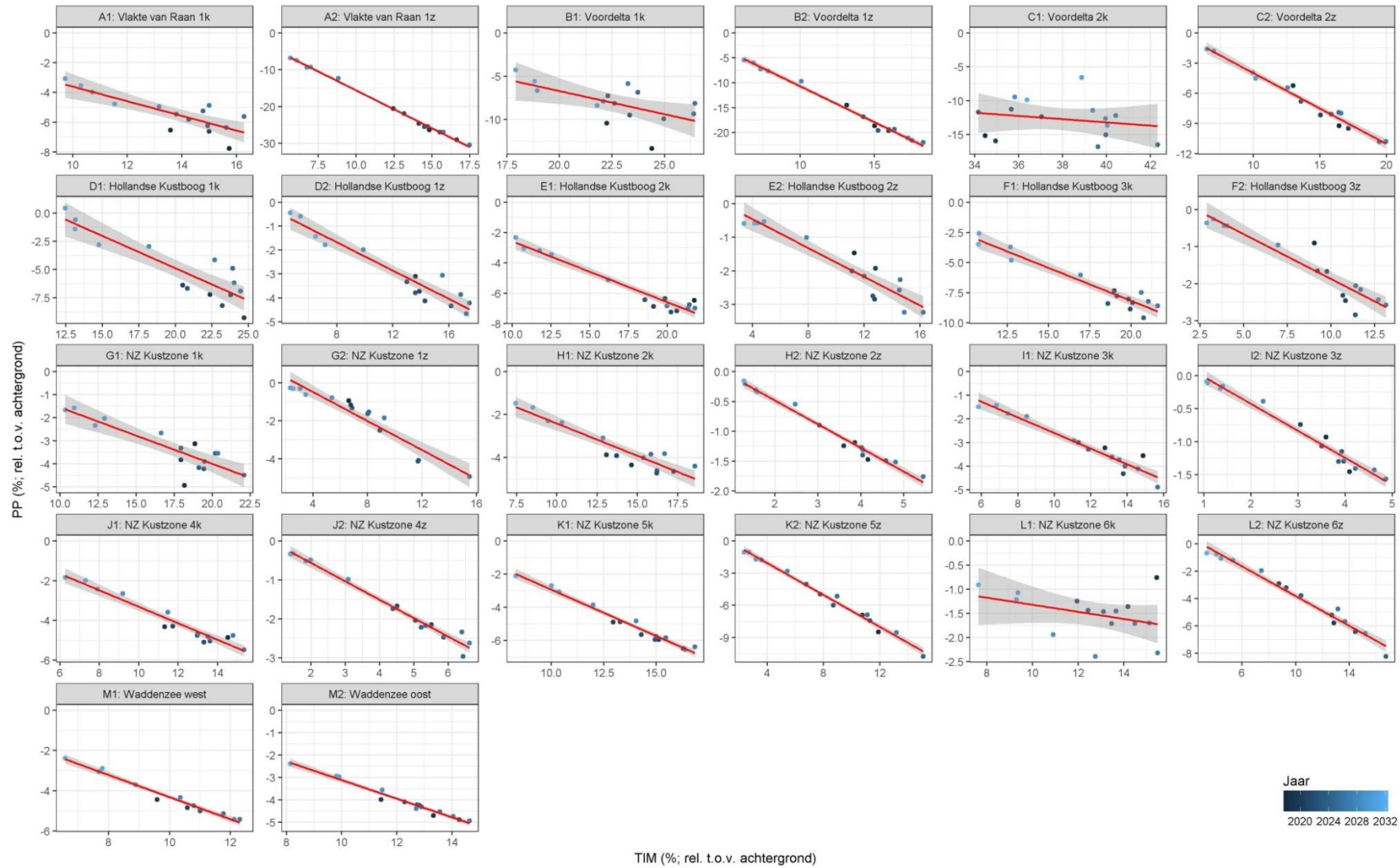
E.2 Relaties relatieve verandering in chlorofyl-a en primaire productie met slib op basis van model scenario's



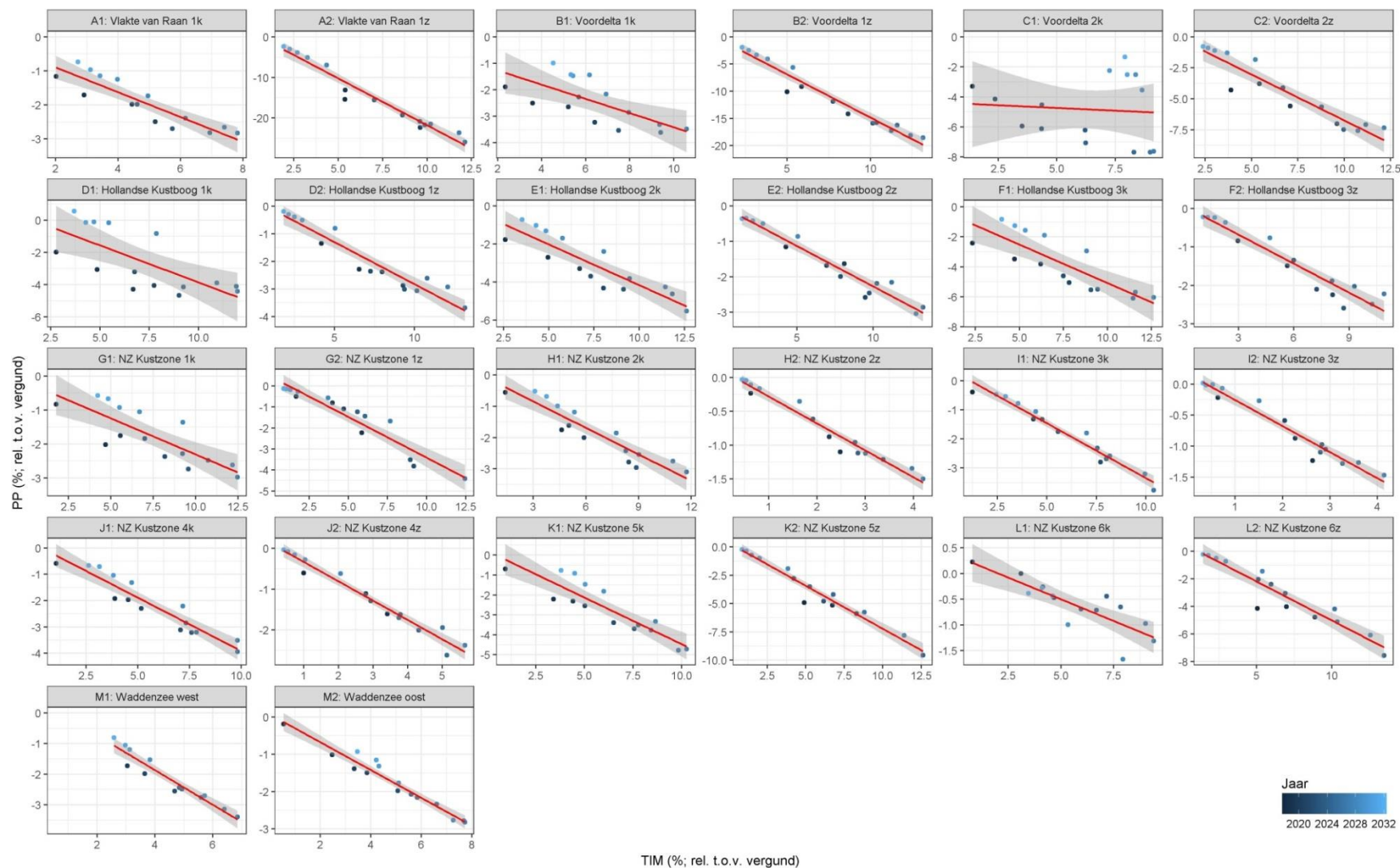
Figuur E.1 Relatie relatieve verandering in Chlorofyl-a en slib op basis van model resultaten van scenario's t.o.v. 'achtergrond'



Figuur E.2 Relatie relatieve verandering in Chlorofyl-a en slib op basis van model resultaten van scenario's t.o.v. 'vergund'



Figuur E.3 Relatie relatieve verandering in primaire productie en slib op basis van model resultaten van scenario's t.o.v. 'achtergrond'



Figuur E.4 Relatie relatieve verandering in primaire productie en slib op basis van model resultaten van scenario's t.o.v. 'vergunnd'