

Groei en conditie van zwaardschede (*Ensis directus*, Conrad) voor, tijdens en na geplande zandwinning in 2013-2017

Berekeningen voor het HHNK

Tim Schellekens

Rapport C089/12



IMARES Wageningen UR

(IMARES - Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies)

Opdrachtgever:

Hoogheemraadschap Noorderkwartier
Postbus 250
1700 AG Heerhugowaard

Publicatiedatum:

Juli 2012

IMARES is:

- een onafhankelijk, objectief en gezaghebbend instituut dat kennis levert die noodzakelijk is voor integrale duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van de zee en kustzones;
- een belangrijke, proactieve speler in nationale en internationale mariene onderzoeksnetwerken

P.O. Box 68	P.O. Box 77	P.O. Box 57	P.O. Box 167
1970 AB IJmuiden	4400 AB Yerseke	1780 AB Den Helder	1790 AD Den Burg Texel
Phone: +31 (0)317 48 09 00	Phone: +31 (0)317 48 09 00	Phone: +31 (0)317 48 09 00	Phone: +31 (0)317 48 09 00
Fax: +31 (0)317 48 73 26	Fax: +31 (0)317 48 73 59	Fax: +31 (0)223 63 06 87	Fax: +31 (0)317 48 73 62
E-Mail: imares@wur.nl	E-Mail: imares@wur.nl	E-Mail: imares@wur.nl	E-Mail: imares@wur.nl
www.imares.wur.nl	www.imares.wur.nl	www.imares.wur.nl	www.imares.wur.nl

© 2011 IMARES Wageningen UR

IMARES is onderdeel van Stichting DLO
KvK nr. 09098104,
IMARES BTW nr. NL 8113.83.696.B16

De Directie van IMARES is niet aansprakelijk voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van IMARES; opdrachtgever vrijwaart IMARES van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van de opdrachtgever hierboven aangegeven en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

A_4_3_1-V12.2

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave.....	3
Samenvatting.....	4
1. Inleiding.....	5
1.1 Modelleringsstrategie.....	5
Het waterbewegingsmodel	6
Het slibmodel	6
Het nutriënttransport en primaire productie model GEM.....	7
Het EcoWasp-model	7
1.2 Het DEB-model	7
2. Kennisvraag.....	8
3. Methoden	8
3.1 Model	8
3.2 Parameterisatie.....	9
3.3 Datakeuze en -aanpassing	11
3.3 Simulatie	12
4. Resultaten	13
4.1 Vergelijking tussen zandwin-scenario's en autonome situatie (scenario 0).....	13
5. Discussie	23
6. Conclusies	26
7. Kwaliteitsborging	27
8. Referenties	28
Verantwoording	29
9. Bijlagen.....	30
Bijlage A. MEMO keuze meetpunten voor offline DEB berekeningen HHNK	30
Bijlage B. Parameterwaarden.....	33
Bijlage C. vergelijking tussen zandwin-scenario's (3 t/m 7) en scenario 0.....	34
Bijlage D. verschil scenario 1 en 0 in individuele ontwikkeling.....	44
Bijlage E. DEB-opzet	45

Samenvatting

In dit project is het effect van zandwinning op de groei van *Ensis directus* geanalyseerd d.m.v. een Dynamic Energy Budget (DEB) model voor een zestal punten gelegen op drie raaien in de kustzone. Hierbij is gebruik gemaakt van de door Deltares berekende veranderingen in slib- en algenconcentraties. Centrale vraag bij het gezamenlijke Deltares-IMARES onderzoek was: Wat is het effect van zandwinning op de slib- en algenconcentraties in de Noordzee en Waddenzee en op de groei en conditie van zwaardschede *Ensis directus* gegeven de berekende veranderingen in slib en algenconcentraties. Groei van *Ensis* is berekend op 6 punten over een periode van 15 jaar; 5 jaar periode zonder nieuwe zandwinning (2007-2012), 5 jaar periode met zandwinning (2012-2017) en achtereenvolgend 5 jaar zonder zandwinning (2017-2022). De groei tijdens zandwinning (2012-2017) wordt vergeleken met de groei die op zou treden in de zogenaamde autonome situatie (scenario 0). In de autonome situatie worden alle zandwinactiviteiten gemodelleerd die buiten deze MER vallen en al goedgekeurd zijn. Ook in de autonome situatie is de groei berekend over een periode van 15 jaar. Geconcludeerd wordt dat de beoogde zandwinactiviteiten slechts plaatselijk en momentaan effect hebben op de groei en kwaliteit van *Ensis*. Gemiddeld over de locaties is het effect van het slib tijdens de geplande zandwinactiviteiten in 2012-2017 echter niet significant verschillend van het effect van slib in de autonome situatie.

1. Inleiding

In de Noordzee wordt jaarlijks een grote hoeveelheid zand gewonnen om de Nederlandse kust door middel van suppleties (onderwatersuppleties en strandsuppleties) te beschermen tegen overstromingen vanuit zee. Zonder de zandsuppleties zou de kust eroderen en de veiligheid ten aanzien van overstromingen in Nederland aanzienlijk verminderen. 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. Om regulier kustonderhoud uit te voeren wil Rijkswaterstaat in de komende jaren zand winnen in de Noordzee. Voor het winnen van zand is een vergunning nodig, zoals beschreven in de Ontgrondingenwet, en om een vergunning te verkrijgen is het opstellen van een milieueffectrapportage (MER) vereist. Dit rapport is een onderdeel van de MER voor winning van suppletiezand voor het reguliere kustonderhoud door Rijkswaterstaat.

Het sediment in de Noordzeebodem bestaat uit verschillende sedimentfracties. De grovere fracties zullen grotendeels in de bui van het baggerschip bezinken. Een deel hiervan zal via overvloed weer buiten het schip terechtkomen. De relatief hoge valsnelheid van de grovere fracties leidt ertoe dat deze in de directe omgeving van het baggerschip zullen blijven. De fijnere fracties ($< 63 \mu\text{m}$) hebben een veel lagere valsnelheid (ca. 0,25-0,5 mm/s of kleiner) en worden daardoor door de getijstrooming over een veel grotere afstand verspreid. Tijdens stormen wordt het fijnere gesedimenteerde slib bovendien opgewoeld, en ook relatief verder weg getransporteerd. Het totale invloedsgebied beslaat, over langere perioden, vele tientallen tot honderden kilometers (zie eerdere MER-studies, b.v. Van Prooijen et al., 2007).

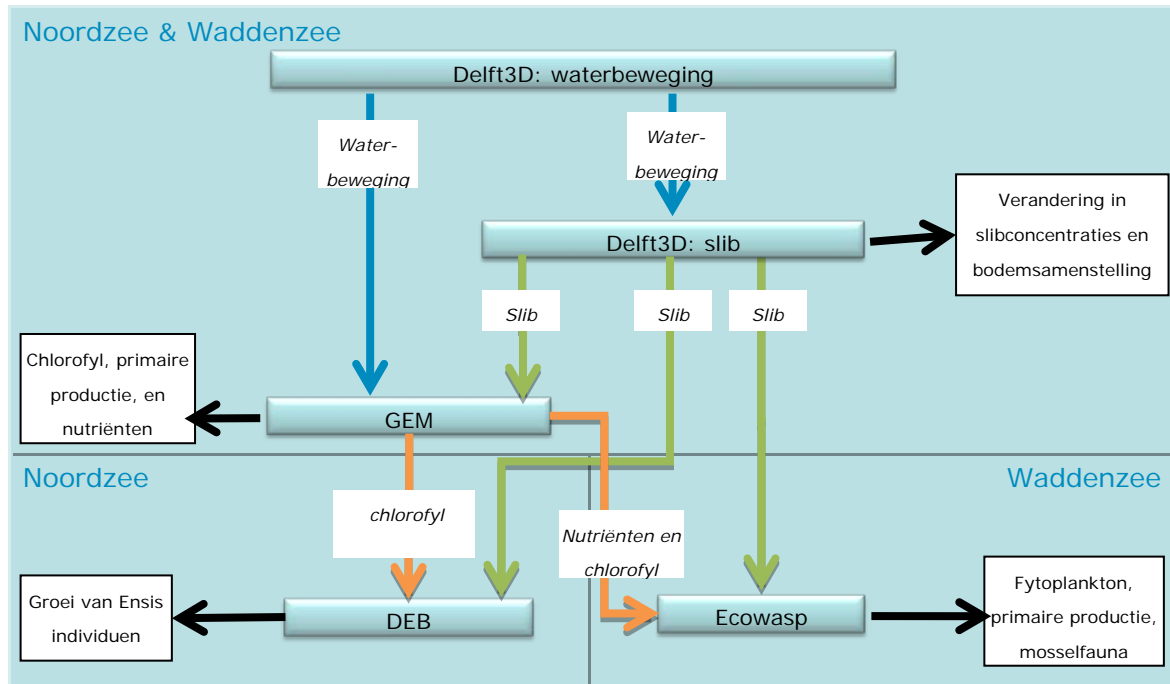
De extra hoeveelheid slib in de waterkolom zorgt voor een verminderd doorzicht. Dit geeft in gebieden, waar doorzicht de beperkende factor is, een lagere primaire productie. In een groot deel van het Nederlandse kustgebied is lichtbeschikbaarheid de beperkende factor voor primaire productie in tenminste een deel van het jaar, onder andere in ecologisch belangrijke gebieden zoals de Voordelta, Noordzeekustzone en de Waddenzee. Een vermindering van het doorzicht heeft daardoor direct invloed op de primaire productie en kan daardoor gevolgen hebben voor het voedselaanbod voor de hogere organismen. Een verminderd doorzicht kan eveneens een negatief effect hebben voor op zicht jagende vissen en vogels. Door een verminderd doorzicht is het voor deze diersoorten moeilijker om voedsel te vinden. Het is daarom van essentieel belang om inzicht te hebben in de effecten van de zandwinning op het doorzicht en op de primaire productie.

Het doel van deze studie is om te bepalen wat het effect van de zandwinning is op het doorzicht en de primaire productie in de gehele Nederlandse kustzone. 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 voor een aantal scenario's de te verwachten effecten op doorzicht en primaire productie als gevolg van de zandwin-initiatieven.

1.1 Modelleringsstrategie

De processen die in deze studie moeten onderzocht en gekwantificeerd worden zijn gevarieerd en ingewikkeld. Op dit moment bestaat geen numeriek model dat in stand is om die processen volledig en aaneengesloten te reproduceren. In plaats daarvan moet een combinatie van numerieke modellen sequentieel worden gebruikt, waarin de uitvoer van ene model de invoer van een ander wordt. In het kader van deze studie is een keten van modellen opgezet. Sommige modellen zijn gebruikt voor het kwantificeren van effecten in de Noordzee en Waddenzee gezamenlijk, en andere worden uitsluitend voor één gebied gebruikt.

In de gekozen aanpak wordt eerst een waterbewegingsmodel opgezet om de transportvelden te berekenen. De transportvelden worden daarna gebruikt om eerst de slibvelden en daarna om de nutriëntverhouding en primaire productie te berekenen. De uitkomst van die laatste twee modellen wordt uiteindelijk gebruikt om het effect van de zandwinning op schelpdier te kwantificeren. De relaties tussen de verschillende modellen worden in Figuur 1.1 geschematiseerd.



Figuur 0: Relaties en uitvoer van de numerieke modellen gebruikt om het effect van zandwinning op de ecologie van de zuidelijke Noordzee en Waddenzee te kwantificeren.

Het waterbewegingsmodel

Het waterbewegingsmodel is noodzakelijk om de transportpatronen te berekenen die het transport van slib en nutriënten beïnvloeden. Het model is gebaseerd op het Delft3D-FLOW software systeem en dekt de zuidelijke Noordzee en Waddenzee en gebruikt de zogenaamde "domein decompositie" techniek, waardoor domeinen van verschillende horizontale resoluties tegelijk gebruikt kunnen worden. De opzet die in deze studie is gebruikt wordt vaak Zuno-DD benoemd.

Delft3D-FLOW is een multi-dimensioneel hydrodynamisch software die transportvelden in tijd en ruimte als gevolg van getij, wind, en rivierlozing berekent.

Het model wordt gebruikt om de transportvelden in de zuidelijke Noordzee en de Waddenzee te berekenen. Voorafgaand 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.

Het slibmodel

De slibconcentraties worden berekend met behulp van het Delft3D-WAQ software systeem. Dit model maakt gebruik van de transportvelden berekend door een waterbewegingsmodel (in dit geval, Delft3D-FLOW) om de slibdeeltjes te verplaatsen. Slibdeeltjes worden geloosd in de beoogde wingebieden volgens het geplande zandwinsprogramma, en worden getransporteerd door stromingen. Als gevolg van

zwaartekracht kunnen de deeltjes op de bodem bezinken, maar kunnen ook als gevolg van de combinatie van stromingen, golven, en wind opwervelen.

Het model wordt gebruikt om de slibconcentraties in de zuidelijke Noordzee en de Waddenzee te berekenen. Voorafgaand de scenarioberekeningen is het slibmodel gekalibreerd om de geobserveerde slibconcentraties en bodemsamenstelling langs de Nederlandse kust en in de Waddenzee zo goed mogelijk weer te geven.

Het nutriënttransport en primaire productie model GEM

Het GEM Noordzee model is ontwikkeld op basis van het generieke software systeem Delft3D-ECO. Dit model beschrijft het stoftransport, de nutriënten en zuurstofhuishouding, de primaire productie, chlorofyl, samenstelling van het fytoplankton en het onderwaterlichtklimaat.

Het model maakt gebruik van transportvelden uit een hydrodynamisch model (in dit geval Delft3D-FLOW) en velden van slibconcentraties in de waterkolom en in de bodem om de verhouding van nutriënten en licht te berekenen. Die hoeveelheden worden dan gebruikt om de primaire productie, chlorofyl, en samenstelling van het fytoplankton te berekenen.

Dit model wordt gebruikt om de primaire productie in de zuidelijke Noordzee in de Waddenzee te berekenen. Voorafgaand de scenarioberekeningen is het GEM model gekalibreerd om de geobserveerde hoeveelheden (nutriënten, chlorofyl, detritus, etc.) langs de Nederlandse kust en Waddenzee zo goed mogelijk weer te geven.

Het EcoWasp-model

Voor de ecologische toestand van de Waddenzee is het ecosysteemmodel EcoWasp toegepast. Het model gebruikt slibconcentraties van het slibmodel (voor de toestand in de Waddenzee) en nutriënt- en algenconcentraties van het GEM-model (voor de toestand in de Noordzeekustzone als randvoorwaarden) om (onder andere) de biomassa van mosselen in de Waddenzee te berekenen.

De toevoer van nutriënten en organisch materiaal vanuit het IJsselmeer, de uitwisseling tussen Waddenzee en Noordzee, de watertemperatuur en de globale straling zijn sturende grootheden voor de modelberekeningen. In het model wordt een "modelmossel" als 'standaard'-schelpdier beschouwd. Bepalend voor de draagkracht is immers met welke intensiteit het fytoplankton begraasd kan worden.

1.2 Het DEB-model

In dit rapport worden alleen de resultaten van het DEB-model gepresenteerd. In dit rapport wordt het effect van slibtoename en verspreiding ten gevolge van zandwinning op de groei van *Ensis directus* berekend d.m.v. een Dynamic Energy Budget (DEB) model toegepast op een zestal punten gelegen in drie raaien in de Hollandse kustzone. Er is gekozen voor *Ensis* omdat de biomassa in de kustzone gedomineerd wordt door *Ensis* (>75% van het totaal in biomassa in 2010, Goudswaard e.a. 2010). Door het effect van slib op de voedselopname van *Ensis* te onderzoeken in een proefopstelling is in een eerder project al een kwalitatieve inschatting gemaakt van het effect van slib (Kamermans en Dedert 2011). Tot dus ver zijn deze effecten in het veld echter niet kwantitatief meetbaar gebleken. Bovendien is niet direct duidelijk uit deze kwalitatieve inschatting in welke mate slib vrijgekomen uit zandwinactiviteiten effect heeft op voedselvoorziening voor *Ensis* op de langere termijn. Hierdoor wordt ook niet duidelijk in welke mate de zandwinactiviteit groei en kwaliteit van *Ensis* aantast. Om toch tot een kwantitatieve inschatting van de effecten van zandwinactiviteiten te komen worden nu de kwalitatieve bepalingen van Kamermans & Dedert (2011) ingezet. Op basis van gehalten van chlorofyl *a* slib en POM (particulair organisch materiaal, voornamelijk dode algen) afkomstig van het slibmodel en het GEM-model op gedefinieerd locaties, berekent het DEB-model de groei van *Ensis* individuen.

2. Kennisvraag

De kennisvragen van het project zijn:

- Wat is het effect van zandwinning op de slib- en algenconcentraties in de Noordzee en Waddenzee? En;
- wat is het effect van de veranderde slib- en algencondities op de groei en conditie van zwaardschede *Ensis*?

Dit rapport focust op de tweede vraag door te kijken naar de fysiologische ontwikkelingen, zoals groei in lengte en gewicht en de opbouw van reproductieve energie in een *Ensis*-individu. Verwacht wordt dat een verhoging in de concentratie slib de algenconcentratie verlaagd en de opname van algen door *Ensis* bemoeilijkt. Door een toename in slib zal groei worden vertraagd en dit zal eventueel de dood tot gevolg kunnen hebben. Daarbij komt dat grotere individuen meer moeite hebben om genoeg voedsel te vergaren dan kleinere (Kooijman 2010). De volgende effectroutes worden onderzocht:

1. Asvrij-drooggewicht van een individu (vlees incl. schelp) is een eerste indicatie van conditie van een individu. We volgen dit gewicht tijdens en na zandwinactiviteiten. Dit gewicht bestaat uit structurele massa (oftewel somatische massa, waaronder reserves, schelp, spier) en de massa van gonaden.
2. De structurele massa vormt het lichaam. We meten daarom deze massa door middel van lengte.
3. Ook vormen de reserves in de structurele massa ervoor dat een individu kan interen tijdens zware tijden. Wanneer reserves op zijn zal een individu sterven bij schaarste. De verandering in deze reserve is een functie van de grootte van het individu. Daarom wordt verandering in deze reserve gevolgd met de verhouding tussen asvrij-drooggewicht en lengte.
4. Hoe ernstiger het effect van zandwinning op *Ensis* hoe eerder individuen van jongere leeftijd en geringere lengte sterven. Door bij te houden bij welke lengte en leeftijd sterfte optreedt wordt in dit rapport de ernst van zandwinning voor *Ensis* onderzocht. Wordt lengte aangetast zonder dat de maximale leeftijd minder wordt, of worden zowel lengte als leeftijd minder? Een afname in lengte en leeftijd aan het einde van een leven veroorzaakt niet alleen een verandering in populatie-opbouw, maar ook in potentie voor herstel van de populatie door reproductie.
5. De massa van gonaden tezamen met reserves zorgen voor de opbouw van reproductieve energie van een individu. Met de opbouw van reproductieve energie wordt in dit rapport een inschatting gemaakt wat het effect van verandering in slib- en algenconcentratie is op het potentieel van een individu om de populatie in stand te houden d.m.v. reproductie.

3. Methoden

3.1 Model

Het effect van zandwinning op de groei van schelpdieren wordt bepaald met een Dynamic Energy Budget model (Kooijman 2010, hierna te benoemen als DEB-model) met als model schelpdier *Ensis* sp. dat al eerder is opgesteld (Wijsman 2011). Dit specifieke DEB-model is gefit op een univariate dataset met literatuur- en experimentele gegevens van *Ensis directus*. Het DEB-model is in dit project zodanig aangepast op experimentele data dat het zorg draagt voor het effect van refractonair POM en onbruikbaar inorganisch slib op de opname van voedsel door de soort. De opname van voedsel wordt weergegeven als functie van voedsel en slib in een zogenaamde functionele respons (eq. 1). Uit recente experimenten is gebleken dat slib de opname van algen door *Ensis* vertraagt (Kamermans & Dedert 2011). Ook wordt aangenomen dat *Ensis* gebruik maakt van POM, , om in de energie voor groei te kunnen voorzien. De functionele respons f krijgt door deze aannamen de volgende vorm:

$$f = \text{voedsel} / (X_k(1 + \text{slib}/Y_k) + \text{voedsel})$$

eq. 1

Waarbij voedsel = Chl *a* (in µg/l) + alpha * POM (in mg/l) en slib = TIM (totaal inorganisch materiaal in mg/l).

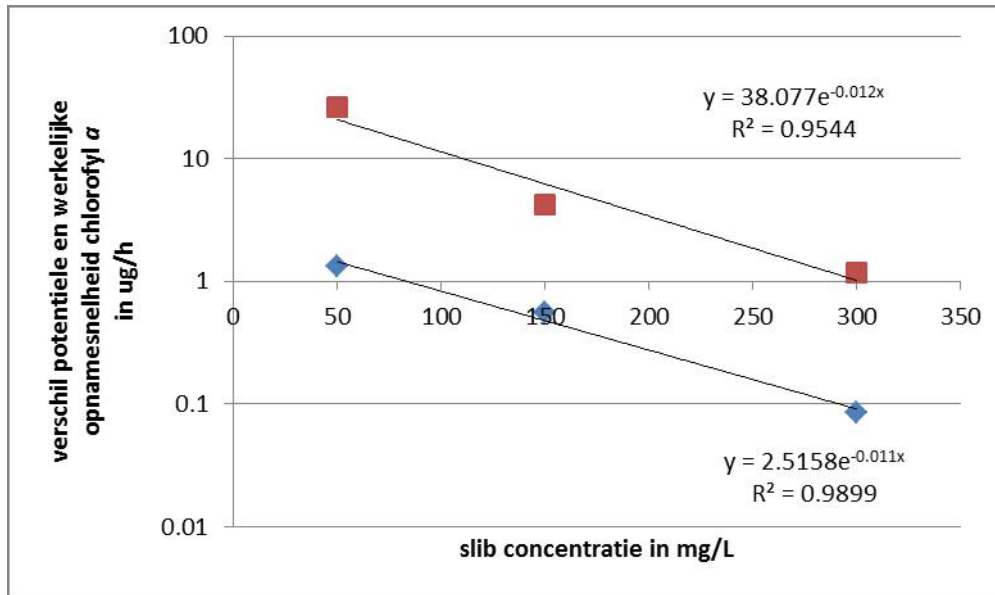
Deze vorm van de functionele response is al eerder toegepast om de verwerking van POM en slib door kokkels te beschrijven (Troost et al. 2011). Aan de hand van analyse van experimenten met *Ensis* zijn de parameterwaarden in deze functionele respons aangepast zoals beschreven in de volgende paragraaf.

3.2 Parameterisatie

Alpha is het aandeel POM, relatief tot Chl *a*, dat voor groei gebruikt wordt. De waarde van alpha is gezet op 0.1. Deze waarde geeft aan dat 10 mg POM nodig is om 1 µg Chl *a* te vervangen om dezelfde groei mogelijk te maken. Door aan te nemen dat *Ensis* gebruik maakt van POM kan het voor komen dat in tijden van lage Chl *a* en hoge POM (door hoge sterfte van algen) de productie van *Ensis* voornamelijk draait op POM. Door uitkomsten van het model met alpha=0.1 te vergelijken met die met alpha=0.0 is echter gebleken dat er in de praktijk geen noemenswaardige verschillen in conditie of groei plaatsvinden als individuen zich kunnen handhaven. Bovendien blijft Chl *a* gemiddeld verreweg de belangrijkste voedselbron in de data gebruikt voor deze studie (Chl *a* / Food > .95).

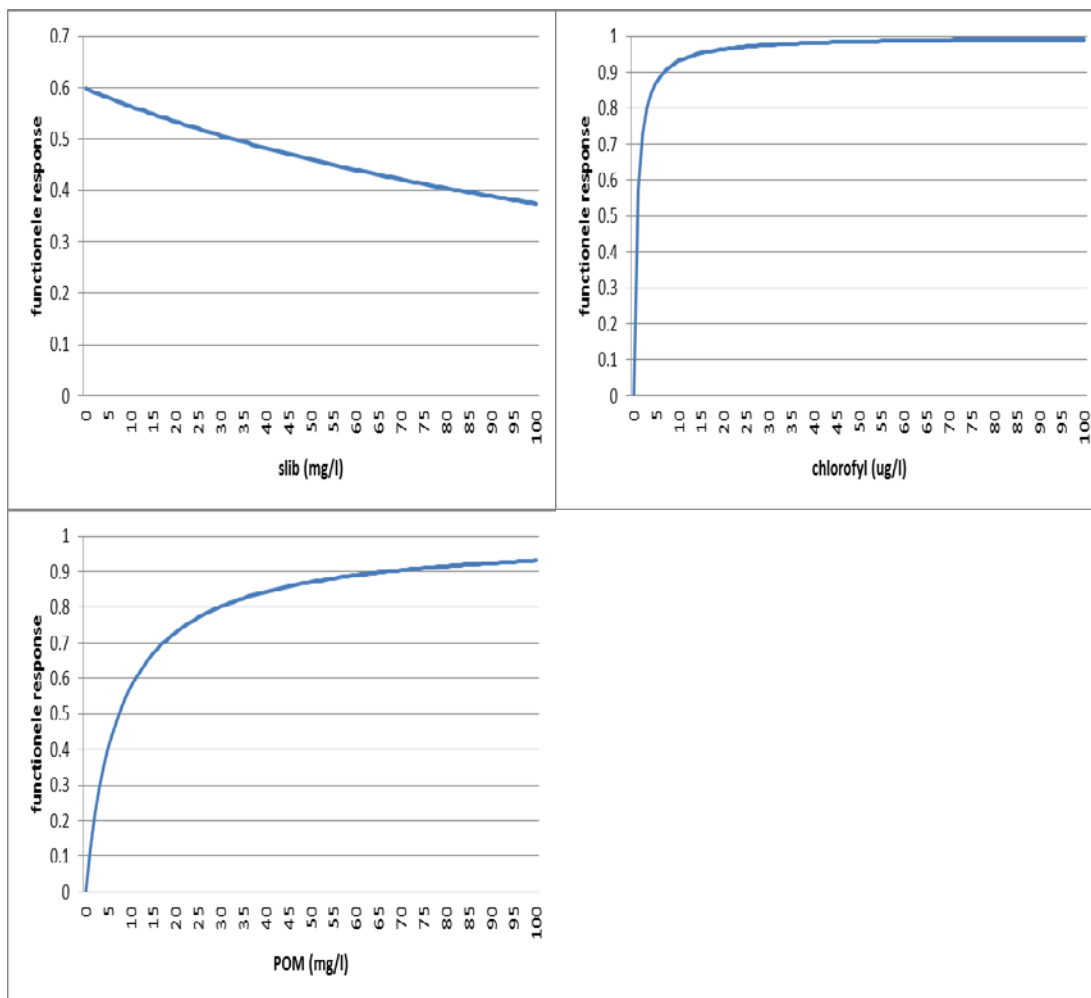
X_k is een half-saturatie constante voor de opname van Chl *a* en POM. In een eerdere studie is deze parameter al gezet op 0.75 µg/l (Wijsman 2011). In vergelijking met kokkel (X_k van kokkel is in de Oosterschelde 2.74 µg/l Troost et al 2010) is dit een waarde van de half-saturatie constante die relatief weinig effect voorspelt op de groei wanneer er een afname in voedselbeschikbaarheid is, behalve bij erg lage voedselconcentraties.

Y_k is de maat waarmee de half-saturatie constante op Chl *a* en POM verandert met de concentratie slib. Hoe groter Y_k , hoe kleiner het effect van slib op de half-saturatieconstante. De ratio X_k/Y_k geeft aan hoezeer een concentratie slib de opname van Chl *a* en POM vertraagt. Een verandering in concentratie slib veroorzaakt een verandering op de functionele response f van $a * e^{-(X_k/Y_k)SLIB}$. Deze verandering in de functionele response is berekend door analyse van resultaten uit eerder uitgevoerde experimenten. In 2011 zijn experimenten verricht om filtratiesnelheden van 15 individuen van verschillende schelp lengtes (41.57-125.15 mm) te meten bij 4 verschillende slibconcentraties (0, 50, 150, 300 mg/l) en 2 verschillende chl *a* concentraties (3 en 6 µg/l) (Kamermans & Dedert 2011). De data uit dat rapport zijn in het kader van dit onderzoek verder geanalyseerd. Voor elk individu, onder alle omstandigheden (slibconcentraties en chl *a* concentraties) is het volgende uitgevoerd. Eerst is berekend wat werkelijk door de individuen is opgenomen per uur door de concentratie chl *a* te vermenigvuldigen met de filtratiesnelheid (=werkelijke opnamesnelheid). Datzelfde is gedaan voor de opname van slib. Op basis van de verhoudingen van slib en chl *a* in het water zou men kunnen verwachten dat de potentiële opnamesnelheid van chl *a* de som van werkelijke opnamesnelheden van slib en chl *a* is vermenigvuldigd met de verhouding tussen chl *a* en slib. In potentie is de opnamesnelheid hoger, en verwacht wordt dat die potentie verlaagd wordt door de last die de opname en verwerking van slib veroorzaakt. Door de werkelijk opname snelheid van die van de potentiële opname snelheid af te trekken is vervolgens de verandering door slib in opnamesnelheid van chl *a* berekend bij elke slib concentratie. Wanneer nu die verandering in opnamesnelheid per individu voor elke concentratie chl *a* wordt uitgezet als functie van de slibconcentratie (figuur 1) blijkt dit een exponentiële relatie te hebben ($p < 0.01$). Deze exponentiële relatie blijkt voor alle individuen met verschillende grootte bij benadering dezelfde exponent te bevatten bij beide chl *a* concentraties (gemiddeld $y = a * e^{-0.011x}$, s.d.=0.002, n=15). Omdat de verandering in opnamesnelheid relatief hetzelfde is voor alle individuen, kan gesteld worden dat de afname in opnamesnelheid door slib bepaald wordt door een constante=0.011. In de functionele respons wordt deze constante beschreven door X_k/Y_k . Als $X_k=0.75$, dan volgt dat: $Y_k=68.18$. Voor overige parameterwaarden zie bijlage B.



Figuur 1: verandering in de opnamesnelheid van chlorofyl a door toenemende slib concentratie van 1 *Ensis* individu (totaal 15 getest). In rood: verschil in opname snelheid bij chl a concentratie 15 ug/l. In blauw: bij chl a concentratie 6 ug/l. bron data: Kamermans & Dedert 2011.

Met de functionele response f (eq. 1) en de parameterwaarden die daaraan gekoppeld zijn wordt bepaald hoe veranderingen in chlorofyl, POM en slib de opname van voedsel verandert. Gegeven de parameterwaarden voor α , X_k en Y_k wordt aangenomen dat verandering in concentraties chlorofyl, POM en slib zich verhouden tot eenzelfde verandering in f als $1\mu\text{g Chl/l} : 10\text{mg POM/l} : 88\text{mg slib/l}$. Oftewel, f is veel gevoeliger voor verandering in chlorofyl dan in POM of slib (zie ook figuur 2). Gegeven de maximale variatie in deze variabelen (uit scenario 1: chlorofyl: $0.5\text{-}42.2\ \mu\text{g/l}$, POM: $0.07\text{-}1.86\ \text{mg/l}$, slib: $0.98\text{-}94.6\ \text{mg/l}$) is duidelijk dat de verandering in chlorofyl in scenario 1 verreweg het grootste aandeel heeft op de effecten van zandwinactiviteiten op de groei van *Ensis*. In de rapportage zal daarom de functionele response alleen verklaard worden aan de hand van chlorofyl concentraties.



Figuur 2: verandering in de functionele response f (eq 1, maximum =1) met verandering in slib, chlorofyl a en POM. Bij de verandering met slib is aangenomen dat $1\mu\text{g Chl/l}$ en 1mg POM/l aanwezig is.

3.3 Datakeuze en -aanpassing

Groei van Ensis is berekend op 6 punten over een periode van 10 jaar ; 5 jaar periode met zandwinning (2013-2017) en achtereenvolgend 5 jaar zonder zandwinning (2018-2022). De groei tijdens zandwinning wordt vergeleken met de groei die op zou treden in de zogenaamde autonome situatie (scenario 0 in tabel 1). Ook in de autonome situatie is de groei berekend over een periode van 10 jaar. In de autonome situatie worden alle zandwinactiviteiten gemodelleerd die buiten deze MER vallen en al goedgekeurd zijn. De beoogde zandwinactiviteiten worden gemodelleerd in verschillende zandwinning scenario's (tabel 1, scenario 1 t/m 7).

Tabel 1: scenario-omschrijvingen en –coderingen

Omschrijving	Deltares codering	IMARES codering
ZS-autonoom (+ RWS ondiep (900m) landwaarts)	GZ0	Scenario 0
ZS-autonoom + ZS landwaarts diep 24 maanden (midden) 20 Mm ³	GZ1	Scenario 1
ZS-autonoom + ZS zeewaarts diep 24 maanden 40 Mm ³	GZ3	Scenario 3
ZS-autonoom + ZS landwaarts diep 24 maanden (noord) 40 Mm ³	GZ4	Scenario 4
ZS-autonoom + ZS landwaarts 5 maanden vanaf september 20 Mm ³	GZ5	Scenario 5
ZS-autonoom + ZS landwaarts 5 maanden vanaf december 20 Mm ³	GZ6	Scenario 6
ZS-autonoom + ZS landwaarts 5 maanden vanaf mei 20 Mm ³	GZ7	Scenario 7

Tussen zandwinning scenario's wordt de periode van zandwinnen, locatie en hoeveelheid van het gewonnen zand per tijdseenheid gevarieerd. Voor alle scenario's is door het GEM model (Harezlak et al. 2012) de dagelijkse concentratie POM (particulair organisch materiaal), chlorofyl *a*, TIM (totaal inorganisch materiaal) en temperatuur van het water berekend in de Noordzeekustzone. Aan de hand van waar de slibpluim zich uitstrekt, en waar zich de grootste verschillen in algen-beschikbaarheid bevinden is de locatie van 6 meetpunten bepaald (zie bijlage A en tabel 2).

Tabel 2: locaties gebruikt in simulatie en codering

locatie	codering
Egmond aan zee 4 en 10 km	Z1 en Z2
Callantsoog 2 en 4 km	C1 en C2
Terschelling 4 en 10 km	N1 en N2

Het GEM-model berekent winter-chlorofyl *a*-waarden die langdurig (1 tot 3 maanden in een locatie) onder de concentratie van 0.5 µg Chl/l vallen. In de simulaties met het DEB-model veroorzaken deze lange chlorofyl *a*-loze periodes sterfte van individuen, zelfs in het autonome scenario. Door alle waarden onder de 0.5 te vervangen door 0.5 µg Chl/l is verzekerd dat in de autonome situatie geen sterfte van individuen plaatsvindt. Daarmee wordt verzekerd dat sterfte in de zandwin-scenario's enkel het gevolg is van zandwinning en niet van autonome dynamiek van chlorofyl *a*.

3.3 Simulatie

Gedurende de simulaties voor elk scenario is in elk jaar begin juni (01-06) een zaadval van *Ensis* veronderstelt op elke locatie. Gegeven dat de geschatte maximum leeftijd van *Ensis* 7 jaar is (Armonies & Reise 1999), wordt voor 7 cohorten elk jaar de groei bepaald. In ieder cohort is het effect van zandwinning hierdoor zichtbaar zodat de meest gevoelige cohorten geïdentificeerd kunnen worden. Gezamenlijk vormen de groeicurven over de 5 jaar tijdens en 5 jaar na zandwinning een beeld van hoe populatiestructuur zich zou ontwikkelen gegeven een zaadval die elk jaar eenmaal plaatsvindt. Ook wordt de conditie of kwaliteit van de verschillende cohorten bijgehouden door deze te meten in indices zoals de ratio tussen as-vrij drooggewicht en schelpengte. Zo kan de reden voor effecten van zandwinning op de groei van individuen worden geïdentificeerd.

4. Resultaten

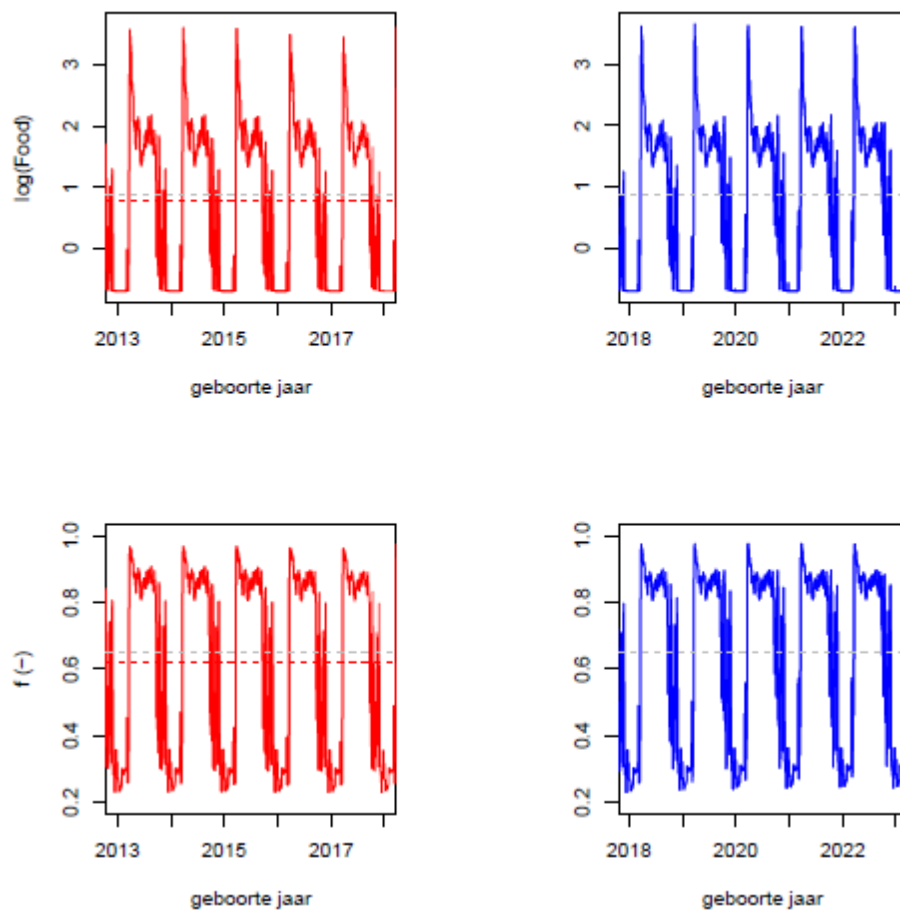
4.1 Vergelijking tussen zandwin-scenario's en autonome situatie (scenario 0)

In het DEB-model leidt opname van voedsel (d.m.v. de functionele response f , figuur 3 en 4) tot het aanvullen van reserves. Deze reserves kunnen vervolgens worden aangewend voor respiratie, somatische groei en groei van gonaden (zie bijlage E). Uit somatische groei kan de toename in lengte en gewicht worden afgeleid (figuur 5 en 6). Uit de toename van gonaden de energie die gestoken wordt in het produceren van nakomelingen. Het DEB-model berekent dit aan de hand van een gemiddeld individu. In werkelijkheid zijn er individuen die het beter of slechter doen dan deze gemiddelde. Een afname in berekende groei betekent dan ook niet per se dat individuen in werkelijkheid kleiner worden, maar kan ook betekenen dat grote individuen sterven en kleinere blijven leven.

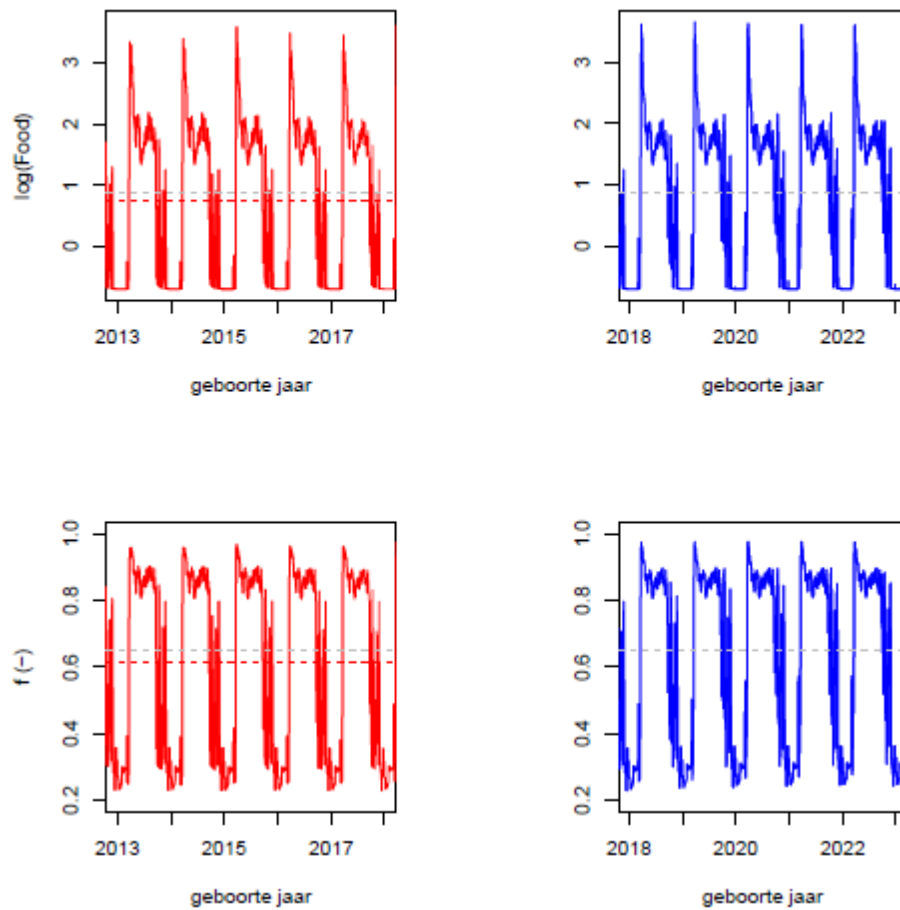
De verschillen tussen scenario's zijn miniem in het effect van zandwinning op de groei van *Ensis*. Zo is er geen verschil in groeisnelheid. Wel is er een verschil in groeiduur; cohorten uit scenario 0 kunnen iets langer (tot enkele dagen) doorgroeien en daarmee iets groter worden. Dit resulteert echter in een nauwelijks waarneembaar verschil tussen cohorten uit scenario 1 en scenario 0 in welk gewicht en lengte ze bereiken bij welke leeftijd (zie figuur in bijlage D). Wel treedt er een waarneembaar verschil op in de levensduur van sommige cohorten (cohorten van 2009 t/m 2011 worden minder oud, terwijl het cohort van 2013 ouder wordt in scenario 1, zie figuur 5 en 6). Dit verschil wordt veroorzaakt doordat er meer voedsel aanwezig is in scenario 0 dan in scenario 1 in de periode 2013-2017, wat een hogere functionele response mogelijk maakt (tabel 3). De lagere functionele response in scenario 1 veroorzaakt een langere negatieve invloed van zandwinning. Anderzijds leeft het cohort 2013 in scenario 1 langer, omdat het minder energiebehoefte heeft dan het iets grotere cohort in scenario 0. Hierdoor overleeft het wel de winter van 2017-2018, waar die van scenario 0 het niet overleeft.

Tabel 3: Vergelijking gemiddelden ($n=5$) scenario 0 en scenario 1. $\text{Log}(\text{voedsel}) = (\log(\text{Chla} + \alpha \text{ POM}))$. $f = \text{eq. 1}$. ult. Lengte = lengte bij sterfte in cm. ult. AFDW/l = maximale verhouding asvrij-drooggewicht en lengte. Tijdens = in periode 2013-2017. Na = na 1 januari 2023.

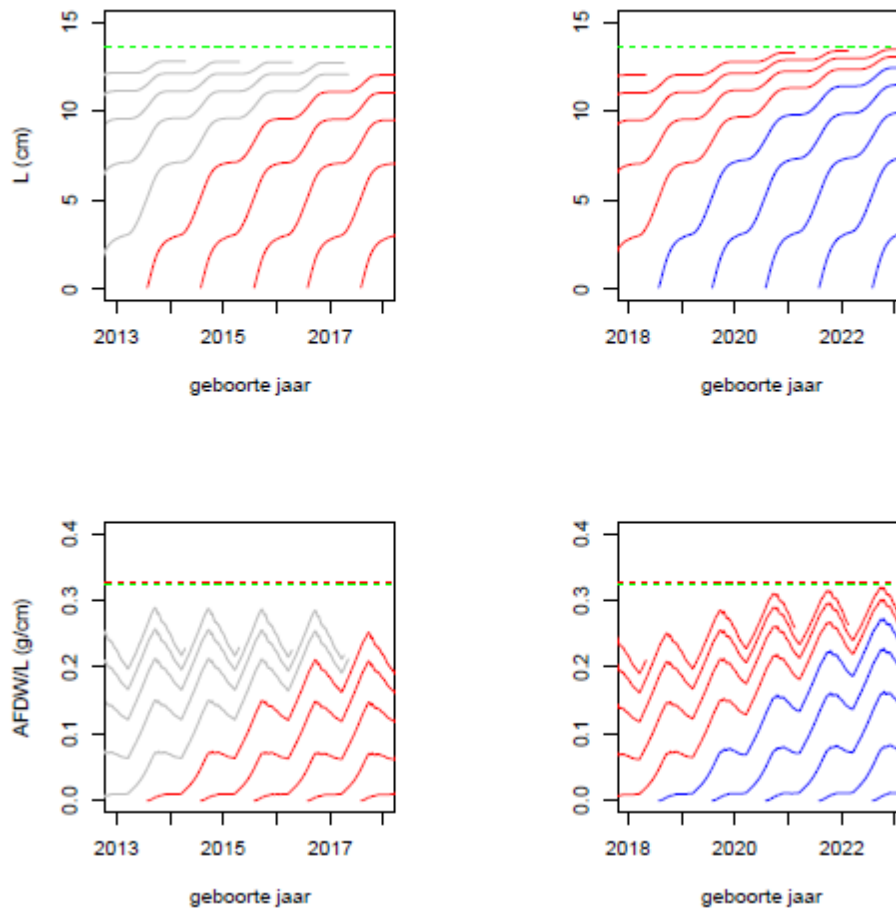
	Scenario 0		Scenario 1		Ratio 1/0	
	tijdens	na	tijdens	na	tijdens	na
Log(voedsel)	0.77	0.87	0.76	0.87	0.97	1.00
f	0.62	0.65	0.61	0.65	0.99	1.00
ult. Lengte	12.84	13.60	12.95	13.60	1.00	1.00
ult. AFDW/l	0.29	0.33	0.29	0.33	1.02	1.00



Figuur 3: Verandering in voedsel ($\log(\text{Chla} + \alpha \text{POM})$) en functionele respons (f) over de tijd (1 januari 2013 t/m 1 januari 2023) op meetlocatie C1 (Callantsoog 2 km) in **scenario 0**. Linker paneel: tijdens de zandwinning. Rechter paneel: na de zandwinning. Horizontale gestreepte lijnen: het gemiddelde in die periode (gemiddelde $f(-)$): rood: 2012-2017 = 0.62 en grijs: 2017-2022 = 0.65).

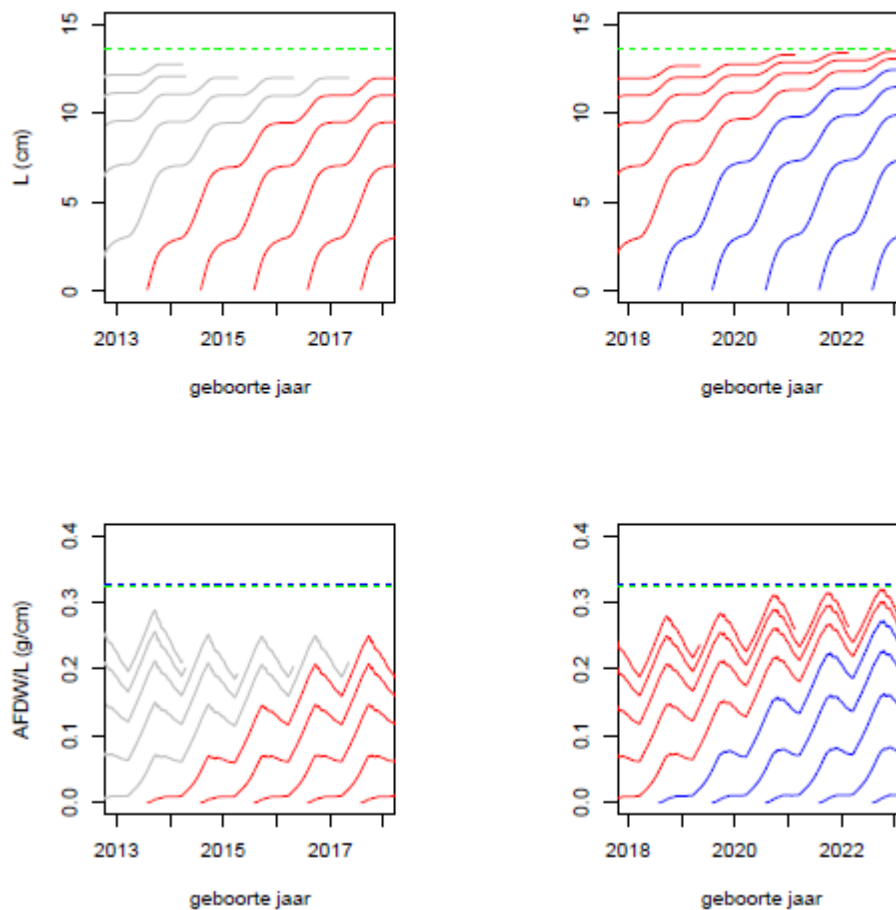


Figuur 4: Verandering in voedsel ($\log(\text{Chla} + \alpha \text{POM})$) en functionele response (f) over de tijd (1 januari 2013 t/m 1 januari 2023) in meetpunt C1 (Callantsoog 2 km) in **scenario 1**. Linker paneel: tijdens de zandwinning. Rechter paneel: na de zandwinning. Horizontale gestreepte lijnen: het gemiddelde in die periode (gemiddelde $f(-)$: rood: tijdens zandwinning = 0.61 en grijs: na de zandwinning = 0.65).



Figuur 5: Bovenste panelen: Groei in lengte van individuen over de tijd (1 januari 2013 t/m 1 januari 2023) op locatie C1 in **scenario 0**. Linker paneel: tijdens de zandwinning. Rechter paneel: na de zandwinning. In grijs: individuen geboren voor de zandwinning. In rood: individuen geboren tijdens de zandwinning. In blauw: individuen geboren na de zandwinning.

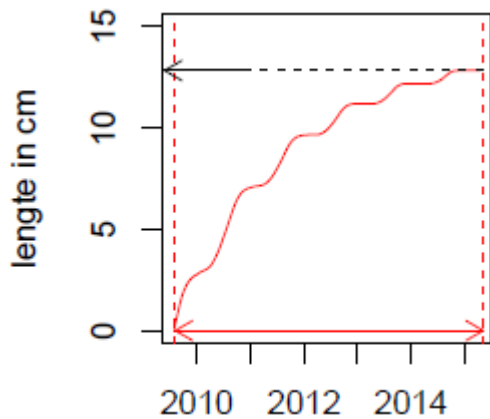
Onderste panelen: As-vrij drooggewicht gedeeld door de lengte van individuen over de tijd. Linker paneel: tijdens de zandwinning. Rechter paneel: na de zandwinning. Horizontale gestippelde lijnen: gemiddelde van waarden na zandwinning (1 januari 2023-). AFDW/l (g/cm): gem.= max.= min.: 0.33. Lengte (cm): gem.= max.=min.: 13.60.



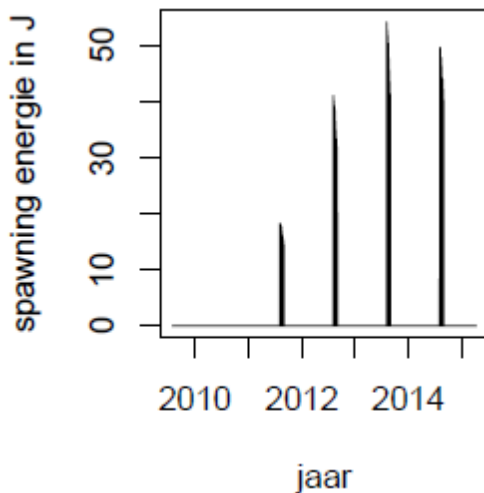
Figuur 6: Bovenste panelen: Groei in lengte van individuen over de tijd (1 januari 2013 t/m 1 januari 2023) op locatie C1 in **scenario 1**. Linker paneel: tijdens de zandwinning. Rechter paneel: na de zandwinning. In grijs: individuen geboren voor de zandwinning. In rood: individuen geboren tijdens de zandwinning. In blauw: individuen geboren na de zandwinning.

Onderste panelen: As-vrij drooggewicht gedeeld door de lengte van individuen over de tijd. Linker paneel: tijdens de zandwinning. Rechter paneel: na de zandwinning. Horizontale gestippelde lijnen: gemiddelde van waarden na zandwinning (1 januari 2023-). AFDW/l (g/cm): gem.= max.= min.: 0.33. Lengte (cm): gem.= max.=min.: 13.60.

Uitgangspunt voor de MER zandwinning 2013-2017 is om de effecten van voorgestelde zandwinactiviteiten (scenario 1) op o.a. groei van schelpdieren af te zetten tegen de effecten die al reeds plaatsvinden door de vergunde zandwinactiviteiten (scenario 0). In dit project is daarom op elke locatie (tabel 2) de vergelijking gemaakt tussen zandwinscenario's en scenario 0. Aangezien de waarneembare verschillen liggen in de levensduur en behaalde lengte van cohorten, en niet in de kwaliteit van *Ensis*, focussen we op lengte en levensduur (zie figuur 7). Naast dat vermindering van reserve leidt tot een kortere levensduur leidt het ook tot een lagere totale reproductieve output van een cohort; er is minder tijd en minder reserve om te reproduceren. Om ook daarvan een beeld te krijgen kijken we naar de totale energie gestoken in reproductie door een cohort (zie figuur 8).



Figuur 7: Illustratie van lengte ontwikkeling van een willekeurig individu over de tijd in jaren (rode doorgetrokken lijn). Rood gestippelde lijnen: periode van leven. Rode pijl: behaalde leeftijd. Zwarte pijl: Lengte bij sterfte.



Figuur 8: Illustratie van energie gestoken in reproductie voor een willekeurig individu van het begin tot het einde van zijn leven.

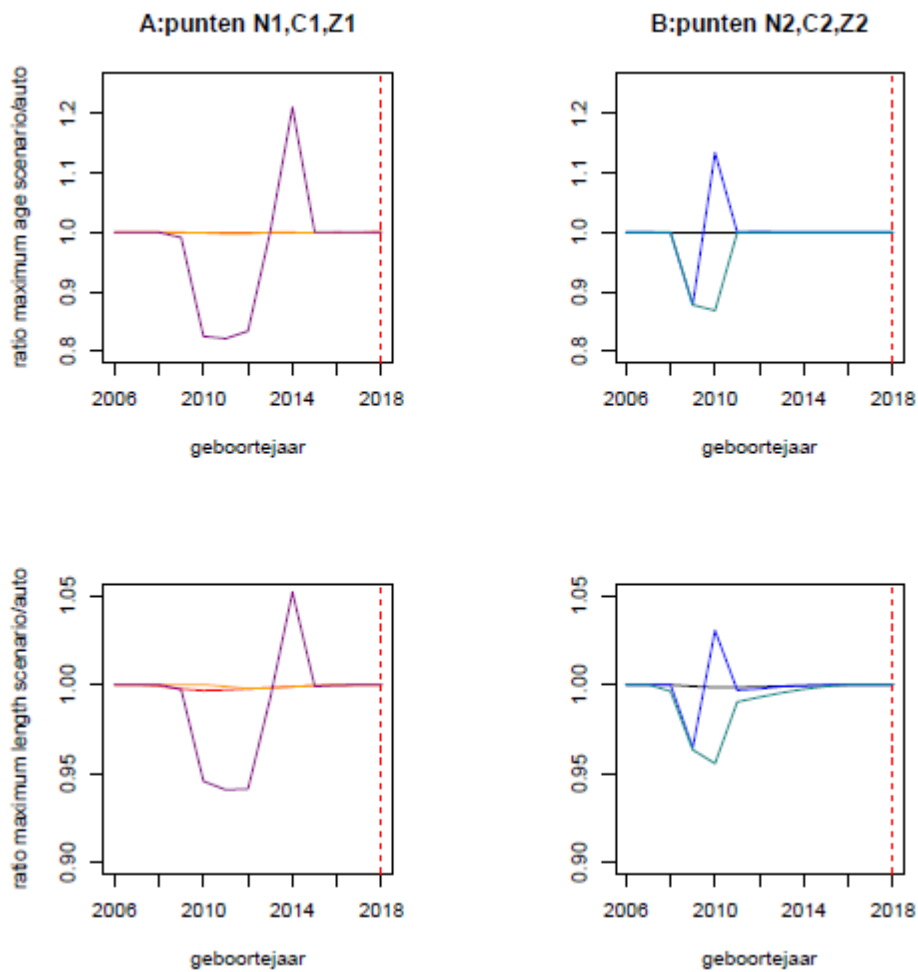
Omdat de leeftijd waarop individuen sterven kan verschillen, kunnen zowel lengte als leeftijd bij sterfte alleen individueel bepaald worden en niet voor een heel cohort bv. in het jaar 2010. Daarom wordt bij de bepaling van de lengte en leeftijd bij sterfte uitgegaan van het jaar waarin een individu geboren wordt (geboortjaar). Vervolgens worden deze waarden verhouden tot de waarden behaald in de autonome situatie (figuur 9 en figuur 1C, 3C, 5C, 7C en 9C in Bijlage C). Dit doen we door de cohorten te volgen die mogelijk leven tijdens de beoogde zandwinactiviteiten tussen 2013 en 2017. Gegeven de maximale leeftijd van 7 jaar, gaan we uit van individuen die geboren zijn vanaf 1 januari 2005 tot en met 2017 (figuur 9). De energie die elk individu in reproductie steekt kan ook over de tijd gevolgd worden (figuur 8). Reproductie vindt plaats tijdens korte perioden in het jaar. Door de hoeveelheid energie op te tellen (integraal van lijn in figuur 8) wordt het totaal aan energie gestoken in reproductie berekend voor een cohort van een bepaald jaar. Door dit voor alle cohorten te doen, kan vervolgens voor elk geboortjaar de totale energie over alle cohorten berekend worden. Zo kan bekeken worden hoe de totale reproductieve output over de jaren verandert. Het effect van slib op reproductie wordt weergegeven voor cohorten van de jaren 1 januari 2006-1 januari 2023 (figuur 10 en figuur 2C, 4C, 6C, 8C, 10C in bijlage C). Technisch is het ook mogelijk om voor elk kalender jaar de reproductieve energie van alle cohorten op te tellen om een indruk te krijgen van de energie die de totale populatie spendeert aan reproductie.

Deze optie vereist echter ook een weging van de contributies van de verschillende cohorten in de populatie op basis van hun voorkomen; zo zullen sommige cohorten meer voorkomen dan andere (zie bv. Goudswaard e.a. 2011). De beschikbare gegevens zijn echter niet specifiek genoeg om voor elk cohort een wegingsfactor te bepalen.

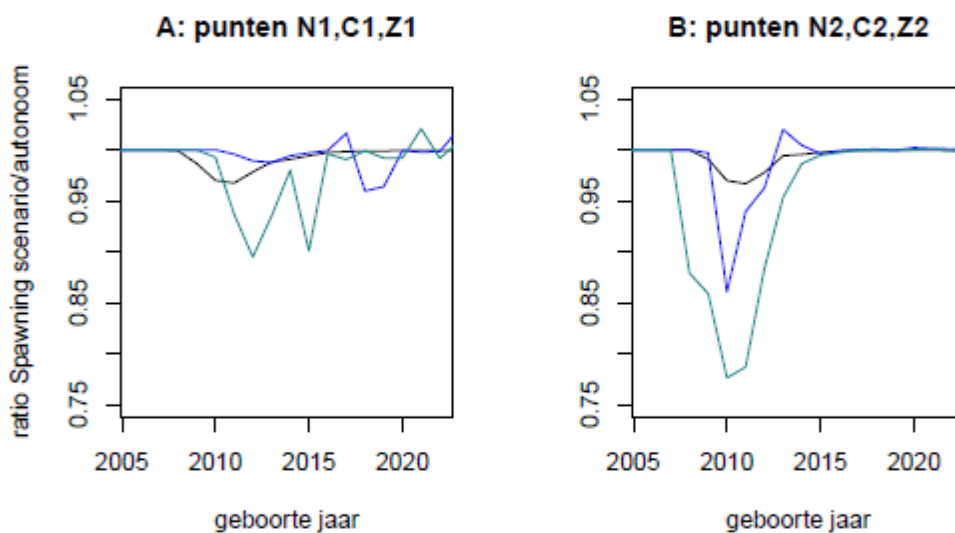
Zonder verandering ten opzichte van het autonome scenario zullen ratio's op 1 uitkomen. De meeste locaties (N1 en N2 niet) laten een tijdelijk maar zwaar effect zien van scenario 1 ten opzichte van scenario 0 in de maximale leeftijd en maximale lengte (figuur 9). Alle locaties, behalve N1, vertonen echter een depressie in de energie gestoken in reproductie (figuur 10). Over het geheel genomen lijken scenario 1 t/m 7 minder gunstig dan scenario 0, echter dit is niet statistisch te staven in de vergelijking zoals te zien in figuur 9 en 10 (per locatie per jaar $n=1$). Door het effect op locaties te groeperen, en spatiële variatie te negeren zijn geen significante verschillen te vinden tussen scenario 0 en de andere scenario's. Wel valt er een verschil tussen locaties vast te stellen.

De voorgenomen zandwinning heeft ten opzichte van de autonome situatie (scenario 0) een effect op deze parameters. Waar maximale lengten en leeftijden voornamelijk verminderen op de locaties het dichtst bij de kust (N1,C1,Z1, zie figuur 9), ondervinden de zeewaartse locaties voornamelijk effect op de energie gestoken in reproductie (N2,C2,Z2, zie figuur 10). Opvallend is dat ondanks dat cohorten veelal net zolang blijven leven in de zeewaartse locaties (N2, C2, Z2), reproductieve reserves toch zodanig aangetast worden. Ook beginnen de effecten op reproductieve energie een cohort eerder dan de effecten op levensduur en lengte, en kunnen bovendien langer voortduren. Maximale lengten zijn het minst gevoelig (figuur 9) en de energie gestoken in reproductie het meest gevoelig (figuur 10) voor de beoogde zandwinning in vergelijking met scenario 0. Effecten van de beoogde zandwinning zijn voornamelijk negatief, maar er vinden ook compensatoire reacties plaats, voornamelijk na de periode van zandwinning, zodat er ook meer energie gestoken wordt in reproductie dan het geval in het autonome scenario omdat individuen langer kunnen worden dan in het autonome scenario 0 (figuur 10). Sommige scenario's zoals de getoonde scenario 1 in figuur 9 laten ook compensatoire reacties zien in lengte en leeftijd (zie bijlage C). Deze compensatoire reacties zijn te wijten aan vaak 1 individu dat een jaar langer doorleeft in het zandwin-scenario dan in het autonome scenario 0 (zie ook figuur 5 en 6, individu geboren in 2013). Verder is te zien dat effecten op lengte en leeftijd kortdurend zijn (1 tot 3 individuen beïnvloedt), maar dat het effect van de geplande zandwinning t.o.v. de autonome situatie op reproductie langdurig is en doorloopt tot na de periode van zandwinning (2013-2018).

In figuur 9 en 10 is ook te zien dat de effecten van zandwinning in scenario 1 later effect hebben op lengte en leeftijd op de locaties dicht bij de kust. Ook valt op door vergelijking van figuur 9 en 10 en de figuren in Bijlage C dat locatie C1 (Callantsoog 2km), de locatie dichtst bij de grootste dynamiek in slib en chlorofyl veroorzaakt door de beoogde zandwinactiviteiten, ook het grootste effect op groei t.o.v. de autonome situatie te vinden is.



Figuur 9: maximale leeftijd (bovenste panelen) en maximale lengte als functie van geboorte jaar (1 januari 2013 t/m 1 januari 2023) uitgedrukt als ratio tussen de waarde in **scenario 1** en de waarde in het autonome scenario 0. A: meetpunten N1 (rood, Terschelling 4km), C1 (paars, Callantsoog 2km) en Z1 (oranje, Egmond aan zee 4km). B: meetpunten (N2 (zwart, Terschelling 10km), C2 (licht blauw, Callantsoog 4km), Z2 (donker blauw, Egmond aan zee 10km).



Figuur 10: totaal aan energie gestoken in reproductie voor elk cohort van een geboorte jaar (1 januari 2013 t/m 1 januari 2023) uitgedrukt als ratio tussen de waarde in **scenario 1** en de waarde in het autonome scenario 0. A: meetpunten N1 (zwart, Terschelling 4km), C1 (licht blauw, Callantssoog 2km) en Z1 (donker blauw, Egmond aan zee 4km). B: meetpunten (N2 (zwart, Terschelling 10km), C2 (licht blauw, Callantssoog 4km), Z2 (donker blauw, Egmond aan zee 10km).

Te zien in alle scenario's zijn de verwachte verschillen tussen locaties in de effecten van zandwinning op groei en conditie van *Ensis*. Ook in beide scenario's zijn de relatieve verschillen tussen de locaties min of meer gelijk. De centrale locatie (C1: Egmond aan zee 4km) wordt het zwaarst getroffen. Bij Egmond aan zee (4km: C1, 10km: C2) vindt er een tweedeling plaats. Op C1 (kustwaarts) is veel effect, terwijl op C2 (zeewaarts) nauwelijks effect merkbaar is in groei. Alle locaties (behalve N1) laten een effect zien in de reproductieve energie in de jaren tijdens en na zandwinning (figuur 10). In leeftijd is überhaupt geen effect in de noordelijke locaties te vinden (bovenste panelen, zwarte en rode lijn), terwijl een licht effect te bemerken valt in de maximale lengte van een individu (onderste panelen).

Toename van groei in lengte en reproductieve energie te zien in figuren 9 en 10 zijn niet zozeer een resultante van de veerkracht van individuen om een moeilijke tijd te doorstaan, maar een resultante van verschillen in geschiedenis. Lengtes van individuen zijn een functie van voedsel, slib en reserves. Meer voedsel en reserve geven grotere individuen. Zo zien we dat individuen in scenario 0 groter kunnen worden dan bv. in scenario 1 tijdens 2013-2018 (verschil <1mm op 1-1-2017, figuur 1 bijlage D) doordat ze iets langer door blijven groeien (enkele dagen). Grotere individuen verbruiken ook meer

energie. Ondanks dat er net zoveel voedsel aanwezig is in scenario 1 en 0 in het jaar 2018 is dit voor een groter individu uit 2013 in scenario 0 te weinig om zich staande te houden terwijl dat voor het iets kleiner gebleven individu uit 2013 in scenario 1 wel voldoende is om een jaar langer te leven. Zo heeft de gematigde groei in scenario 1 toch nog een voordeel t.o.v. de autonome situatie in scenario 0 in voedselarme gebieden zoals Callantsoog 2km.

De energie die in reproductie gestoken wordt is een functie van lengte van individuen en de hoeveelheid cohorten aanwezig. Een groter individu steekt meer energie in reproductie, maar dezelfde omstandigheden die zorgen voor grotere individuen zorgen er ook voor dat er meer cohorten kunnen blijven voortbestaan. Een klein effect op chlorofyl, POM en slib kan daarmee een klein effect hebben op lengtes dat het effect op energie in reproductie vergroot, zowel in positieve als in negatieve zin. Omdat het hier niet alleen gaat over de kwaliteit van individuen maar ook populatie effecten meeneemt zijn effecten van slib op de energie die gestoken wordt in reproductie het meest duidelijk.

5. Discussie

In de keuze voor de locaties die zijn gebruikt voor de berekeningen is zoveel mogelijk rekening gehouden met de aanwezige spatiële variatie in het effect van zandwinning op chlorofyl-*a*-gehalten. Zo zijn locaties gekozen (zie tabel 1A, Bijlage A) nabij de beoogde zandwinnings met veel dynamiek in chlorofyl *a* concentraties (Callantsoog 2 en 4km), locaties met minder (Egmond aan zee 4 en 10km) en locaties met weinig dynamiek chlorofyl *a* concentraties (Terschelling 4 en 10km). Hierdoor is zo goed als mogelijk rekening gehouden met spatiële variatie in het effect van slib op de groei en conditie van *Ensis*. De gradaties op locaties in dynamiek van chlorofyl *a* concentraties vinden we terug in de effecten op groei van *Ensis*. Locaties nabij zandwinactiviteiten ondervinden een groter effect op groei en conditie dan locaties verder daarvan verwijderd. Wat niet duidelijk kan worden is hoe de afname van het effect van zandwinning verloopt naarmate men steeds verder van de zandwin-locaties verwijderd raakt. Hierdoor is het ook niet duidelijk wat de omvang van het effect op populatieniveau langs de kust zal zijn. Ook betekent dit niet dat er geen locaties kunnen zijn waar een groter effect van zandwinning op *Ensis* kan plaatsvinden dan verwacht aan de hand van de afstand tot zandwin-locaties.

Figuur 5 t/m 8 laten zien dat geen verschillen tussen scenario's in groeisnelheid aanwezig zijn; individuen van een bepaalde leeftijd zullen gemiddeld dezelfde grootte en gewicht behalen. Wel zien we dat enkele cohorten minder lang leven als gevolg van de voorgenomen zandwinactiviteiten in scenario 1. Dat betekent dat *Ensis* als voedsel voor bv. Zwarte zee-eenden niet in kwaliteit zal dalen, terwijl de populatie-structuur en wellicht hoeveelheid beschikbare massa wel kan veranderen. De gebruikte locaties zijn onderling en in ieder scenario vergeleken door ratio's met de autonome situatie te berekenen (figuur 9 en 10). De ratio's weergegeven in figuur 9 en 10 zijn daarmee indicaties voor de *relatieve* effecten van zandwinactiviteiten op groei en kwaliteit van *Ensis*. Gemiddeld over de locaties is echter geen significant effect van de beoogde zandwinactiviteiten gevonden op de autonome situatie. Het grootste effect van zandwinning op *Ensis* betreft de energie die gestoken wordt in reproductie, en niet zozeer in groei of uitval van individuen. Al zijn de effecten op levensduur en lengte minder in de zeevaartse dan in kustvaartse locaties, toch vinden de zwaarste effecten in de reproductieve energie plaats in zeevaartse locaties. Aan de ene kant voorspellen wij dat de populatie van *Ensis* vooral zal bestaan uit jonge individuen tijdens zandwinactiviteiten door sterfte van vooral grotere individuen, zeker langs de kust. Dit wordt ondersteund door monitoringgegevens van Goudswaard e.a. 2010 die laten zien dat de populatie van *Ensis* voornamelijk bestaat uit aantallen jonge individuen. Deze studie laat verder zien dat door de verandering in populatiestructuur het reproductie potentieel wordt verminderd. Gegeven deze resultaten wordt verwacht dat zandwinning vooral effect zal hebben op populatie niveau, in plaats van individu niveau. Echter, langjarige monitoring data van *Ensis* laten een toename in populatiegrootte zien (bv Goudswaard e.a. 2010). Hoewel deze toename in populatiegrootte een temporeel verschijnsel kan zijn als gevolg van invasie van nieuw terrein (iets wat we in deze studie niet verondersteld hebben), kan niet uitgesloten worden dat een reductie in het reproductie potentieel alsnog heeft plaatsgevonden. Ondanks dat we dus aantonen dat een gemiddeld individu hinder kan hebben van slib in de zandwin-scenario's, kunnen we de effecten op de populatie dynamiek van *Ensis* niet testen in deze studie. Zo is de terugkoppeling tussen voedselopname en voedselconcentratie niet aanwezig in dit model, waardoor ieder cohort zonder competitie van soortgenoten groeit. Belangrijke resterende vragen in verband met de effecten van zandwinning in het algemeen en de voorgenomen zandwinactiviteiten in het bijzonder zijn: Hoe beïnvloedt competitie de effecten van zandwinactiviteiten? Is de verandering in populatiestructuur hetzelfde met competitie om voedsel? Wat gebeurt er met onderlinge competitie als een deel van de populatie uitvalt? Deze, en andere op populatie-dynamische gestoelde vragen kunnen alleen beantwoordt worden in een model dat de terugkoppeling van voedselopname op voedselconcentratie meeneemt en bovendien aannames doet over de competitieve verhoudingen tussen verschillende grootteklassen of cohorten. Hoewel uit deze studie wel een differentiatie blijkt van het effect op kustvaartse en zeevaartse locaties en afstand tot zandwinlocaties belangrijk blijkt, is voor een

ruimtelijk expliciet beeld van de effecten op de populatie *Ensis* tevens een andere modelbenadering vereist.

De doorvertaling van de resultaten van deze studie naar de werkelijkheid vereisen het inzicht in een aantal simplificaties die aangenomen zijn in het model.

Ensis vertoont in sommige jaren broedval in twee periodes: Mei-Juni en Juli-Augustus (Armonies 1996).

In deze studie is uitgegaan van de broedval in enkel de eerste periode omdat blijkt uit metingen van gonadenmassa van individuen tussen november 2001 en januari 2003 dat in de periode mei-juni de grootste afname in massa van gonaden plaatsvindt (Cardoso et al. 2009).

Alsnog kan men afvragen wat het effect is van zandwinning op de groei van een latere broedval. Door aan te nemen dat broedval plaatsvindt op 1 augustus kunnen dezelfde berekeningen overgedaan worden en vergeleken met die met broedval op 1 juni. Grotere individuen zullen (en kunnen indien ze meer reserve hebben) meer interen bij voedseltekorten en/of hoge slib concentraties door een hoger verbruik (metabolisme). Door het hogere metabolisme zijn grotere individuen kwetsbaarder dan kleinere individuen als het gaat om het effect van zandwinning op de voedselopname van *Ensis*. Het grootteverschil tussen individuen van een broedval begin juni en een begin augustus kan ervoor zorgen dat effecten op levensduur zichtbaar in dit rapport op sommige cohorten verdwijnen waar andere effecten verschijnen t.o.v. de berekeningen met een broedval op 1 juni. Dit laat zien dat de effecten getoond in dit rapport veelal temporeel zijn sterk afhankelijk van de balans tussen de grootte van de reserve (die recht evenredig is met de grootte van het individu) en het verbruik van een individu (dat omgekeerd evenredig is met de grootte van een individu). Over alle locaties gemiddeld is het verschil tussen de berekeningen met verschillende timing van broedval echter niet groot genoeg om significante verschillen in het effect van zandwinning op groei en conditie van die individuen te vinden (resultaten niet getoond). Gemiddeld wordt *Ensis* in het veld 4 jaar oud (Armonies & Reise 1999). Hier hebben we een maximale leeftijd van 7 jaar verondersteld en zien dat met zandwinning de maximale leeftijd tot een minimum van 4 jaar daalt. In het veld spelen behalve voedsel en temperatuur (zoals in het DEB-model) ook predatie, ziektes en broedval op ongeschikte locaties een rol in het leven van *Ensis*. Hierdoor kan de gemiddelde leeftijd in het veld ver onder de maximale blijven. Deze studie heeft alleen gekeken naar wat de effecten zijn op groei en kwaliteit van *Ensis*, niet naar de effecten op predatie, ziekte en broedval. We hebben hier dus slechts gekeken naar een relatieve verandering in de groei van *Ensis*. We kunnen hier dus ook niet zeggen wat het effect van zandwinning op die factoren zal zijn. Vooral voor de extrapolatie van voorspellingen op individu niveau naar voorspellingen voor populatie omvang is kennis over mortaliteit onder *Ensis*, en wat dat veroorzaakt (ziekte, voedseltekort, predatie, etc.) van essentieel belang. Met de functionele response f (eq. 1) en de parameterwaarden die daaraan gekoppeld zijn wordt bepaald hoe veranderingen in chlorofyl, POM en slib de opname van voedsel verandert. Gegeven de parameterwaarden voor α , X_k en Y_k wordt aangenomen dat verandering in concentraties chlorofyl, POM en slib zich verhouden tot eenzelfde verandering in f als $1\mu\text{g Chl/l} : 10\text{mg POM/l} : 88\text{mg slib/l}$. Oftewel, f is veel gevoeliger voor verandering in chlorofyl dan in POM of slib. Gegeven de maximale variatie in de periode 2008-2022 in deze variabelen (uit scenario 1: chlorofyl: 0.5-42.2 $\mu\text{g/l}$, POM: 0.07-1.86 mg/l , slib: 0.98-94.6 mg/l) is duidelijk dat de verandering in chlorofyl in scenario 1 verreweg het grootste aandeel heeft op de effecten van zandwinactiviteiten op de groei van *Ensis*. Wanneer een grotere gevoeligheid voor slib op voedselopname wordt verondersteld wordt de invloed van verandering in slib gehaltes allicht groter. Bij andere organismen kan de gevoeligheid groter zijn (bv. bij kokkels, Troost et al 2010). Ook laten Witbaard en Kamermans (2009) in vergelijking met studies met andere schelpdieren zien dat *Ensis* bij een relatief hoge concentratie slib pas een verlaging in clearance rate laat zien terwijl ze hoge filtratiesnelheden kan behalen. Omdat het niet duidelijk is uit de vergelijking van studies in Witbaard en Kamermans (2009) wat de totale belasting van deeltjes was wanneer er een vermindering in clearance rate plaatsvond (algen concentratie is in de meeste gevallen onbekend) kan geen vergelijking in het effect van slib op de opname van algen berekend worden. Of *Ensis* ongevoelig is

voor slib in vergelijking met andere schelpdiersoorten in de kustzone, kan daarom ook op dit moment niet ingeschat worden.

6. Conclusies

De kennisvraag van dit deelproject was: Wat is het effect van de veranderde slib- en algencondities op de groei en conditie van zwaardschede *Ensis*?

Per locatie hebben de zandwinactiviteiten, en dus de veranderde slib- en algencondities, zoals voorgesteld in scenario 1 t/m 7 amper waarneembaar effect op de lengte per leeftijd en gewicht per leeftijd. Wel hebben de activiteiten waarneembaar effect op de populatie structuur omdat levensduur van cohorten wordt beïnvloed. Hoewel ook positieve verandering van levensduur mogelijk is, veroorzaken zandwinactiviteiten vooral een vroegtijdige dood van oudere dieren. Door vroegtijdige dood, maar ook door verlaging van reserves bij cohorten die niet vroegtijdig sterven, vermindert ook de energie die in reproductie gestoken wordt. De grootte van de effecten van zandwinactiviteiten op *Ensis* hangen af van de afstand tot de kust (kustwaarts meer effect op levensduur en lengte, zeewaarts vooral effect op reproductieve energie) en de afstand tot zandwin-activiteiten en de verandering in chlorofyl a die daarmee gepaard gaan. Ook al zijn de effecten op *Ensis* per locatie nabij zandwinactiviteiten aanzienlijk, gemiddeld over de locaties genomen hebben de zandwinactiviteiten zoals voorgesteld in scenario 1 t/m 7 echter geen significant effect ten opzichte van de autonome situatie in scenario 0 zonder deze voorgenomen zandwinactiviteiten.

7. Kwaliteitsborging

IMARES beschikt over een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 57846-2009-AQ-NLD-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 december 2012. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V. Daarnaast beschikt het chemisch laboratorium van de afdeling Milieu over een NEN-EN-ISO/IEC 17025:2005 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 27 maart 2013 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie.

8. Referenties

- Armonies, W.** 1996. Changes in the distribution patterns of 0-group bivalves in the Wadden Sea: byssus-drifting releases juveniles from the constraints of hydrography. *Journal of Sea Research*, 35, p323-334.
- Armonies, W. & K. Reise** 1999. On the population development of the introduced razor clam *Ensis americanus* near the island of Sylt (North Sea). *Helgolander Meeruntersuchungen*, 52, p291-300.
- Cardoso, J.F.M.F., J.I.J. Witte & H.W. van der Veer** 2009. Reproductive investment of the American razor clam *Ensis americanus* in the Dutch Wadden Sea. *Journal of Sea research* 62, p295-298.
- Deltacommissie** 2008. Samen werken met water. Een land dat leeft, bouwt aan zijn toekomst. Bevindingen van de Deltacommissie 2008.
- Goudswaard, P.C., K.J. Perdon, J.J. Kesteloo, J. Jol, C. van Zweeden, E. Hartog, J.M.J Jansen & K. Troost** 2010. Schelpdieren in de Nederlandse kustwateren, een kwantitatieve en kwalitatieve bestandsopname in 2010. IMARES Rapport C 099/10.
- Harezlak, V., A. van Rooijen, Y. Friocourt, T. van Kessel, H. Los** 2012. Winning suppletiezand Noordzee 2013-2017; Scenariostudies m.b.t. slibtransport, nutriënttransport, en primaire productie. Deltares rapport nr: 1204963-000.
- Kamermans, P., E. Brummelhuis & J. Wijsman** 2011. First pioneering laboratory experiments on filtration, respiration and growth of the razor clam (*Ensis directus*, Conrad). IMARES-rapport C115/11.
- Kamermans, P. & M. Dedert** 2011 (in review). Effect of silt concentration on filtration and growth of the razor clam (*Ensis directus*, Conrad). IMARES-rapport.
- Kooijman S.A.L.M.** 2010. Dynamic Energy Budget theory for metabolic organisation, 3rd edition, Cambridge University Press, Cambridge.
- Saraiva, S., J. v.d. Meer, S.A.L.M. Kooijman & T. Sousa** 2011. Modelling feeding processes in bivalves: A mechanistic approach. *Ecological Modelling* 222, p514-523.
- Troost, T. A., J. W. M. Wijsman, S. Saraiva and V. Freitas** 2010. Modelling shellfish growth with dynamic energy budget models: an application for cockles and mussels in the Oosterschelde (southwest Netherlands). *Phil. Trans. R. Soc. B*, 365, p3567–3577.
- Wijsman, J.** 2011. Dynamic Energy Budget (DEB) parameters for *Ensis directus*. IMARES-rapport C116/11.
- Witbaard, R. & P. Kamermans** 2009. De bruikbaarheid van de klepstandmonitor op *Ensis directus* ten behoeve van de monitoring van aan zand suppletie gerelateerde effecten. NIOZ rapport 2009-10.

Verantwoording

Rapport nummer : C089/12

Project nummer : 4303102901

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het betreffende afdelingshoofd van IMARES.

Akkoord: Dr. Ir. A.G. Brinkman
Onderzoeker

Handtekening:



Datum: 23 juli 2012

Akkoord: Ir. H.W. van der Mheen
Hoofd afdeling Aquacultuur

Handtekening:



Datum: 23 juli 2012

9. Bijlagen

Bijlage A. MEMO keuze meetpunten voor offline DEB berekeningen HHNK

In het kader van het project "GEM sommen voor de MER Zandwinning" worden modelberekeningen uitgevoerd om in het kader van twee MER'en, de effecten van zandwinning op het ecosysteem van de Noordzee en de Waddenzee te identificeren.

Momenteel lopen de simulaties voor de vooraf gedefinieerde zandwin scenario's bij Deltares. Met de uitkomsten van berekening van chlorofyl *a* (door het GEM-model) en slib (of TIM, total inorganic matter) in verschillende scenario's wordt de groei van individuen bepaald op een locatie dmv een offline DEB berekening. De uitkomsten van het GEM-model worden standaard weergegeven op locaties die (ooit) door de MWTL-programma zijn bemonsterd (zie figuur). Deze memo onderbouwt de keuze van locatie voor de offline DEB berekeningen aan de hand van verspreiding van slib in de verschillende scenario's. Daarbij wordt uitgegaan van de in de offerte omschreven 6 punten in 3 raaien (twee punten per raai). Om ook de effecten van zandwinning te vergelijken tussen locaties in hetzelfde scenario, zoeken we ook naar punten die dezelfde afstand hebben tot de kust in elke raai.

Uit IMARES onderzoek met WOT-survey data over de verspreiding van *Ensis* blijkt dat *Ensis* dicht tegen de kust in de hoogste dichtheden voorkomt en dat dichtheid vermindert naarmate de grens van de 20-mijl zone wordt benaderd. Aan de andere kant bevinden de zandwinlocaties zich in alle scenario's van HHNK buiten de -20m NAP-lijn (meer dan 5 km uit de kust). Om de effecten van zandwinning op groei van *Ensis* te berekenen op locaties waar de kans op het voorkomen van *Ensis* ook in voldoende mate aanwezig is, wordt hier gekozen voor MWTL locaties 4-10 km uit de kust.

Een voorgaande memo van Deltares (kenmerk: 1204963-000-ZKS-0024) liet per scenario een aantal figuren met jaargemiddelde TIM (total inorganic matter) concentraties zien. De memo liet ook zien dat TIM concentraties het hoogst zijn rond het zandwingebed en dat slib voornamelijk wordt verspreid naar het noorden en slechts licht naar het zuiden van de zandwinlocatie. Aangezien de zandwinlocaties en de verspreidende slibpluim in de scenario's van HHNK zich altijd ten noorden van de MWTL-raai vanuit Noordwijk (dwz Noordwijk 2, 4, 10, 20, 30 km) bevinden is er geen effect te verwachten van zandwinning op groei op locaties ter hoogte van of raaien ten zuiden van Noordwijk. Daardoor blijven drie raaien over, te weten: Egmond aan zee, Callantsoog en Terschelling.

Dit leidt tot de volgende keuze van meetlocaties in alle scenario's met de in tabel 1A weergegeven dynamiek in een zandwin-scenario ten opzichte van de autonome situatie: :

Egmond aan zee 4 (Z1) en 10 km (Z2)

Callantsoog 2 (C1) en 4 km (C2)

Terschelling 4 (N1) en 10 km (N2)



Figuur 1A: Locaties (ooit) in het MWTL programma bemonsterd langs de Noordzeekust. Raaien van zuid naar noord: Appenzak, Walcheren, Schouwen, Goeree, Ter Heijde, Noordwijk, Egmond aan zee, Callantssoog, Terschelling

sc1/0	slib gem (min-max)	chl gem (min-max)
N1	1.017575 (1.00- 1.07)	0.988643 (0.00- 4.00)
N2	1.010902 (1.00- 1.10)	1.004014 (0.00- 10.00)
C1	1.028202 (1.00- 1.19)	0.956105 (0.00- 3.00)
C2	1.053509 (1.00- 1.34)	0.962191 (0.00- 10.00)
Z1	1.015058 (1.00- 1.13)	0.976803 (0.00- 2.21)
Z2	1.019465 (1.00- 1.21)	0.990684 (0.00->10)

sc2/0	slib gem (min-max)	chl gem (min-max)
N1	1.035149 (1.00- 1.15)	0.971853 (0.00- 2.00)
N2	1.021803 (1.00- 1.20)	0.99577 (0.00- 6.00)
C1	1.056404 (1.00- 1.37)	0.93422 (0.00- 2.00)
C2	1.107018 (1.00- 1.69)	0.946166 (0.00- 10.00)
Z1	1.030116 (1.00- 1.25)	0.967346 (0.00- 2.23)
Z2	1.03893 (1.00- 1.42)	0.975441 (0.00- 10.00)

sc3/0	slib gem (min-max)	chl gem (min-max)
N1	1.030192 (1.00- 1.11)	0.980352 (0.00- 4.00)
N2	1.03202 (1.00- 1.28)	0.985965 (0.00- 10.00)
C1	1.021854 (1.00- 1.14)	0.96125 (0.00- 5.00)
C2	1.039791 (1.00- 1.26)	0.953702 (0.00- 10.00)
Z1	1.013137 (1.00- 1.16)	0.966617 (0.00- 2.23)
Z2	1.031813 (1.00- 1.32)	0.963669 (0.00- 10.00)

sc4/0	slib gem (min-max)	chl gem (min-max)
N1	1.035706 (1.00- 1.126)	0.975233 (0.00-4.00)
N2	1.025985 (1.00- 1.21)	0.996391 (0.00-9.00)
C1	1.012363 (1.00- 1.10)	0.97506 (0.00-3.00)
C2	1.029971 (1.00- 1.27)	0.973543 (0.00-10.00)
Z1	1.00225 (1.00- 1.02)	0.994861 (0.00-1.50)
Z2	1.002119 (1.00- 1.04)	0.998964 (0.10-2.60)

sc5/0	slib gem (min-max)	chl gem (min-max)
N1	1.015986 (1.00- 1.17)	0.983812 (0.00- 4.00)
N2	0.940991 (0.82- 1.16)	1.153442 (0.00->10)
C1	1.016173 (1.00- 1.35)	0.971472 (0.00- 5.00)
C2	1.03333 (1.00- 2.09)	0.968395 (0.00- 10.00)
Z1	1.007804 (1.00- 1.29)	0.979268 (0.00- 2.29)
Z2	1.011856 (1.00- 1.63)	0.988567 (0.00- 4.00)

sc6/0	slib gem (min-max)	chl gem (min-max)
N1	1.019064 (1.00- 1.29)	0.991057 (0.00-5.00)
N2	1.012719 (1.00- 1.47)	1.000852 (0.00- 5.00)
C1	1.035943 (1.00- 1.85)	0.96097 (0.00-2.00)
C2	1.060333 (1.00- 2.42)	0.973598 (0.00- 10.00)
Z1	1.020324 (1.00- 1.59)	0.978901 (0.00- 2.31)
Z2	1.024409 (1.00- 1.97)	0.985905 (0.00- 4.40)

sc7/0	slib gem (min-max)	chl gem (min-max)
N1	1.017811 (1.00- 1.17)	0.988657 (0.00- 4.00)
N2	1.012133 (1.00- 1.23)	0.999078 (0.00- 9.00)
C1	1.028587 (1.00- 1.46)	0.976456 (0.00- 5.00)
C2	1.064867 (1.00- 2.22)	0.987851 (0.00- 10.00)
Z1	1.014526 (1.00- 1.40)	0.979577 (0.00- 2.29)
Z2	1.020794 (1.00- 1.73)	0.99299 (0.00- 5.00)

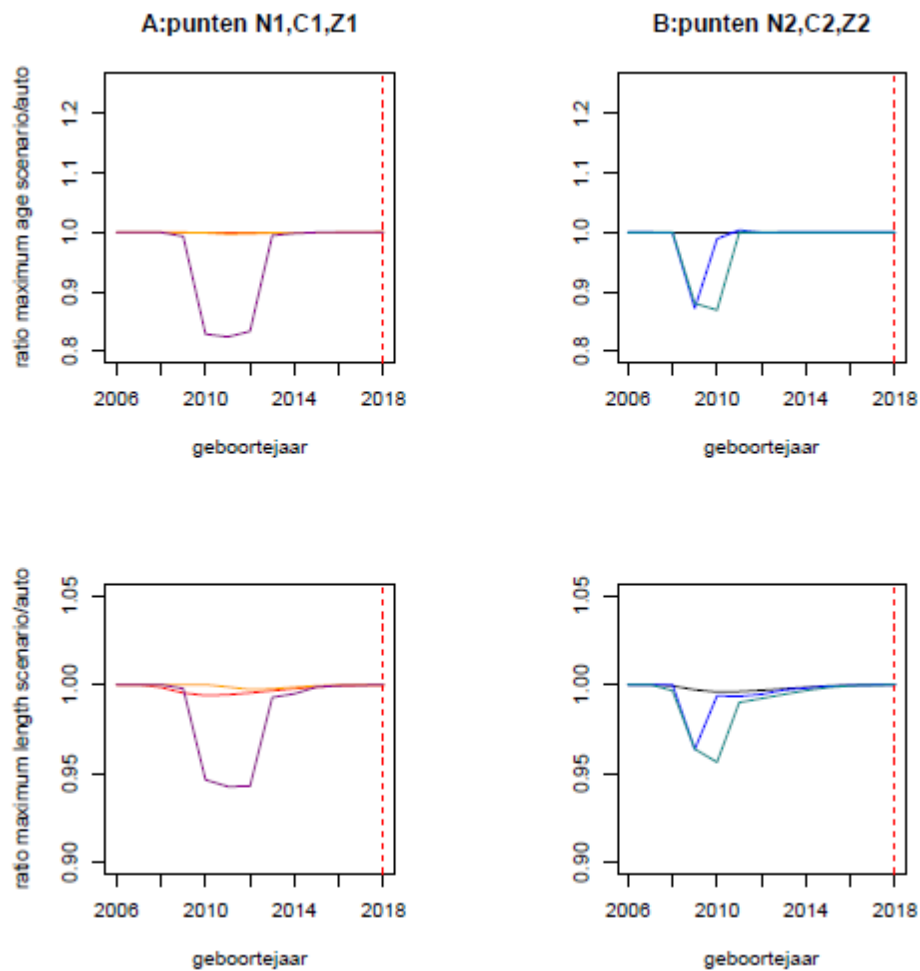
Tabel 1A: gemiddelden, minima en maxima (dagelijks) chlorofyl en slib concentratie ratio's tussen zandwin-scenario's en het autonome scenario op de 6 verschillende locaties in de periode 1-1-2013-31-12-2017.

Bijlage B. Parameterwaarden

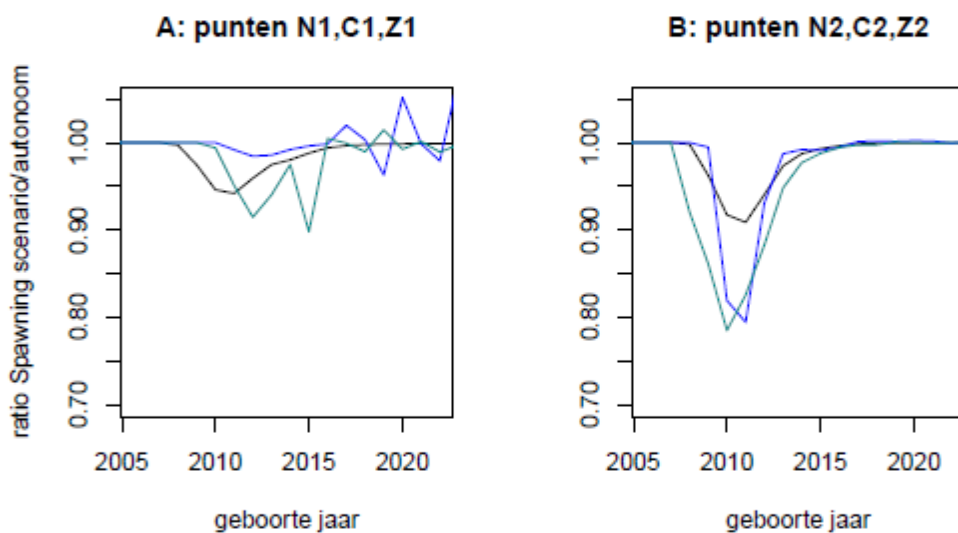
Tabel 1B: parameters van het DEB-model voor Ensis.

Parameter	waarde	eenheid	omschrijving
shape	0.1786	-	Shape factor delta_m
JXm_L2	200	J cm ⁻² d ⁻¹	Maximum surface-specific ingestion rate
Pm_L3	45.7	J cm ⁻³ d ⁻¹	Volume-specific maintenance costs
Em_L3	4005.26	J cm ⁻³	Maximum storage density
Eg_L3	3415	J cm ⁻³	Volume-specific costs of growth
Ev_L3	1350	J cm ⁻³	Volume-specific energy-content of structural tissues
Kappa	0.9731	-	Fraction of catabolic energy used for Maint+Growth
Kappa_R	0.95	-	Fraction of reproductive power that goes to reproductive reserves
Lb	0.01729	cm	Length at embryo -> juvenile transition
Lp	4.369	cm	Length at juvenile -> adult transition
SpecMass	1	g cm ⁻³	Specific mass of body structure
Mu_E	17500	J g ⁻¹	Energy content of reserves (in ash-free dry mass)
Ta	6000	K	Arrhenius temperature
Tl	278	K	Lower boundary of tolerance range
Th	306	K	Upper boundary of tolerance range
Tal	51154	K	Arrhenius temperature for rate of decrease at lower boundary
Tah	47126	K	Arrhenius temperature for rate of decrease at upper boundary
MinSPtemp	17.9	°C	Minimum temperature for spawning
GSI_upper	0.025	-	Upper GSI boundary to trigger spawning
GSI_lower	0.0005	-	Lower GSI boundary to stop spawning
DoSpawn	0	-	At start of simulation there is no spawning
rSpawn	0.02	d ⁻¹	Rate of gonad release Fraction of gonads per day
Xk	0.74	ug Chla_l ⁻¹	Half saturation constant Functional response
Yk	68	mg PIM_l ⁻¹	Half saturation constant TIM
Alpha	0.1	Chla*POM ⁻¹	Replacement ratio POM for Chlorophyll
AE	0.8	-	Assimilation efficiency (1-fraction loss due to digestion)
AFDW_WW	0.12	-	Conversion factor WW to AFDW (g AFDW / g WW)

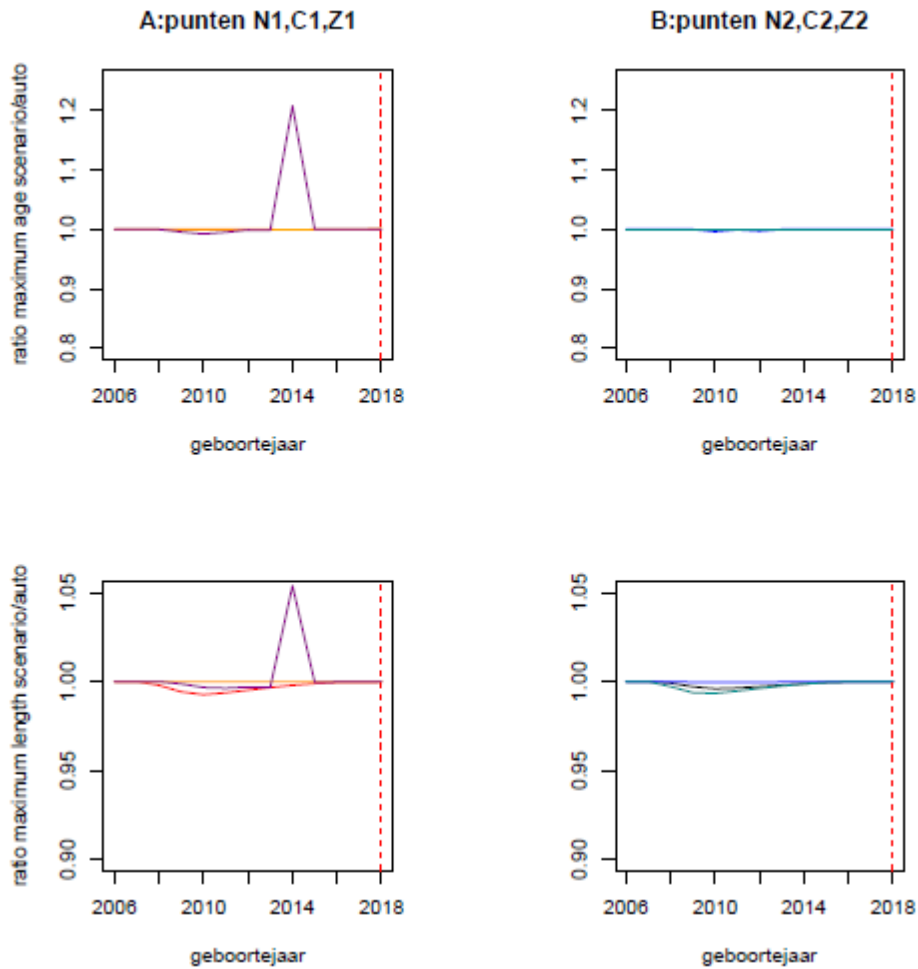
Bijlage C. vergelijking tussen zandwin-scenario's (3 t/m 7) en scenario 0.



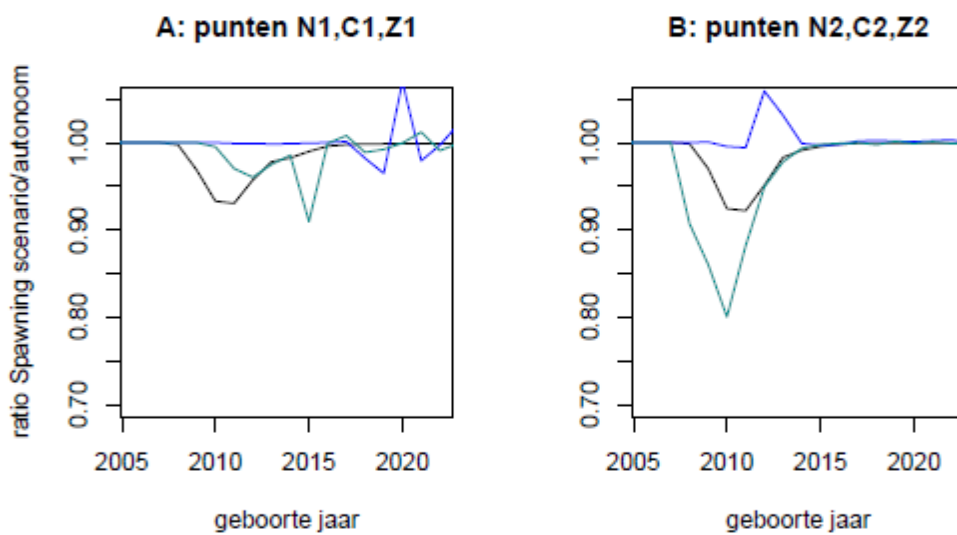
Figuur 1C: maximale leeftijd (bovenste panelen) en maximale lengte als functie van geboorte jaar (1 januari 2006 t/m 1 januari 2018) uitgedrukt als ratio tussen de waarde in **scenario 3** en de waarde in het autonome scenario 0. A: meetpunten N1 (rood, Terschelling 4km), C1 (paars, Callantsoog 2km) en Z1 (oranje, Egmond aan zee 4km). B: meetpunten (N2 (zwart, Terschelling 10km), C2 (licht blauw, Callantsoog 4km), Z2 (donker blauw, Egmond aan zee 10km).



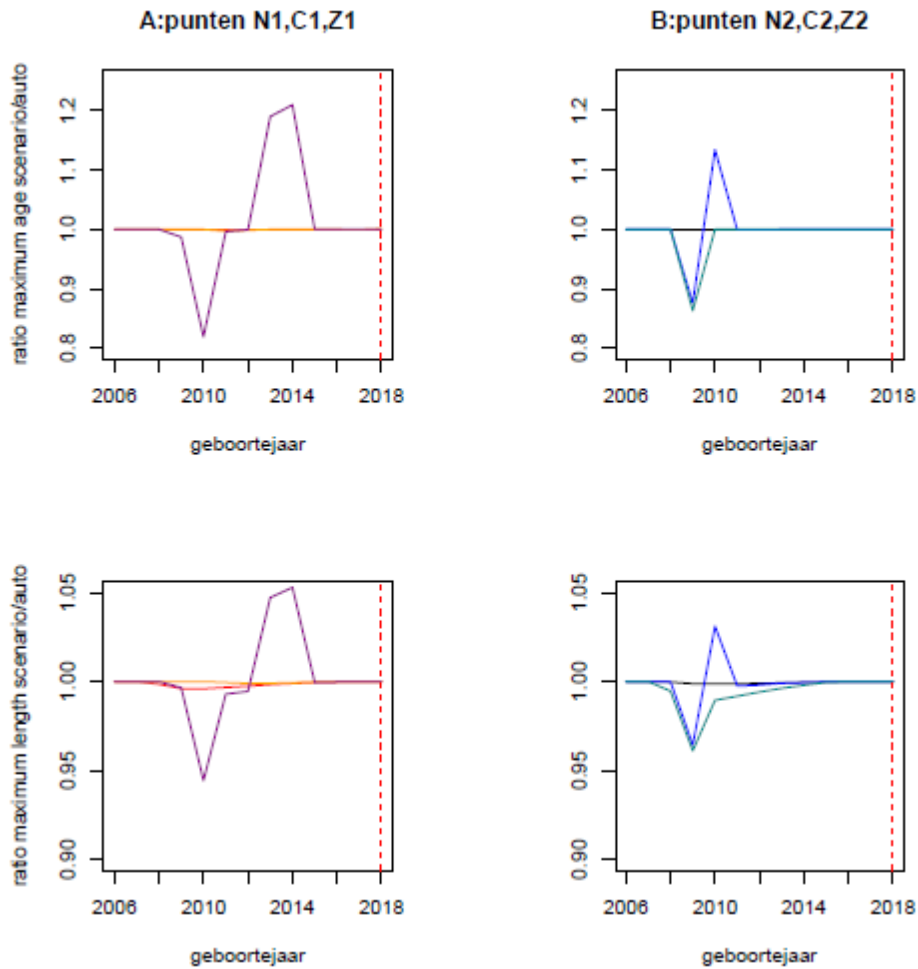
Figuur 2C: totaal aan energie gestoken in reproductie voor elk cohort van een geboorte jaar (1 januari 2005 t/m 1 januari 2023) uitgedrukt als ratio tussen de waarde in **scenario 3** en de waarde in het autonome scenario 0. A: meetpunten N1 (zwart, Terschelling 4km), C1 (licht blauw, Callantsoog 2km) en Z1 (donker blauw, Egmond aan zee 4km). B: meetpunten (N2 (zwart, Terschelling 10km), C2 (licht blauw, Callantsoog 4km), Z2 (donker blauw, Egmond aan zee 10km).



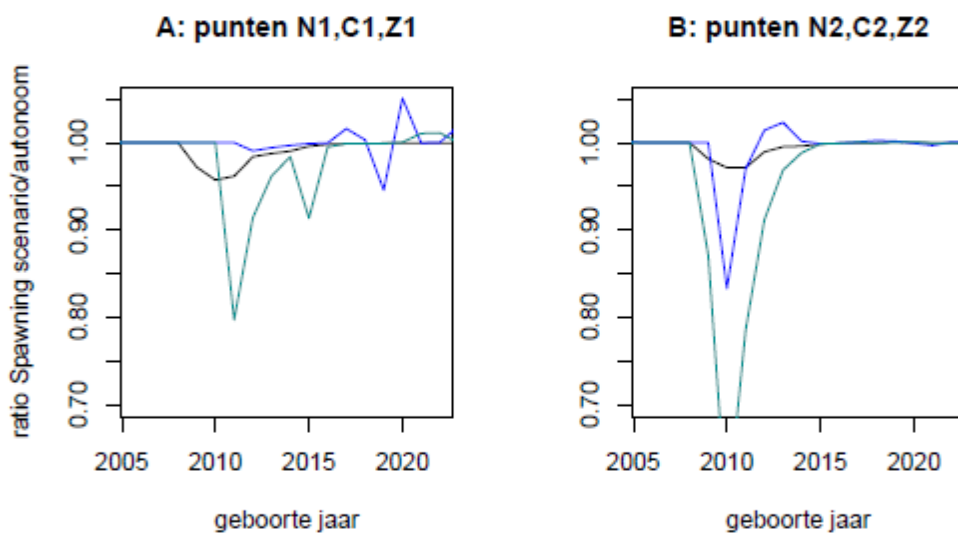
Figuur 3C: maximale leeftijd (bovenste panelen) en maximale lengte als functie van geboorte jaar (1 januari 2006 t/m 1 januari 2018) uitgedrukt als ratio tussen de waarde in **scenario 4** en de waarde in het autonome scenario 0. A: meetpunten N1 (rood, Terschelling 4km), C1 (paars, Callantsoog 2km) en Z1 (oranje, Egmond aan zee 4km). B: meetpunten (N2 (zwart, Terschelling 10km), C2 (licht blauw, Callantsoog 4km), Z2 (donker blauw, Egmond aan zee 10km).



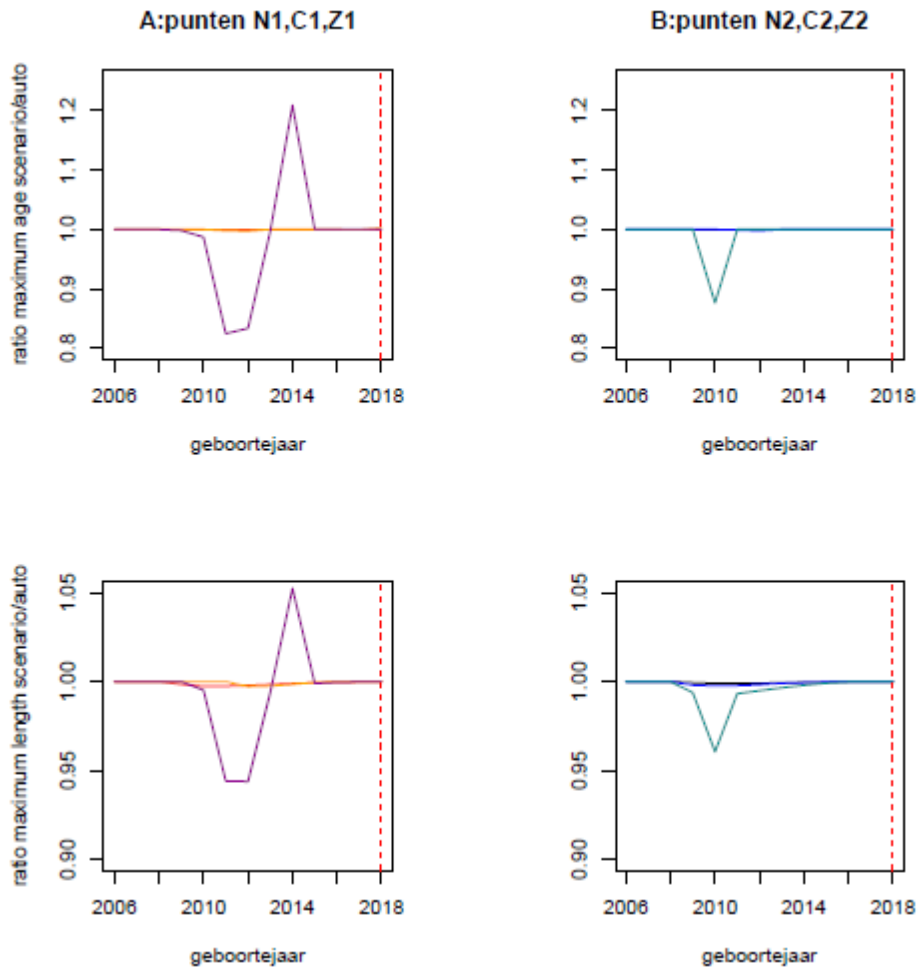
Figuur 4C: totaal aan energie gestoken in reproductie voor elk cohort van een geboorte jaar (1 januari 2005 t/m 1 januari 2023) uitgedrukt als ratio tussen de waarde in **scenario 4** en de waarde in het autonome scenario 0. A: meetpunten N1 (zwart, Terschelling 4km), C1 (licht blauw, Callantsoog 2km) en Z1 (donker blauw, Egmond aan zee 4km). B: meetpunten (N2 (zwart, Terschelling 10km), C2 (licht blauw, Callantsoog 4km), Z2 (donker blauw, Egmond aan zee 10km).



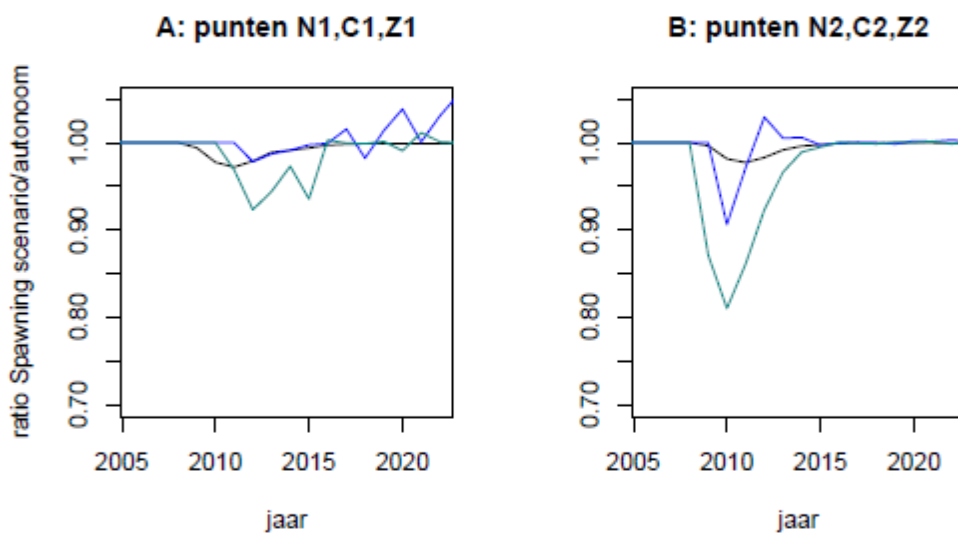
Figuur 5C: maximale leeftijd (bovenste panelen) en maximale lengte als functie van geboorte jaar (1 januari 2006 t/m 1 januari 2018) uitgedrukt als ratio tussen de waarde in **scenario 5** en de waarde in het autonome scenario 0. A: meetpunten N1 (rood, Terschelling 4km), C1 (paars, Callantsoog 2km) en Z1 (oranje, Egmond aan zee 4km). B: meetpunten (N2 (zwart, Terschelling 10km), C2 (licht blauw, Callantsoog 4km), Z2 (donker blauw, Egmond aan zee 10km).



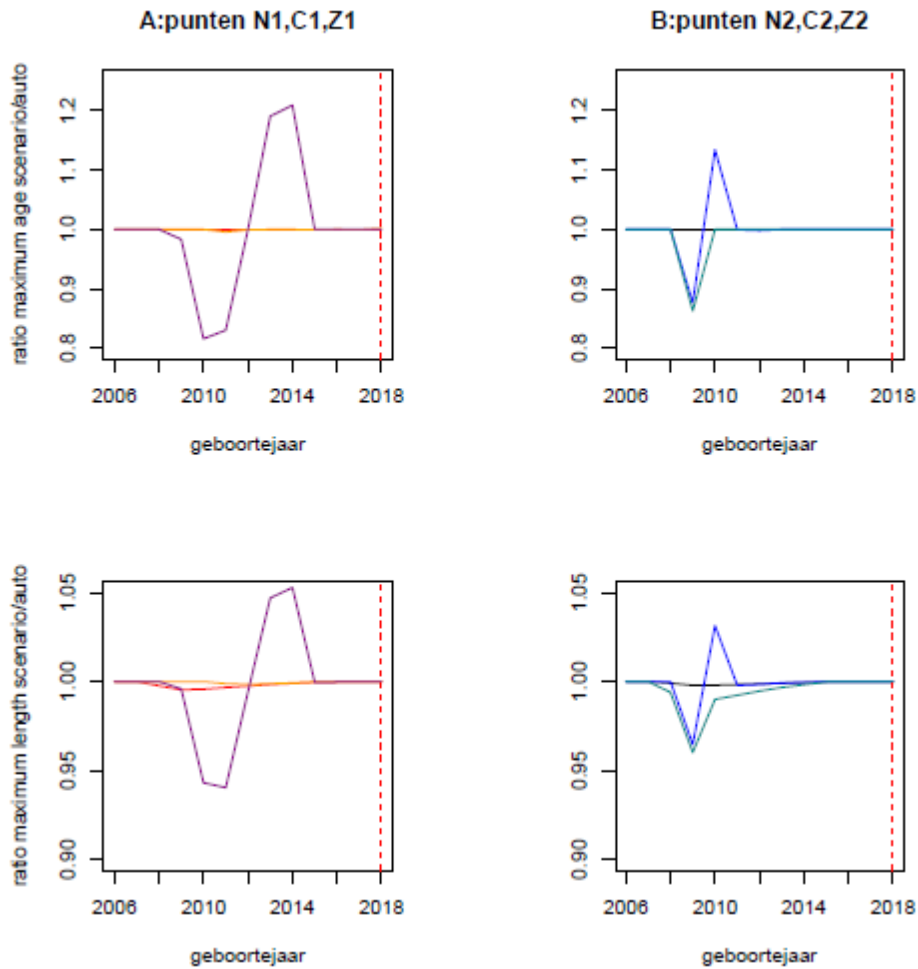
Figuur 6C: totaal aan energie gestoken in reproductie voor elk cohort van een geboorte (1 januari 2005 t/m 1 januari 2023) uitgedrukt als ratio tussen de waarde in **scenario 5** en de waarde in het autonome scenario 0. A: meetpunten N1 (zwart, Terschelling 4km), C1 (licht blauw, Callantsoog 2km) en Z1 (donker blauw, Egmond aan zee 4km). B: meetpunten (N2 (zwart, Terschelling 10km), C2 (licht blauw, Callantsoog 4km), Z2 (donker blauw, Egmond aan zee 10km).



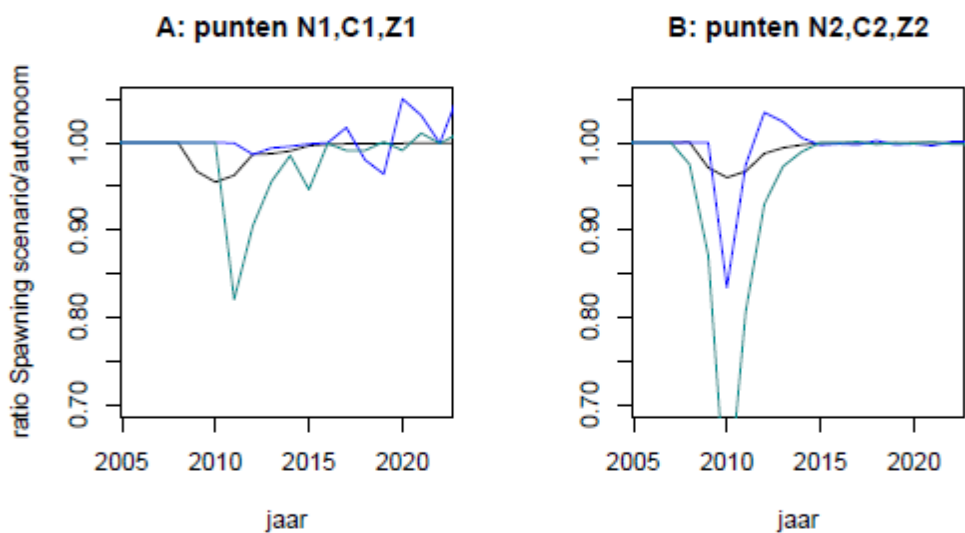
Figuur 7C: maximale leeftijd (bovenste panelen) en maximale lengte als functie van geboorte jaar (1 januari 2006 t/m 1 januari 2018) uitgedrukt als ratio tussen de waarde in **scenario 6** en de waarde in het autonome scenario 0. A: meetpunten N1 (rood, Terschelling 4km), C1 (paars, Callantsoog 2km) en Z1 (oranje, Egmond aan zee 4km). B: meetpunten (N2 (zwart, Terschelling 10km), C2 (licht blauw, Callantsoog 4km), Z2 (donker blauw, Egmond aan zee 10km).



Figuur 8C: totaal aan energie gestoken in reproductie voor elk cohort van een geboorte jaar (1 januari 2005 t/m 1 januari 2023) uitgedrukt als ratio tussen de waarde in **scenario 6** en de waarde in het autonome scenario 0. A: meetpunten N1 (zwart, Terschelling 4km), C1 (licht blauw, Callantsoog 2km) en Z1 (donker blauw, Egmond aan zee 4km). B: meetpunten (N2 (zwart, Terschelling 10km), C2 (licht blauw, Callantsoog 4km), Z2 (donker blauw, Egmond aan zee 10km).

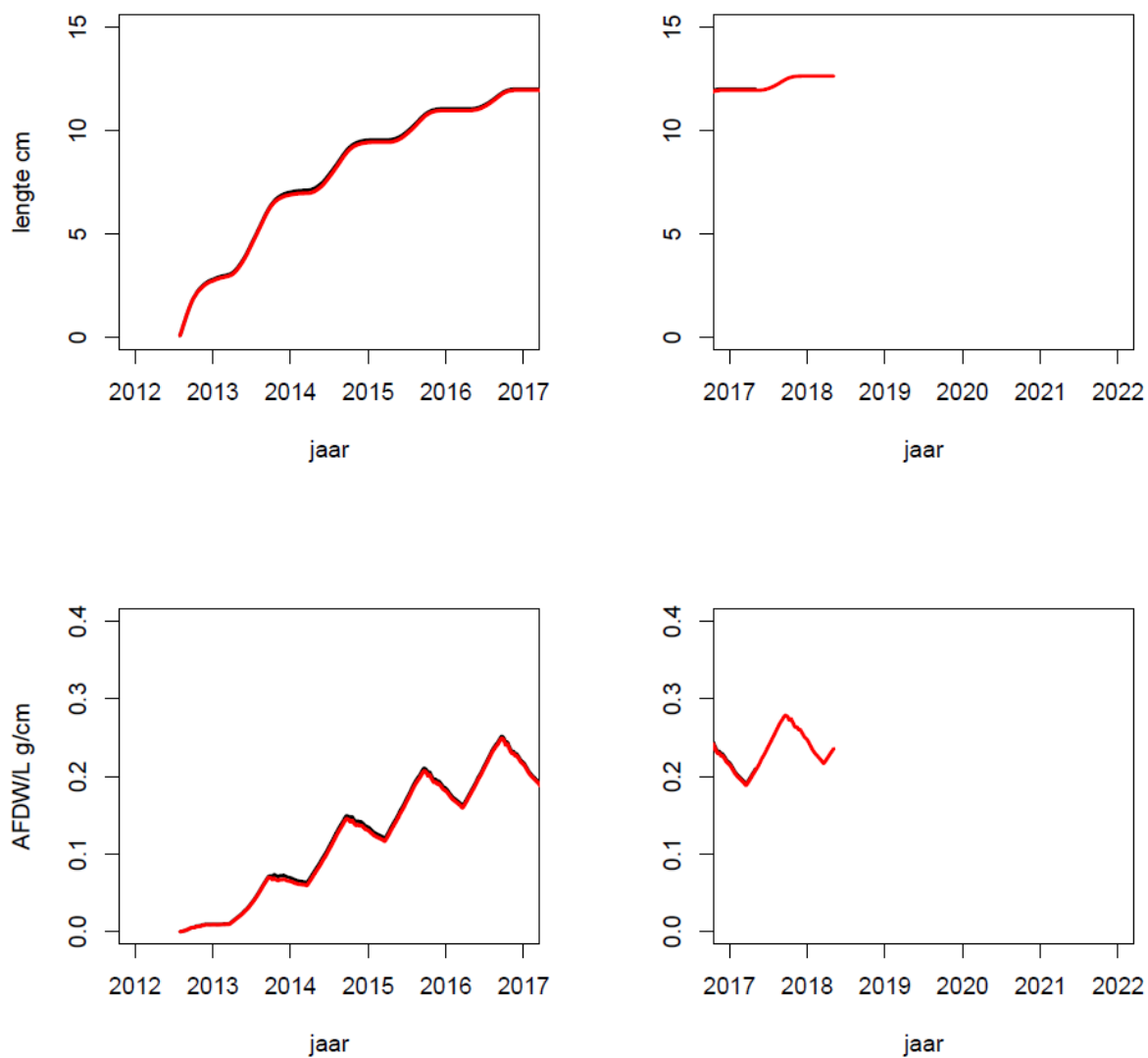


Figuur 9C: maximale leeftijd (bovenste panelen) en maximale lengte als functie van geboorte jaar (1 januari 2006 t/m 1 januari 2018) uitgedrukt als ratio tussen de waarde in **scenario 7** en de waarde in het autonome scenario 0. A: meetpunten N1 (rood, Terschelling 4km), C1 (paars, Callantsoog 2km) en Z1 (oranje, Egmond aan zee 4km). B: meetpunten (N2 (zwart, Terschelling 10km), C2 (licht blauw, Callantsoog 4km), Z2 (donker blauw, Egmond aan zee 10km).



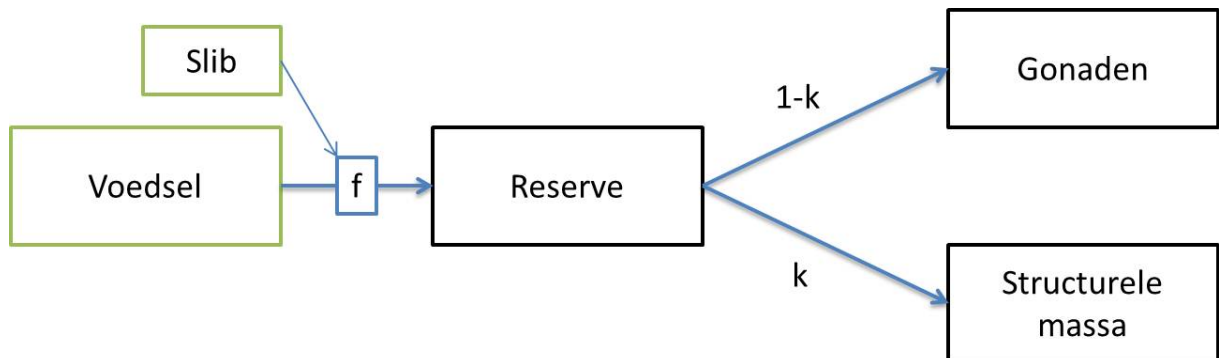
Figuur 10C: totaal aan energie gestoken in reproductie voor elk cohort van een geboorte jaar (1 januari 2005 t/m 1 januari 2023) uitgedrukt als ratio tussen de waarde in **scenario 7** en de waarde in het autonome scenario 0. A: meetpunten N1 (zwart, Terschelling 4km), C1 (licht blauw, Callantsoog 2km) en Z1 (donker blauw, Egmond aan zee 4km). B: meetpunten (N2 (zwart, Terschelling 10km), C2 (licht blauw, Callantsoog 4km), Z2 (donker blauw, Egmond aan zee 10km).

Bijlage D. verschil scenario 1 en 0 in individuele ontwikkeling



Figuur 1: Het verschil in ontwikkeling tussen **scenario 1 (rood)** en **scenario 0 (zwart)**. Bovenste panelen: Groei in lengte van individu geboren in het jaar 2013 over de tijd op locatie C1. Onderste panelen: As-vrij drooggewicht gedeeld door de lengte van het individu over de tijd.

Bijlage E. DEB-opzet



Figuur 1E: DEB-schema. Voedsel en slib leiden tot een functionele respons die reserve opbouwt dat aangewend wordt voor de opbouw van gonaden en structurele massa.