



Draagkracht van de Oosterschelde en westelijke Waddenzee voor schelpdieren

Evaluatie van veranderingen in de voedselcondities en schelpdierbestanden in relatie tot de mosselkweek in de periode 1990-2016

Auteur(s): Henrice Jansen, Pauline Kamermans, Sander Glorius en Margriet van Asch

Wageningen University &
Research rapport 096/19

Draagkracht van de Oosterschelde en westelijke Waddenzee voor schelpdieren

Evaluatie van veranderingen in de voedselcondities en schelpdierbestanden in relatie tot de mosselkweek in de periode 1990-2016

Auteur(s): Henrice Jansen, Pauline Kamermans, Sander Glorius en Margriet van Asch

Publicatiedatum: 2019

Wageningen Marine Research Yerseke, Oktober, 2019

VERTROUWELIJK Nee

Wageningen Marine Research rapport C096/19

Henrice Jansen, Pauline Kamermans, Sander Glorius, Margriet van Asch, 2019. Draagkracht van de Oosterschelde en westelijke Waddenzee voor schelpdieren - Evaluatie van veranderingen in de voedselcondities en schelpdierbestanden in relatie tot de mosselkweek in de periode 1990-2016.
Wageningen Marine Research Wageningen UR (University & Research centre), Wageningen Marine Research rapport C096/19. 46 blz.

Keywords: draagkracht, natuurwaarden, mosselteelt, Waddenzee, Oosterschelde.

Opdrachtgever: PO Mosselcultuur
T.a.v.: Addy Risseeuw
Postbus 116
4400 AC Yerseke

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/504079>

Wageningen Marine Research Wageningen UR is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Foto omslag: Jeroen Wijsman

© Wageningen Marine Research

Wageningen Marine Research, instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research, hierbij vertegenwoordigd door Dr. M.C.Th. Scholten, Algemeen directeur

KvK nr. 09098104,
WMR BTW nr. NL 8113.83.696.B16.
Code BIC/SWIFT address: RABONL2U
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

Wageningen Marine Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Wageningen Marine Research. Opdrachtgever vrijwaart Wageningen Marine Research van aanspraken van derden in verband met deze toepassing. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de uitgever of auteur.

A_4_3_1 V29 (2019)

Inhoud

Uitgebreide samenvatting	4
Begrippenlijst	7
1 Achtergrond	8
1.1 Aanleiding	8
1.2 Wat is 'Draagkracht'	8
1.3 Doelstelling	9
1.4 Leeswijzer	9
2 Aanpak	11
3 Draagkracht Analyses	13
3.1 Ontwikkeling in schelpdierbestanden en graasdruk (I)	13
3.2 Ontwikkeling in voedselcondities (II)	17
3.3 Ontwikkelingen in indicator mosselvlesgehalte (III)	18
3.4 Invloed van schelpdieren op voedsel – correlaties (IV)	20
3.5 Indices Clearance en Grazing Ratio (V)	23
4 Synthese: evaluatie draagkracht	25
4.1 Conclusies	26
4.2 Aanbevelingen	29
Dankwoord	31
Kwaliteitsborging	32
Literatuur	33
Verantwoording	36
Bijlage 1 Databronnen en opwerking van Schelpdierinventarisaties en voedselcondities	37
Schelpdierbestanden	37
Voedselcondities	39
Bijlage 2 Seizoensvariatie in voedsel en correlaties met vleesgehalte	42
Bijlage 3 Nutriëntenconcentraties in Oosterschelde en Waddenzee	44

Uitgebreide samenvatting

Het KOMPRO programma (Kennis en Onderzoek voor de Mossel Productie) richt zich op de vraag welke invloed de mosselkweek heeft op het ecosysteem-functioneren. Het huidige onderzoek is uitgevoerd binnen dit programma en bestudeert de draagkracht voor schelpdieren in de Oosterschelde en in de kombergingen Vliestroom en Marsdiep in de westelijke Waddenzee. Deze studie richt zich daarbij op het beschrijven van de invloed die schelpdieren, en in het bijzonder mosselen, uitoefenen op hun voedselbron, de microalgen (fytoplankton). Deze kennis wordt vervolgens gebruikt om duiding te geven aan de discussies rondom draagkracht van het Oosterschelde en het Waddenzee ecosysteem.

In onderzoek en het beleid worden verschillende betekenissen aan de term 'draagkracht' gegeven. Vaak wordt de term 'draagkracht' gebruikt bij vraagstukken omtrent de interacties tussen soorten en de vraag in hoeverre menselijk handelen, zoals de mosselkweek, het ecosysteem beïnvloedt. In de context van duurzaam beheer wordt draagkracht beschreven als de maximale bestandsgrootte zonder dat die een wezenlijke negatieve invloed heeft op het ecosysteem-functioneren. Beide definities kenmerken zich door een brede omschrijving, die op meerdere wijzen ingevuld kan worden afhankelijk van de ecosysteem-processen of soort-groepen waarin men geïnteresseerd is. In deze studie definiëren we 'draagkracht' als de maximale bestandsgrootte van schelpdieren (wild en kweek tezamen) welke geen negatieve effecten heeft op de productie en het aanbod van micro-algen. De doorvertaling naar de beschikbaarheid van schelpdieren als voedsel voor vogels (ook een vorm van draagkracht) valt buiten de scope van de studie.

Uit eerdere studies bleek dat de graasdruk van schelpdieren op de voorraad micro-algen in de Oosterschelde hoog is. Mogelijk is deze zodanig hoog dat daardoor de primaire productie (productie van micro-algen) wordt geremd. In dat geval is er dus sprake van overbegrazing, en is daarmee de draagkracht bereikt of overschreden (Smaal et al 2013). Naast discussies over het ecosysteem functioneren hebben deze uitkomsten ook gevolgen gehad voor de ontwikkeling van commerciële schelpdieractiviteiten in de Oosterschelde. Voor de Waddenzee stelden Kamermans et al. (2014) in deze context dat grootschalige opschaling van mosselzaadinvalinstallaties (MZIs) mogelijk een negatief effect zou kunnen hebben op de draagkracht. De voorliggende studie richt zich daarom op de volgende vragen:

- 1) Is er sprake van overbegrazing door schelpdieren in de Oosterschelde en de Westelijke Waddenzee? Hierbij ligt de nadruk op de vraag hoe de ontwikkelingen zich de afgelopen jaren (2010-2016) voortgezet hebben, en
- 2) Hoe groot is de bijdrage van kweekmosselen aan de totale begrazing?

De interacties tussen schelpdieren en de voedselbron (micro-algen) kennen meerdere feedback mechanismen, zoals via filtratie (graasdruk) en nutriënten regeneratie. Daarnaast kunnen zowel de graasdruk als micro-algen door onafhankelijke factoren beïnvloed worden, denk daarbij aan bijv. predatie op schelpdieren door vogels of aan nutriëntenbeschikbaarheid. Om deze redenen is het lastig de ontwikkelingen in 'draagkracht' in één parameter te vangen. De studie is daarom opgebouwd uit een aantal deelanalyses die er op gericht zijn om mogelijke trends in graasdruk (analyse I) en voedselcondities (analyses II & III) over de periode 1990-2016 te identificeren. Vervolgens zijn deze datareeksen gebruikt om correlaties (analyse IV) en indices (Clearance & Grazing Ratio, analyse V) te berekenen waarbij de verhouding tussen graasdruk en voedselbeschikbaarheid, en dus draagkracht, uitgedrukt wordt. De correlaties laten zien of er sprake is van een directe druk van de schelpdierbestanden op de voedselbeschikbaarheid, en de indices geven de mate weer voor het tempo waarmee het voedsel door de schelpdieren uit het systeem wordt onttrokken. De Clearance Ratio refereert daarbij aan de voedselbeschikbaarheid van algen die uit de Noordzee aangevoerd worden (import), en de Grazing Ratio aan de voedselbeschikbaarheid van algen die in de Oosterschelde/Waddenzee zelf geproduceerd worden (interne productie). De ASC (Aquaculture Stewardship Council) heeft waarden voor de Clearance (>1) en Grazing Ratio (>3) opgesteld welke gelden als minimale grenswaarde voor duurzame productie, het is hierbij van belang altijd naar de combinatie van de Clearance Ratio én de Grazing Ratio te kijken.

(1) *Is er momenteel sprake van overbegrazing door schelpdieren in de Oosterschelde en de Westelijke Waddenzee?*

Op basis van de beschikbare data en bovengenoemde analyses is het niet waarschijnlijk dat de schelpdieren in de Oosterschelde dan wel in de Westelijke Waddenzee de micro-algen over begrazen en daarmee de productiviteit van de (productie)ecosystemen, noch het actuele voedselaanbod, wezenlijk beïnvloeden. Dit is een indicatie dat de draagkracht niet overschreden wordt.

Oosterschelde: Sinds begin jaren '90 varieert de graasdruk van alle schelpdiersoorten tezamen van jaar tot jaar, maar een langjarige trend is afwezig. Het oesterbestand wordt pas vanaf 2012 jaarlijks bemonsterd, en de bemonsteringsmethode aangepast om een betere randomisatie te garanderen. Op basis hiervan heeft een herberekening van de historische bestandsschattingen plaats gevonden. Dit heeft er in geresulteerd dat het wilde oesterbestand nu 2 tot 3 maal lager ingeschat wordt dan eerder gerapporteerd in Smaal et al. (2013). Het (wilde) oesterbestand is sinds 2010 licht gedaald, mogelijk als gevolg van de oesterboorder, het oester herpes virus en/of het actief wegvissen. Ook het kokkelbestand is sinds 2010 licht afgenomen. Kweekmosselen vormen ongeveer 1/3 van het schelpdierbestand en nemen de helft van de graasdruk voor hun rekening, terwijl de oesters ongeveer 25% van de graasdruk bepalen (gekweekte oesters ~5%), en kokkels minder dan 20%.

Tot 2010 werd een afname in de productie van micro-algen (primaire productie) gerapporteerd (Smaal et al 2013), maar het is door een gebrek aan gegevens onbekend hoe de situatie zich na 2010 ontwikkeld heeft. Op basis van voedselconcentraties en mosselvleesgehaltes lijkt een verdere afname van primaire productie in de Oosterschelde echter niet waarschijnlijk. Een toename in mosselvleesgehalte duidt er zelfs op dat de voedselbeschikbaarheid verbeterd is. In de Oosterschelde als geheel is de interne productie van algen belangrijker voor de voedselbeschikbaarheid dan de aanvoer vanuit de Noordzee. Daarom is de Grazing Ratio (GR) relevanter dan de Clearance ratio (CR). Door gebrek aan primaire productie gegevens kan de GR ná 2010 niet berekend worden. De GR vóór 2010 ligt echter een stuk boven de grenswaarde zoals gesteld voor duurzame schelpdierkweek, en de graasdruk is niet wezenlijk veranderd. De afwezigheid van correlaties tussen graasdruk en voedsel, en ontwikkelingen in indices geven aan dat het niet waarschijnlijk is dat de schelpdieren het micro-algen bestand momenteel over begrazen.

Waddenzee-Marsdiep: De schelpdierbestanden, en daarmee de graasdruk, zijn in de periode 2008-2012 sterk toegenomen. De toename in het schelpdierbestand valt echter niet gelijk met een afname in voedselconcentraties (rond 2000), en de (gemodelleerde) primaire productie is variabel maar vertoont geen duidelijke toe of afname op lange termijn. Hierdoor lijkt het niet waarschijnlijk dat er momenteel overbegrazing optreedt. Er zijn echter geen recente data voor mosselvleesgewichten beschikbaar uit het Marsdiep, waardoor er geen correlaties bepaald konden worden. De indices geven aan dat met name de interne voedselproductie, en niet de uitwisseling met water en voedsel vanuit de Noordzee, belangrijk is voor de voedselbeschikbaarheid in het gehele kombergingsgebied.

De toenemende graasdruk, in combinatie met een Grazing Ratio die net boven de grenswaarde voor duurzame productie ligt, zijn redenen om aan te bevelen om ontwikkelingen structureel te blijven volgen de aankomende jaren. Daarbij dient specifiek aandacht besteed te worden aan de graasdruk van de strandgaper, omdat deze in de huidige berekeningen de belangrijkste bijdrage levert aan de totale graasdruk (in sommige jaren >50%). Wanneer de strandgaper verwijderd wordt uit de berekening voor de Grazing Index ligt de waarde boven de grenswaarde. Op dit moment is er gebruik gemaakt van schattingen uit de literatuur voor de voedselopnamesnelheden (CR) voor de strandgaper. Hier is echter maar weinig informatie over beschikbaar en deze snelheden zijn nooit specifiek voor de Waddenzee bepaald. Het is daarom mogelijk dat de huidige voedselopnamesnelheden en daarmee graasdruk een overschatting weergeven.

Waddenzee-Vliestroom: De vleesgehaltes zijn hoog, wat aangeeft dat de voedselbeschikbaarheid in het (productie)systeem niet in het geding is. De Vliestroom toont een lagere primaire productie dan in het Marsdiep, maar de concentratie aan micro-algen is vergelijkbaar. De lagere primaire productie is waarschijnlijk het gevolg van een lagere nutriëntenconcentratie. De relatief hoge algenconcentratie kan duiden op import vanuit de Noordzee. Door de sterke concentratie van mosselpercelen nabij de zeegaten, zijn lokale processen in de Vliestroom mogelijk belangrijker dan de dynamiek van het gehele kombergingsgebied. Hierdoor zijn de Clearance en Grazing indices berekend voor het gehele kombergingsgebied mogelijk minder geschikt om ontwikkelingen op voedselbeschikbaarheid te duiden.

(2) Hoe groot is de bijdrage van mosselkweek aan de totale begrazing?

Uit het bovenstaande blijkt dat er geen aanwijzingen zijn dat er overbegrazing optreedt door de aanwezige schelpdierbestanden. Vanuit deze bevindingen lijkt de vraag hoe groot de bijdrage van kweekmosselen aan de totale graasdruk is, voor draagkrachtvraagstukken minder relevant. Immers, wanneer er geen sprake is van overbegrazing van alle schelpdieren tezamen, zullen ook de kweekmosselen (die deel uitmaken van het schelpdierbestand) geen negatieve invloed uitoefenen.

Een kort overzicht van de bijdrage van de mosselkweek aan het schelpdierbestand en de graasdruk: Het broedvalsucces in de Oosterschelde is laag. De gekweekte mosselen op percelen zijn daarom afkomstig uit de westelijke Waddenzee en van de MZIs in de Voordelta en Oosterschelde. In de Waddenzee is de Vliestroom het belangrijkste gebied voor de opkweek van consumptiemosselen, en het Marsdiep wordt veelal gebruikt voor de opkweek van zaad tot halfwas mosselen. Kweekmosselen dragen substantieel bij aan de grootte van het totale schelpdierbestand; in de Oosterschelde betreft dit ongeveer 1/3 en in de westelijke Waddenzee tot 1/5 van het totale bestand. Wanneer we bestands grootte vertalen naar graasdruk zien we dat in de Oosterschelde de bijdrage van mosselkweek aan de totale graasdruk groter is dan verwacht op basis van bestands grootte; ongeveer de helft van het totaal gefiltreerde voedsel wordt door de kweekmosselen opgegeten. Dit komt omdat mosselen relatief hard filteren ten opzichte van andere in de Oosterschelde aanwezige schelpdieren. Zoals hierboven beschreven leidt dit niet tot overbegrazing. In de Waddenzee wordt het totaal gefiltreerde voedsel in grote mate bepaald door de activiteit van de strandgaper. Die wordt per biomassa eenheid ongeveer 2.5 maal hoger geschat dan die van mosselen, met als gevolg dat de bijdrage van kweekmosselen in de totale filtratieactiviteit zelfs wat lager is dan de bestands grootte zou doen vermoeden. Ook in de Westelijke Waddenzee is het niet waarschijnlijk dat overbegrazing optreedt.

Aanbevelingen

Deze studie is gebaseerd op verschillende datareeksen en analyses, en ondanks dat veel data gefragmenteerd beschikbaar is, kunnen we door de verschillende dataserieën naast elkaar te leggen wel een beeld schetsen van de relatie tussen voedselbeschikbaarheid en schelpdierbestanden, en dus de ontwikkelingen in draagkracht. De kennis daarover kan worden verbeterd. Dit is van belang gezien de discussies die spelen rond vragen over de draagkracht van de Oosterschelde en de westelijke Waddenzee voor onder meer de mosselkweek. Ook op het vlak van empirische metingen zijn verbeteringen mogelijk, zoals betere schattingen van de bestands grootte en graasdruk van strandgapers, bepalen van graasdruk zoöplankton, het meten van primaire productie in zowel Oosterschelde en Waddenzee, het bepalen van kwaliteit van de micro-algen (soorten en grootteklasse) en inzetten op onafhankelijke metingen van mossel vleesgehalte. Daarnaast kunnen ook de rekenkundige analyses worden aangescherpt door de ruimtelijke en temporele schaal van Clearance en Grazing Index beter in de berekeningen mee te nemen, en daarmee recht te doen aan de grote variatie die de (productie)ecosystemen in de Oosterschelde en de Waddenzee in dezen kenmerkt.

Begrippenlijst

Chla	Chlorofyll a, is de maat voor voedselconcentratie voor filtrerende schelpdieren. Chla is een pigment dat aanwezig is in micro-algen
Clearance Rate	Snelheid waarmee schelpdieren deeltjes uit het water filteren (in mg voer per uur)
Commerciële bestanden	Gelijk aan gekweekte bestanden
Correlatie	Is de (statistische) relatie/verband tussen twee variabelen
Cumulatief	De optelsom van meerdere factoren.
Draagkracht	In de context van duurzaam beheer wordt draagkracht veelal beschreven als de maximale bestandsgrootte van een soort zonder dat die een wezenlijke invloed heeft op het ecosysteem functioneren die als negatief wordt beoordeeld. Draagkracht voor schelpdieren wordt in deze studie beschreven aan de hand van het effect dat zij uitoefenen op hun voedselbronnen, in dit geval het fytoplankton (micro-algen)
Empirisch	Waarnemingen gebaseerd op veldstudies of experimenten (in tegenstelling tot literatuuronderzoek of modelleringstudies)
Filtratiedruk	Gelijk aan graasdruk. Beide termen worden gebruikt
Fytoplankton	Microscopisch kleine marine algen. Ook wel uitgedrukt als micro-algen
Gekweekte bestanden	De biomassa schelpdieren die gehouden worden op percelen of kweekunits (MZI, hangcultuur, oestertafels) met als doel deze te oogsten voor consumptie
Graasdruk	De hoeveelheid algen die alle schelpdieren tezamen uit het water filteren binnen een bepaalde tijdseenheid (bijvoorbeeld 1 dag)
Grenswaarde	Maximale of minimale waarde, voordat er (negatieve) effecten op kunnen treden. In de draagkracht context refereert dit naar de minimale waarde voor 'Clearance / Grazing Ratios', maar dit kan ook de maximale schelpdierbiomassa beschrijven voordat de draagkracht overschreden wordt. De term drempelwaarde wordt ook wel gebruikt (in het engels TPC, Threshold for Potential Concern)
Indicator	Een (empirische) parameter die een bepaalde status aangeeft. Bijvoorbeeld 'Primaire productie' of 'mosselvleesgewicht' geven een status van de voedselcondities weer
Index (indices)	Een berekende waarde, of verhouding tussen parameters, die een status aangeeft. Bijvoorbeeld Clearance & Grazing ratio's geven de mate weer voor het tempo waarmee het voedsel door de schelpdieren uit het systeem wordt onttrokken.
Komberging	Getijbekkens waarin het getijdenwater dat via een zeegat naar binnenstroomt geborgen wordt. In de Westelijke Waddenzee zijn het Marsdiep en Vliestroom relevant voor de mosselkweek
Micro-algen	Microscopisch kleine aquatische algen. Ook wel fytoplankton genoemd
Mosselvleesgehalte	Percentage mosselvlees ten opzichte van het totaal gewicht van de mossel (inclusief schelp)
Primaire Productie	De snelheid waarmee micro-algen geproduceerd (vermeerderd) worden
Proxy	Een parameter die indirect iets over een andere parameter zegt. Mosselvleesgewicht is bijvoorbeeld een proxy voor voedselbeschikbaarheid
Voedselconcentratie	Hoeveelheid algen die op het moment van meten in het water aanwezig zijn.
Voedsel productie	De snelheid waarmee micro-algen geproduceerd (vermeerderd) worden. Wordt ook wel aangegeven als 'primaire productie'.
Wilde bestanden	De biomassa schelpdieren die van nature voorkomen
Zoöplankton	Kleine aquatische diertjes die in de waterkolom drijven
Zwevend Stof	Mate voor aantal deeltjes in waterkolom (combinatie van oa fytoplankton, detritus, en slib deeltjes)

Begrippen gerelateerd aan indices

Clearance time	Tijd die schelpdieren nodig hebben om het gehele volume van het bekken/komberging te filteren
Clearance ratio	Geeft aan hoe lang de schelpdieren er over doen om de micro-algen die van buiten het systeem aangevoerd worden uit het water te filteren (import uit Noordzee)
Grazig Ratio	Geeft aan hoe lang de schelpdieren er over doen om de micro-algen die binnen het systeem geproduceerd worden uit het water te filteren (primaire productie)
Production time	Tijd die er nodig is om de algen productie te verdubbelen
Residence time	Tijd die nodig is het water om een bekken of komberging te verversen. In het Nederlands: verversingstijd

1 Achtergrond

1.1 Aanleiding

Mosselvisserij en mosselkweek vindt plaats in het open water van de Oosterschelde en de Waddenzee, dit zijn beschermde gebieden waar veel andere partijen ook belangen hebben. Duurzame schelpdierkweek houdt in dat het economisch rendeert, maar ook dat het zo min mogelijk negatieve gevolgen heeft voor de natuur. Thema III van het KOMPRO programma (Kennis en Onderzoek voor de Mossel Productie) is gericht op de vraag in hoeverre de mosselkweek bijdraagt aan of impact heeft op de natuurwaarden en het ecosysteem functioneren van de Westelijke Waddenzee en de Oosterschelde. Draagkracht is daarbij één van de facetten die onderzocht wordt. Kennis voortkomend uit dit thema draagt bij aan het ontwikkelen van maatschappelijk verantwoord ondernemerschap (Licence to Produce) en daarmee acceptatie door de samenleving, en is toeleverend voor discussies in het kader van het Mosselconvenant.

In 2013 concludeerde Smaal et al. dat in het eerste decennium van deze eeuw overbegrazing door schelpdieren optrad in de Oosterschelde. Dit geeft aan dat de draagkracht bereikt was en schelpdieren een significante impact uitoefenen op het ecosysteem functioneren. Ook Kamermans et al. (2014) lieten zien dat de draagkracht bereikt is in jaren met een relatief groot schelpdierbestand. Naast discussies over het ecosysteem functioneren hebben deze uitkomsten ook gevolgen gehad voor de ontwikkeling van commerciële schelpdieractiviteiten in de Oosterschelde. Daarnaast zijn er voor de Waddenzee enkele jaren geleden modelberekeningen uitgevoerd om de ecologische effecten van opschaling van MZIs te voorspellen (Kamermans et al 2014). Dit liet zien draagkracht momenteel niet onder druk staat, maar dat dit bij grootschalige opschaling weldegelijk het geval kan zijn (Kamermans et al 2014).

De huidige studie richt zich op de vraag hoe de ontwikkelingen in draagkracht zich de afgelopen jaren voortgezet hebben in de Oosterschelde en in de Waddenzee, en wat hierbij de rol is van de mosselkweek.

1.2 Wat is 'Draagkracht'

Draagkracht is een complex begrip, dat in verschillende contexten gebruikt wordt en waar vele definities voor gelden (Inglis et al., 2000). Ook in beleids- en beheers discussies wordt de term vaak gebruikt, daarbij is het van belang een heldere definitie te gebruiken om een duidelijk kader te schetsen wat er onder 'draagkracht' in iedere de specifieke studie/situatie verstaand wordt. In de context van duurzaam beheer wordt draagkracht veelal beschreven als de bestandsgrootte van een soort zonder dat die een wezenlijke invloed heeft op het ecosysteem functioneren die als negatief beoordeeld wordt. Daarbij kan draagkracht echter nog steeds op verschillende manieren bestudeerd worden, en is afhankelijk van de ecosysteem processen of soort-groepen waar naar gekeken wordt. Draagkracht voor schelpdieren wordt vaak beschreven aan de hand van het effect dat zij uitoefenen op hun voedselbronnen, in dit geval het fytoplankton (micro-algen). In de huidige studie definiëren we draagkracht daarom als de maximale bestandsgrootte van schelpdieren welke geen negatieve effecten heeft op micro-algen populatie. Het is niet eenvoudig om de draagkracht voor schelpdieren vervolgens te vertalen naar draagkracht voor bepaalde vogels of vissen (waarbij schelpdieren als voedselbron gelden), en deze interacties worden in de huidige studie dan ook niet bestudeerd.

De balans tussen de beschikbaarheid van algen en de filtratiedruk door schelpdieren bepaald in deze studie dus de draagkracht voor schelpdieren (zie figuur 1). De beschikbaarheid van algen wordt daarbij enerzijds bepaald door de (interne) groei en vermeerdering van algen in de Oosterschelde of Waddenzee. De interne groei en vermeerdering van algen wordt ook wel primaire productie genoemd, en deze is afhankelijk van de temperatuur, hoeveelheid licht en voedingsstoffen, zoals stikstof, fosfaat

en silicaat. Daarnaast wordt de beschikbaarheid van algen bepaald door de (externe) import van algen uit de Noordzee-kustzone, en is daarmee afhankelijk is van de uitwisseling (verversing) van het water.

Schelpdieren filteren deze algen vervolgens uit het water. Kweekmosselen maken een belangrijk deel uit van het totale schelpdierbestand in de Oosterschelde en de Waddenzee, en wanneer we de graasdruk (hoeveelheid gefiltreerde algen) van schelpdieren op micro-algen bepalen is het dan ook van belang specifiek te kijken naar de verdeling tussen kweek en natuurlijke schelpdierpopulaties. Boven een bepaalde graasdruk kan de hoeveelheid aanwezige algen zo laag worden dat er te weinig algen zijn die voor algengroei kunnen zorgen, zelfs als er voldoende voedingsstoffen zijn. In deze situatie is de draagkracht bereikt of overschreden. Schelpdiergroei zal dan afnemen, maar ook de voedselbeschikbaarheid voor andere algen-eters, zoals bijvoorbeeld zoöplankton, wordt beïnvloed. Kamermans et al (2014) liet zien dat in jaren wanneer het schelpdierbestand in de Oosterschelde hoog was dit resulteerde in een relatief lage conditie van de mossel en minder groei van de kokkel. Voordat een situatie van overbegrazing bereikt wordt kunnen schelpdieren echter ook een positief effect hebben op de algengroei (primaire productie), doordat de uitscheiding van ammonia door de schelpdieren een voedingsbron is voor algen. Dit proces wordt ook wel het positieve terugkoppelingsmechanisme genoemd (Newell 2004, Smaal 2017, Jansen et al 2019), en dit proces werd in de modelsimulaties naar opschaling van MZIs in de Waddenzee aangetoond (Kamermans et al 2014).

Veranderingen in de graasdruk, voedselbeschikbaarheid en primaire productie zijn dan ook goede indicatoren voor de draagkrachtontwikkelingen in een (productie)ecosysteem (Smaal 2017).

1.3 Doelstelling

Deze studie concentreert zich op de vraag of de mosselkweek significante impact heeft op het ecosysteem functioneren, en wordt onderzocht aan de hand van een inventarisatie van de draagkracht van de Waddenzee (Marsdiep en Vliestroom kombergingen) en de Oosterschelde.

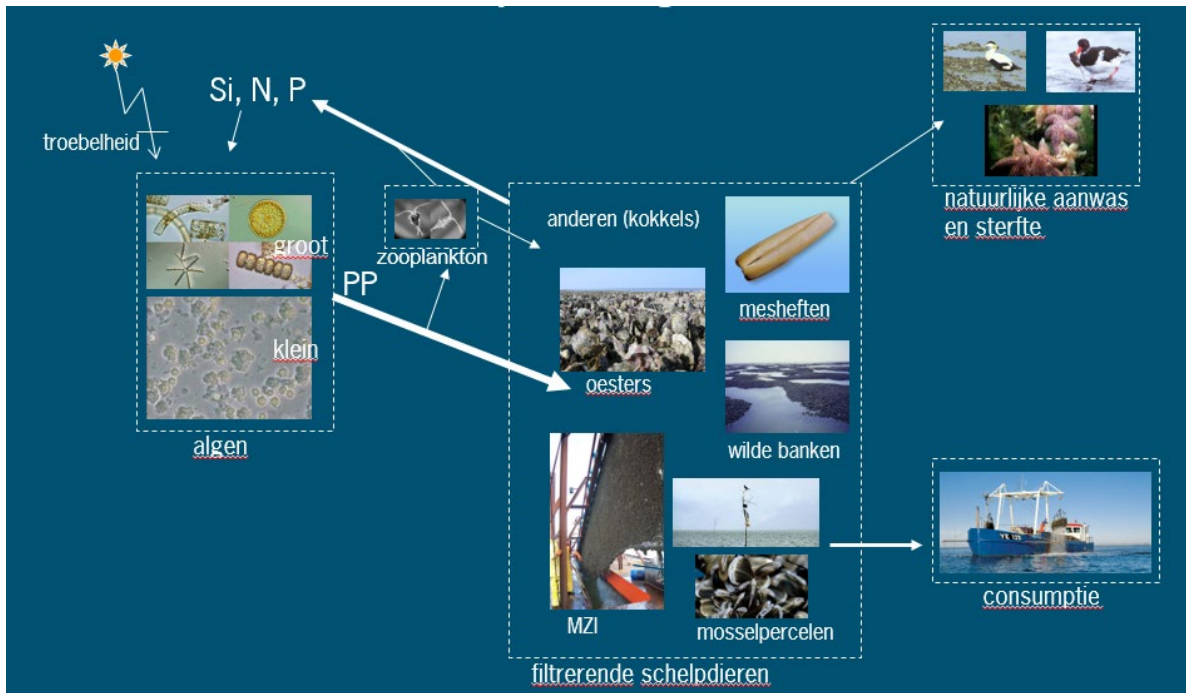
Sinds de draagkracht evaluaties door Smaal et al (2013) voor de Oosterschelde en Kamermans et al (2014) voor de Waddenzee hebben er veranderingen plaatsgevonden in beide ecosystemen die direct van invloed kunnen zijn op de draagkracht. Smaal et al (2013) concludeerden dat overbegrazing meest waarschijnlijk het effect was van het toegenomen oesterbestand. Momenteel is echter het oesterherpes virus actief, heeft de oesterboorder zijn intrede gedaan en zijn er gerichte acties geweest om oesters weg te vissen, wat mogelijk tot een afname in het oesterbestand en daarmee een verlaagde filtratiedruk heeft geleid. In de Waddenzee is het bestand aan strandgapers en kokkels toegenomen (Troost et al. 2019). Met het huidige rapport geven we een update van de draagkracht ontwikkelingen voor schelpdieren in de Oosterschelde en Waddenzee. Voor beide systemen wordt er gekeken naar het totale schelpdierbestand en wordt het aandeel van de mosselkweek uitgelicht.

Specifiek houdt dit in dat de huidige studie zich zal richten op de volgende vraagstellingen:

- (1) is het waarschijnlijk dat er momenteel overbegrazing van micro-algen plaats vindt door schelpdieren en daarmee de draagkracht overschreden wordt?
- (2) Hoe groot is de bijdrage van mosselkweek in de totale begrazing in de Oosterschelde en de kombergingsgebieden in de westelijke Waddenzee?

1.4 Leeswijzer

De algemene opzet en aanpak van deze studie wordt in hoofdstuk 2 uiteengezet. Omdat de evaluatie van draagkracht uitgevoerd wordt aan de hand van een serie analyse-stappen (trend analyse, correlaties en indices), wordt in hoofdstuk 3 voor iedere stap de specifieke methode uitgewerkt inclusief de resultaten en een discussie over de geschiktheid van de toegepaste analyse. In hoofdstuk 4 vindt de synthese van de resultaten uit de analyse stappen plaats en worden conclusies getrokken over de ontwikkeling van draagkracht in de Oosterschelde en de Waddenzee in relatie tot mosselkweekactiviteiten.



Figuur 1. Schematische voorstelling van de relaties tussen producenten en consumenten die van belang zijn bij mosselteelt in het buitenwater. Licht en voedingsstoffen, zoals silicaat (Si), stikstof (N) en fosfaat (P), bepalen de algengroeisnelheid (primaire productie, PP). De hoeveelheid licht wordt beïnvloedt door instraling, de troebelheid van het water en de waterdiepte. Zoöplankton en schelpdieren filtreren algen van een bepaald formaat uit het water. Zij produceren stikstof en fosfaat als afvalstoffen. Die kunnen weer dienen als voedingsstoffen voor de algen. Zoöplankton wordt gegeten door vissen, maar ook door schelpdieren. De schelpdieren worden op hun beurt gegeten door predatoren zoals garnalen, krabben, zeesterren en vogels. En ze worden geoogst voor consumptie. Naast sterfte is er ook natuurlijke aanwas.

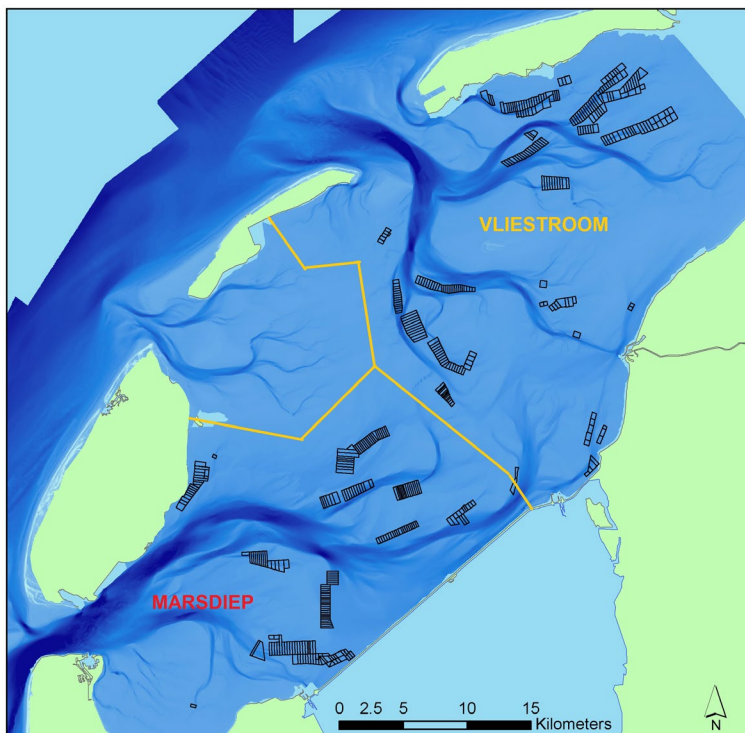
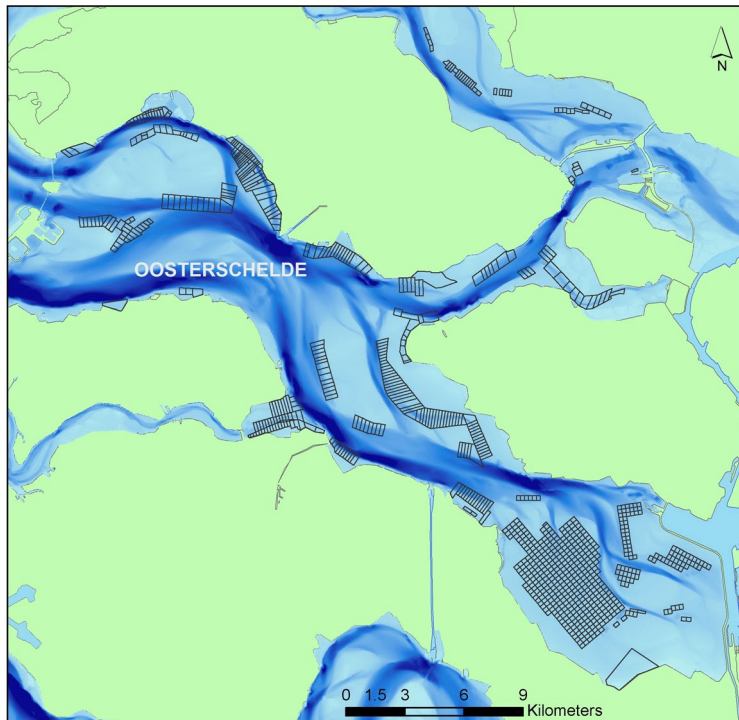
2 Aanpak

Draagkracht is een begrip dat zich lastig in één parameter laat vatten, omdat de interacties tussen schelpdieren (graasdruk) en de voedselbron (micro-algen) meerdere feedback mechanismen kennen, maar ook omdat beide door onafhankelijke factoren beïnvloed kunnen worden (bijvoorbeeld predatie, nutriënten beschikbaarheid,..). Er is daarom een serie analyses uitgevoerd welke er op gericht waren om mogelijke trends in graasdruk en voedselcondities over de periode 1990-2016 te identificeren (I-III), en vervolgens zijn deze datareeksen gebruikt om correlaties (IV) en indices (V) te berekenen waarbij de verhouding tussen graasdruk en voedselbeschikbaarheid, en dus draagkracht, uitgedrukt wordt. Het doel van deze serie analyses was om op verschillende manieren naar de ontwikkelingen in de verhouding tussen graasdruk en voedselbeschikbaarheid te kijken. Het gezamenlijke beeld verteld iets over de toestand en functioneren van het (productie)ecosysteem.

- I. Ontwikkelingen in de schelpdierbestanden en filtratiedruk van 1992 tot 2016. Het doel hierbij is om te bepalen of er grote veranderingen in de schelpdierbestanden opgetreden zijn die mogelijk draagkracht beïnvloed kunnen hebben. Wanneer graasdruk toeneemt is er een grotere kans op overschrijding van de draagkracht. Om veranderingen in draagkracht te bepalen is echter ook een koppeling met het beschikbare voedsel nodig. Dit wordt in stap IV en V uitgewerkt. De ontwikkelingen in graasdruk worden beschreven voor zowel het totale bestand als voor het aandeel gekweekte mosselen.
- II. Ontwikkelingen in de voedselparameters van 1992 tot 2016. Doel hiervan is om te bepalen of er grote veranderingen in de voedselbeschikbaarheid opgetreden zijn die mogelijk de draagkracht beïnvloed kunnen hebben, of een indicatie geven dat draagkracht overschreden is.
- III. Ontwikkelingen in de draagkracht indicator mosselvleesgehalte geeft een beeld van de kwaliteit van de mosselen in het systeem en is gekoppeld aan de hoeveelheid beschikbaar voedsel. Mosselvleesgehalte kan daarom ook wel gezien worden als een proxy voor voedselbeschikbaarheid. Een laag vleesgehalte kan duiden op een overschrijding van de draagkracht omdat er dan (te) weinig voedsel beschikbaar was voor goede schelpdiergroei.
- IV. Vervolgens wordt er gekeken of de veranderingen in voedselcondities (zowel voor de directe parameters (II) als de geïntegreerde parameter 'mosselvleesgehalte' (III)) te verklaren zijn door veranderingen in het schelpdierbestand (I). Correlaties tussen schelpdierbestanden, mosselvleesgehalte en voedselparameters geven inzicht of de voedselbeschikbaarheid en daarmee het mosselvleesgehalte beïnvloed wordt door de grootte van het schelpdierbestand. Hierbij dient wel aangemerkt te worden dat berekening van correlaties nog geen causale verbanden aantonen. Bij een significant positieve correlatie is het bijvoorbeeld niet duidelijk of een hoger vleesgehalte van mosselen is veroorzaakt door een hogere primaire productie. Om dat aan te tonen is een experimentele of modelmatige aanpak nodig. Het doel van de huidige analyses is inzicht krijgen in het functioneren van het (productie) ecosysteem. Bepalen van significante correlaties in daarbij de eerste stap. Het onderzoeken van de causaliteit volgt daarna.
- V. De draagkracht indices Clearance Ratio (CR) en Grazing Ratio (GR) zijn een benadering om de verhouding tussen graasdruk en voedselbeschikbaarheid uit te drukken op het niveau van het gehele kombergingsgebied, en kunnen worden gebruikt om grote veranderingen in een systeem te duiden en een vinger aan de pols te houden. De Clearance Ratio en Grazing Ratio worden in de literatuur veelal gebruikt om draagkracht in verschillende gebieden te vergelijken (Smaal 2017; Jansen et al 2019).

Deze analyse-stappen worden in volgend hoofdstuk nader toegelicht en zijn apart bepaald voor de Oosterschelde en de Waddenzee. Voor de analyse van de gegevens is uitgegaan van kombergingsgebieden. Dit zijn getijbekkens, waarin het getijdenwater dat via een zeegat naar binnenstroomt geborgen wordt. Bij vloed rukt het water aan weerszijden van een eiland op, waarbij de vloedstromen elkaar landinwaarts ontmoeten. Daar komt het water min of meer tot stilstand en kan slib en zand bezinken tot een rug: het wantij. In de huidige studie hanteren we twee kombergings-

gebieden in de Westelijke Waddenzee: Marsdiep en Vliestroom (Fig. 2). Daarnaast is de gehele Oosterschelde één kombergingsgebied. Deze keuze is gemaakt omdat draagkracht speelt op de schaal van een kombergingsgebied. Het water verplaatst zich binnen zo'n gebied. Er kan voedseluitputting plaatsvinden dat verder stroomopwaarts een effect heeft op de groei van schelpdieren.



Figuur 2. Kaarten van de Oosterschelde (boven) en de westelijke Waddenzee (onder). In de kaart van de Westelijke Waddenzee zijn de twee kombergingsgebieden weergegeven (Marsdiep en Vliestroom; Schellekens et al. 2013). Mosselkweekpercelen worden weergegeven in zwarte blokken. De blokken met kleine vierkanten in de kom van de Oosterschelde zijn een mix van oesterpercelen, verwaterpercelen en onverhuurde percelen.

3 Draagkracht Analyses

In onderstaande paragrafen zal stapsgewijs de serie analyses beschreven worden, waarbij voor iedere analyse een korte introductie, een beschrijving van de methode, en resultaten en discussie beschreven worden. In volgend hoofdstuk (synthese, hoofdstuk 4) worden de resultaten van analyses naast elkaar gelegd en wordt een beeld geschetst van de draagkracht ontwikkelingen in de Oosterschelde en de westelijke Waddenzee.

3.1 Ontwikkeling in schelpdierbestanden en graasdruk (I)

Introductie

Ontwikkelingen in schelpdierbestanden laten zien of er grote veranderingen zijn opgetreden die mogelijk de draagkracht beïnvloed kunnen hebben. Bestands grootte moet daarvoor nog wel gekoppeld worden aan de *clearance rates* (de snelheid waarmee ze het voedsel uit het water opnemen) van de afzonderlijke soorten, om tot de totale graasdruk van het schelpdierbestand te komen. Wanneer de graasdruk toeneemt is er een grotere kans op overschrijding van de draagkracht.

Tabel 1 Bemonsteringsprogramma's schelpdieren

Informatie over het tijdstip wanneer de inventarisatie van de verschillende schelpdierenbestanden opgenomen zijn in de jaarlijkse bestandsopnames

	Oosterschelde		Westelijke Waddenzee	
	Data beschikbaar vanaf	Survey referentie	Data beschikbaar vanaf	Survey referentie
Wilde bestanden	litoraal		Litoraal & sublitoraal	
Japanse Oesters	2012, daarvoor incidentele metingen	1, 2	2003	1
Mosselen	1992	1	1992	1
Kokkel	1992	1	1992	1
Nonnetje	1993	1	1993 niet geregistreerd in 1995, 1996	1
Mesheften	1993	1	1993, niet geregistreerd in 1995, 1996 vanaf 2016 aanvullende metingen	1
Strandgaper	1993	1	1993 niet geregistreerd in 1995, 1996	1
Gekweekte bestanden	sublitoraal		sublitoraal	
Mosselen op percelen	1992	4	2004	3
MZI mosselen	2004 daarvoor nvt	5	2004 daarvoor nvt	5
Oesters op percelen	1992	6	nvt	

1) WOT bestandsopnames (Asch et al, 2016; Ende et al 2016, Ende et al in pep)

2) Troost et al 2018 Vanaf 2012 jaarlijkse bemonstering, voor 2012 op basis van interpolaties (NB, deze schatting wijkt af van Smaal et al 2013. Zie ook Troost & van Asch 2019 voor een verklaring hiervoor).

3) Wijsman & Jol, 2012; van Stralen 2015b

4) gebaseerd op oogstdata van PO mossel

5) Gebaseerd op MZI oogstdata uit rapportages voor EZ (Scholten et al 2007; Kamermans & Smaal 2009; Poelman & Kamermans 2010; van Stralen 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016)

6) Gebaseerd op oogstdata Productschap Vis en Bedrijveninformatienet, Mosselkantoor (2016)

<http://www.agrimatie.nl/ThemaResultaat.aspx?subpubID=2526&themaID=2857&indicatorID=2881§orID=2864>

Methode

De ontwikkeling van schelpdierbestanden wordt gevolgd aan de hand van een reeks monitoringsprogramma's, welke niet allemaal tegelijk ingevoerd zijn waardoor niet alle reeksen de gehele periode bestrijken. De eerste jaarlijkse inventarisaties zijn begin jaren '90 gestart en focusten zich vooral op de commerciële schelpdierbestanden. In de loop der jaren zijn deze programma's uitgebreid en momenteel worden de schelpdierbestanden in de Waddenzee en de Oosterschelde soorten-dekkend bemonsterd. In Annex 1 wordt een uitgebreide beschrijving van de verschillende monitoringreeksen gegeven, en tabel 1 geeft hier een samenvattend overzicht van.

Vanuit de bestandsgrootte kan vervolgens de graasdruk berekend worden, door eerst voor ieder gebied de versgewichten per soort om te rekenen naar as-vrij drooggewichten (AFDW) en dat te vermenigvuldigen met de *clearance rate* (filtratiesnelheid welke uitgedrukt zijn per AFDW). De waardes die gebruikt zijn voor de omrekeningen voor ieder van de soorten staan in tabel 2 weergegeven. Hierbij moet aangemerkt worden dat dit filtratiesnelheden zijn die zijn gestandaardiseerd voor een individu van een gemiddelde grootte van 1 gram AFDW. Kleinere individuen hebben echter relatief hogere filtratiesnelheden; 1 kg kleine mosselen zal meer filtreren dan 1 kg grote mosselen. In de natuur komen schelpdieren in alle grootte klassen voor. Hiervoor is niet gecorrigeerd omdat niet voor alle soorten uit de schelpdiersurveys de grootte klassen gemeten zijn, maar ook omdat niet voor alle soorten de grootte afhankelijke coëfficiënten voor filtratiesnelheden bekend zijn.

Tabel 2 Omrekening van bestand naar graasdruk

Conversie en clearance rate waarden aangehouden bij de berekening van de graasdruk. AFDW= as-vrij drooggewicht, DW=drooggewicht en WW is versgewicht

Soort	Omrekening van versgewicht naar (as-vrij) drooggewicht	Filtratiesnelheid [in liter per gram as-vrij drooggewicht per dag]	Filtratiesnelheid [in liter per gram natgewicht (incl schelp) per dag]
Mossel	$AFDW = WW/20$ ¹	48 ⁴	2.4
Kokkel	$AFDW = WW/30$ ¹	24 ⁴	0.8
Japane oester	$AFDW = WW/100$ ¹	100 ⁴	1
Mesheft	$AFDW = 0.0443 * WW + 0.131$ ²	36 ⁵	6.3
Strandgaper	$DW = 0.186 * WW + 0.0397$ ³	36 per g DW ⁶	8

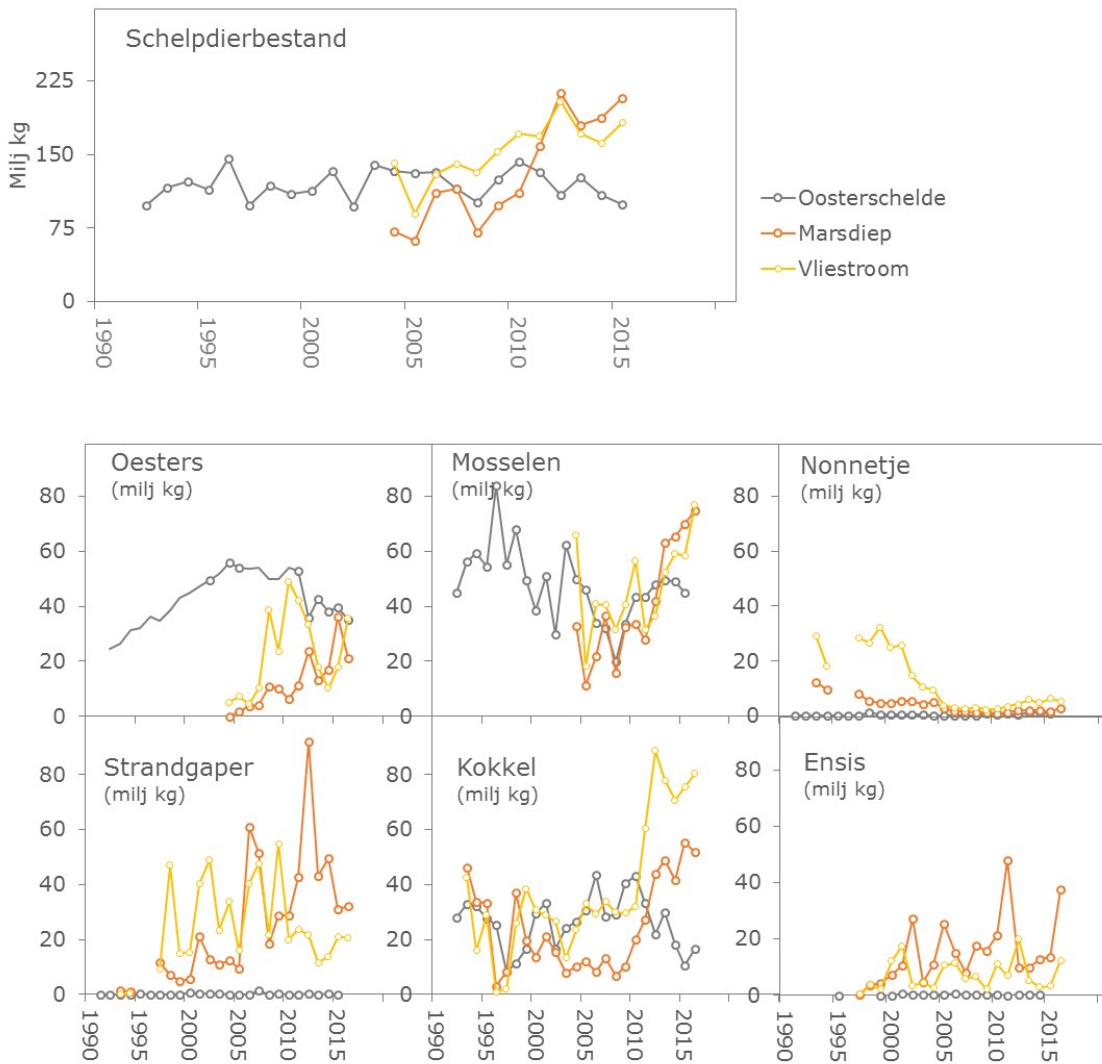
1) Smaal et al 2013 2) Kamermans et al 2013 3) Riisgard et al 2003 4) Cranford et al 2011 5) Kamermans et al 2013 6) Bacon et al 1998

Resultaten en discussie ontwikkeling schelpdierbestand

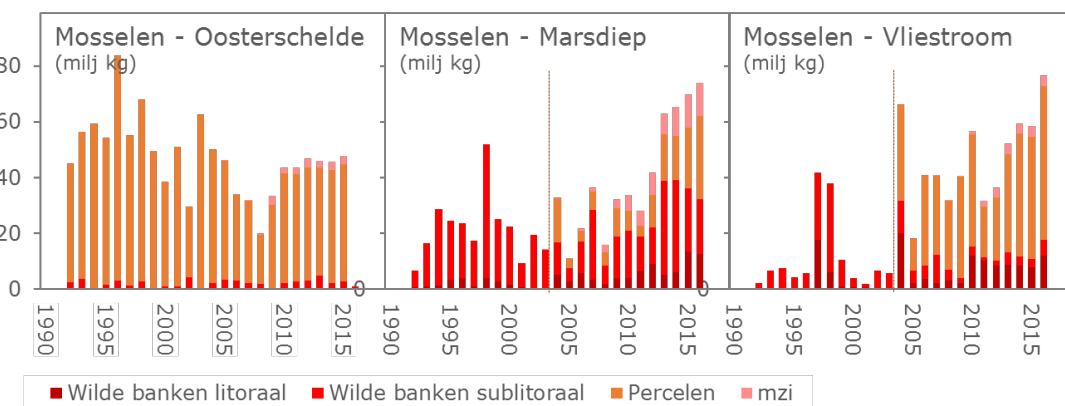
Het schelpdierbestand in de Oosterschelde varieert van jaar tot jaar, maar laat geen duidelijk toe- of afname zien sinds begin jaren '90. Omdat de mosselpercelen in de Waddenzee pas vanaf 2004 bemonsterd worden, wordt vanaf dat moment het totale bestand weergegeven. Hieruit blijkt dat zowel in het Marsdiep en iets mindere mate in de Vliestroom het bestand sinds 2010 sterk is toegenomen.

De dominante soorten in de Oosterschelde zijn mosselen, kokkels en wilde Japanse oesters (Fig. 3). Ook worden sinds 2009 aanzienlijke hoeveelheden tapijtschelpen aangetroffen. Het bestand aan wilde Japanse oesters is vanaf 1990 snel toegenomen tot ruim 30 miljoen kg in 2004, maar aan de exponentiele groei lijkt in 2004 een einde te zijn gekomen. Daarna vertoont het bestand een afname. Onlangs is een herijking van het oesterbestand uitgevoerd (zie Troost & van Asch 2019): Het oesterbestand wordt pas vanaf 2011 jaarlijks bemonsterd, en schattingen voor die tijd zijn gebaseerd op incidentele en variabele bemonsteringen. Daarnaast wordt sinds 2012 de bemonstering op een andere manier uitgevoerd: voorheen werd de biomassa bepaald van 1 m² binnen een bestaande oesterbank (tijdens eb), tegenwoordig worden random monsters genomen met een hydraulische happer (tijdens vloed) waardoor het ook kan voorkomen dat de rand van de bank bemonsterd wordt, en niet slechts de delen met hoge biomassa. De nieuwe methode geeft een representatiever beeld. Consequentie van deze herijking is dat het oesterbestand (ook in de periode vóór 2011) substantieel lager ingeschat wordt dan in eerdere publicaties (o.a. Smaal et al 2013). Dit verschil kan in sommige jaren met een factor 2-3 verschillen. Het oesterbestand bestaat voor ongeveer 20% uit kweekoesters, en dat betreft <10% van het gehele bestand schelpdieren. Mosselen maken een belangrijk deel uit van het totale schelpdierbestand. In de Oosterschelde vindt slechts zeer beperkte natuurlijke aanwas van mosselzaad plaats, en kweekmosselen op de percelen zijn daarom afkomstig van de Waddenzee

en/of recent van de MZIs in de Oosterschelde of Voordelta. Het aandeel kweekmosselen in de periode 1992 tot 2014 in de Oosterschelde bedroeg 19-55% van het totale schelpdierbestand

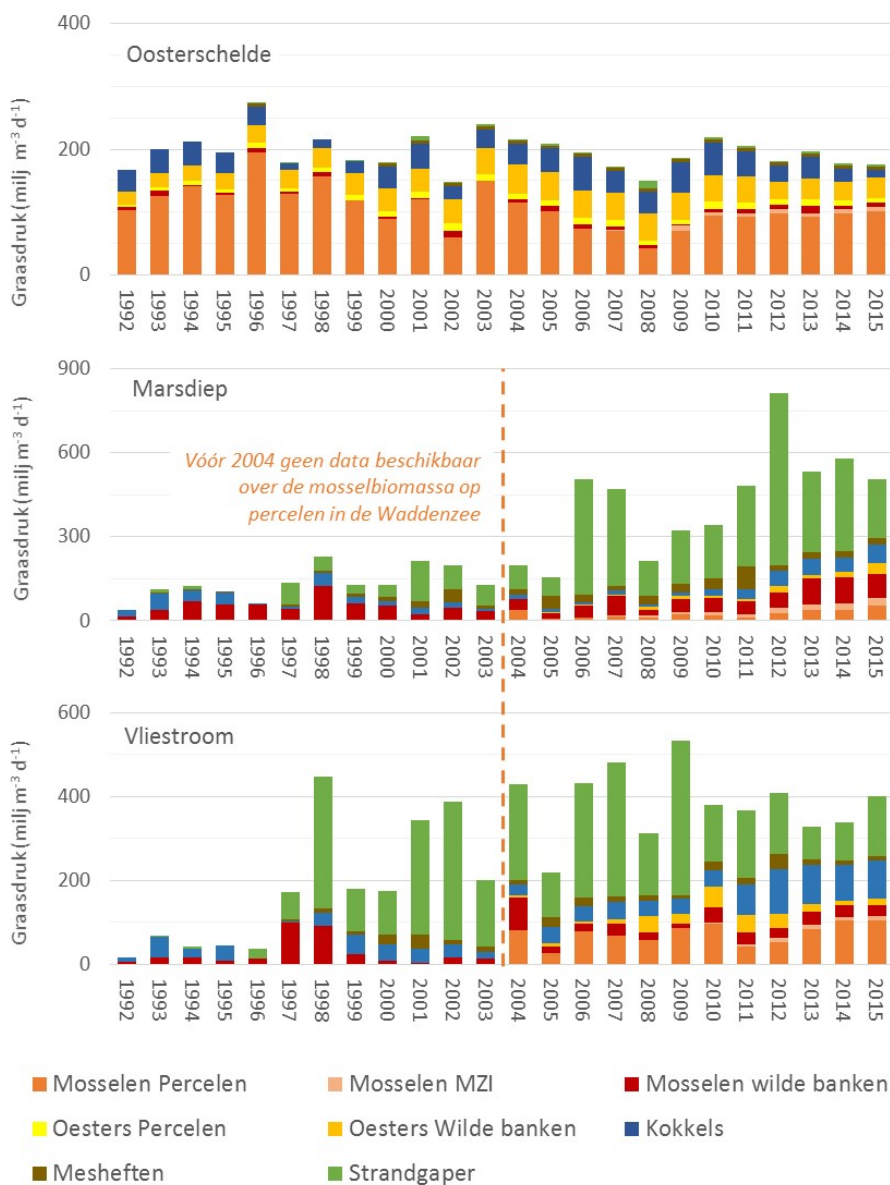


Figuur 3 Ontwikkelingen in het schelpdierbestand (totaal, bovenste grafiek), en voor de meest dominante soorten (blok van 6 grafieken) in de Oosterschelde en de westelijke Waddenzee (Marsdiep en Vliestroom)



Figuur 4 Ontwikkelingen in het wilde (littoraal en sublittoraal) en commerciële (op percelen en MZI's) mosselbestanden in de Oosterschelde en de westelijke Waddenzee

In de westelijke Waddenzee, en met name in de Vliestroom, domineert de kokkel (Fig. 3). Dit is het gevolg van een goede aanwas van jonge kokkels (broedval) die maar eens in de 5-8 jaar plaats vindt. Daarnaast valt een toename van mosselen op in zowel het Marsdiep als het Vliestroom gebied. Ook de Japanse oester laat een toename zien. De biomassa van deze soort is in het Vliestroom gebied na 2011 weer afgenomen, maar in het Marsdiepgebied nog steeds toenemend. Strandgapers en mesheften zijn na jaren met hoge bestanden weer afgenomen in de westelijke Waddenzee. De schijnbare toename van mesheften in 2016 is te verklaren doordat er vanaf dat jaar een groter gebied wordt bemonsterd (zie Kamermans et al., 2018). Nonnetjes vertonen een sterke afname na 2004, maar vanaf 2010 neemt het bestand echter weer toe. Ondanks dat het aandeel kweekmosselen ten opzichte van het totale schelpdierenbestand gelijk is in de Vliestroom en het Marsdiep (5-30%), is het aandeel kweek-mosselen ten opzichte van het totale mosselbestand verschillend: In de Vliestroom bestaat het mosselbestand soms uit 90% kweekmosselen (gemiddeld 75%), terwijl dat in de het Marsdiep veelal niet hoger is dan 50%. Dit geeft aan dat er in het Marsdiep meer wilde mosselbanken zijn dan in de Vliestroom, maar dat er relatief meer overige schelpdieren in de Vliestroom aanwezig zijn. De verhouding tussen kweek-mosselen en wilde bestanden is berekend over de periode 2004-2016 omdat voor die tijd geen gegevens over de bestanden op percelen bekend was.



Figuur 5. Dagelijks gefiltreerde watervolume per soort en kombergingsgebied

Resultaten en discussie graasdruk

Vervolgens is de bestandsgrootte omgerekend naar de totale graasdruk (Fig. 5), en vooral de toe- of afname van de graasdruk is van belang voor evaluatie van draagkracht. In de Oosterschelde is het bestand aan oesters en mosselen, uitgedrukt in kg versgewicht, van vergelijkbare grootte (Fig. 3). Omdat de oester een relatief zware schelp heeft is het oesterbestand uitgedrukt in kg Asvrij drooggewicht aanzienlijk lager dan die van mosselen. Ondanks dat de oester de hoogste *clearance rate* per gram asvrij drooggewicht heeft (Tabel 2), is de totale graasdruk van de oesters lager dan die voor de mosselen (Fig. 5). Omdat het mosselbestand in de Oosterschelde vrijwel in het geheel bestaat uit gekweekte mosselen, wordt ongeveer de helft van de totale graasdruk door de mosselkweek gerealiseerd. De gekweekte oesters dragen beperkt bij aan de totale graasdruk (<10%).

In beide kombergingsgebieden in de Waddenzee leveren met name de bestanden strandgapers een belangrijke bijdrage aan de totale graasdruk (Fig. 5). Hierbij moet echter aangemerkt worden dat voor een goede schatting van de graasdruk zowel een goede schatting van het bestand aan filtrerende dieren noodzakelijk, als goede schattingen voor de individuele *clearance rates* noodzakelijk is. Voor de strandgaper is de onzekerheid van beide schattingen relatief groot: De huidige bestandsopnames zijn opgezet voor mosselen en kokkels en soorten die diep in de bodem leven, zoals de strandgaper, worden met de huidige methodiek waarschijnlijk onderschat. Voor de mesheften zijn daarom aanvullende metingen toegevoegd aan de inventarisaties (zie Tabel 1). Voor de strandgaper is de vangstefficiëntie echter niet bekend. De *clearance rates* voor de strandgaper zoals bekend uit de literatuur zijn niet gebaseerd op lokale (Waddenzee) metingen, waardoor verdere onzekerheid om deze waardes bestaat. Ook zijn de rates onder laboratorium condities gemeten waar de strandgapers niet de mogelijkheid kregen zich in te graven (Bacon et al. 1998). Of dit effect heeft gehad op de voedselinname is onbekend. In het Marsdiep neemt ook de graasdruk van de overige soorten vanaf 2009 geleidelijk toe. De mosselkweek levert een geringere bijdrage aan de totale graasdruk dan in de Oosterschelde: in het Marsdiep is dit 10% en in de Vliestroom 22%.

3.2 Ontwikkeling in voedselcondities (II)

Introductie

Wanneer er grote veranderingen in de voedselbeschikbaarheid van schelpdieren optreden kan dit wijzen op overbegrazing, en dus overschrijding van de draagkracht. Het kan echter ook zijn dat de voedselbronnen door andere factoren beïnvloed worden, zoals bijvoorbeeld licht of nutriëntenconcentraties. Dit kan vervolgens leiden tot een lager schelpdierbestand (draagkracht bereikt, maar op een ander niveau dan hiervoor) of in situaties waarbij er voldoende voedsel is zal het geen effect hebben op de schelpdieren en dus niet op de draagkracht.

Methode

Er zijn drie parameters die de voedselbeschikbaarheid voor schelpdieren beschrijven: voedselproductie, voedselconcentratie en voedselkwaliteit. De voedselconcentratie (Chlorofyl *a*) geeft aan hoeveel algen in het water aanwezig zijn. Het water bevat naast micro-algen ook kleine, voor schelpdieren oneetbare, deeltjes. Dit wordt ook wel zwevend stof genoemd. De verhouding tussen chlorofyl en zwevend stof is een indicatie voor voedselkwaliteit (van Stralen, 2002). De chlorofyl en zwevend stof concentraties worden twee wekelijks tot maandelijks bepaald door Rijkswaterstaat op een aantal locaties in de Oosterschelde en westelijke Waddenzee.

Het is echter niet de concentratie of kwaliteit aan voedsel, maar vooral de voedselproductie (primaire productie), die sturend is bij de evaluatie van de draagkracht. Ter illustratie het volgende voorbeeld: een grasveld met kort gras heeft een lage voedselconcentratie, maar kan toch veel koeien van voedsel voorzien als het gras snel groeit. Dit wordt dan direct begraasd door de koeien en wordt zo niet zichtbaar in de hoeveelheid gras die aanwezig is (concentratie). Primaire productie is dan ook de derde parameter om de voedselbeschikbaarheid voor schelpdieren te beschrijven. Omdat dit een goede parameters is om het ecosysteem functioneren te beschrijven wordt Primaire productie ook wel eens een 'draagkracht indicator' genoemd. Bepaling van primaire productie is echter een ingewikkeld en een methode die niet uitgebreid ingezet wordt (Wijsman 2019). De beschikbare datareeksen zijn daarom gefragmenteerd of incompleet. Voor de Oosterschelde zijn er relevante data beschikbaar van

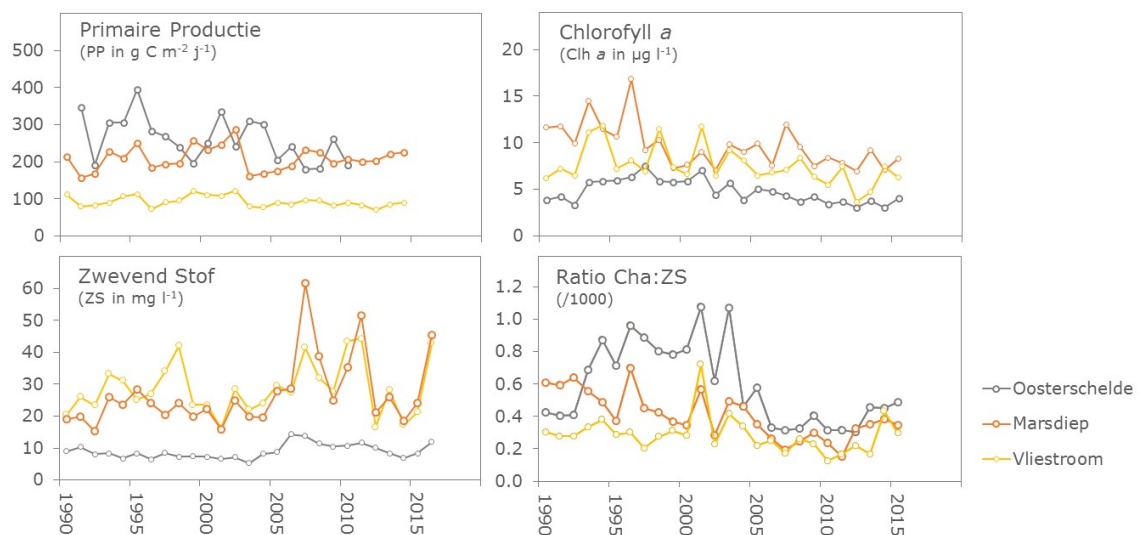
1991 tot en met 2010. Daarna is de primaire productie niet meer gemeten en is er geen informatie over deze parameter bekend. Voor de westelijke Waddenzee is daarom gebruik gemaakt van modelberekeningen met behulp van het EcoWasp-model. De waardes gebruikt in de huidige studie zijn dan ook niet empirisch gemeten maar komen voort uit modelsimulaties gebaseerd op licht, nutriënten en micro-algen concentraties, en water temperatuur. Omdat de datareeksen voor primaire productie niet compleet zijn kijken wordt er in de huidige studie ook naar de ontwikkelingen in voedselconcentraties (Chla en ZS) en voedselkwaliteit gekeken.

Een uitgebreidere beschrijving van de monitoringsprogramma's en methodes (modelsimulaties) om de voedselcondities te beschrijven wordt gegeven in Annex 1.

Resultaten en discussie

De primaire productie in de Oosterschelde laat een afnemende trend zien tot 2010 (Fig. 6; Smaal et al 2013 voor uitgebreide analyse). Hoe deze trend zich na 2010 ontwikkeld heeft is niet bekend omdat er toen niet meer gemeten is. De algenconcentratie liet ook een afnemende trend zien, maar deze lijkt zich na 2010 wel te stabiliseren op een lager niveau.

Begin jaren '90 lag de primaire productie in de Oosterschelde nog beduidend hoger dan in het Marsdiep, maar dat was in 2010 niet meer het geval. De laagste waarden voor primaire productie worden aangetroffen in de Vliestroom. Het chlorofylgehalte (algenconcentratie) van het water is daarentegen over het algemeen hoger in de westelijke Waddenzee dan in de Oosterschelde (Fig.6). Daarnaast valt op dat de concentratie Chla voor het jaar 2000 vaker hoger is dan er na. Het zwevend stof gehalte is juist vaker hoger na het jaar 2005 dan ervoor. Een dergelijke abrupte verandering kan mogelijk wijzen op een methodische verandering in meetwijzen, maar bij navraag bij RWS lijkt dat niet het geval. Het blijft daarom onbekend wat de reden is voor verandering in zwevend stof concentraties. Hierdoor is de verhouding chlorofyl en zwevend stof ongunstiger geworden voor mosselgroei in de Oosterschelde, de verhouding is echter nog wel beter dan in de westelijke Waddenzee. Additionele analyse liet zien dat dit vooral geldt vroeg in het groeiseizoen (data niet opgenomen in Fig. 6).



Figuur 6. Jaarlijkse primaire productie, chlorofyl en zwevend stof concentratie en de verhouding tussen chlorofyl en zwevend stof in Oosterschelde en Waddenzee (Marsdiep en Vliestroom). Primaire productiemetingen in de Oosterschelde lopen tot en met 2010. Primaire productie in de westelijke Waddenzee is berekend uit algenbiomassa, nutriënten, temperatuur en licht. Voor bron zie tabel 1.

3.3 Ontwikkelingen in indicator mosselvleesgehalte (III)

Introductie

Daarnaast kan het vleesgehalte van mosselen gebruikt worden als draagkracht indicator. Het mosselvleesgehalte is het deel van het schelpdier dat uit vlees bestaat ten opzicht van het totaal

gewicht (totaal gewicht bevat ook de schelp). Directe metingen aan voedselaanbod hebben als nadeel dat er veel variatie in tijd en ruimte optreedt, terwijl metingen aan schelpdieren zelf een over de tijd geïntegreerd beeld geven van de voedselcondities (Lucas & Beninger, 1985; Filgueira et al, 2013; 2014). Het vleesgehalte is significant gecorreleerd met de groeisnelheid in gewicht van de mosselen (Capelle et al., 2016). Uit Smaal et al. (2013) blijkt dat vleesgehalte van commerciële mosselen een goede indicatie van draagkracht is, en het levert tevens een inzicht in hoe de kweekactiviteit beïnvloedt wordt door het ecosysteem. Een afname van het vleesgehalte van mosselen kan wijzen op een verandering in het voedselaanbod, veroorzaakt door externe factoren (bijv afname in nutriëntenconcentraties) of door overbegrazing en dus door toegenomen schelpdierbestanden (draagkracht).

Methodes

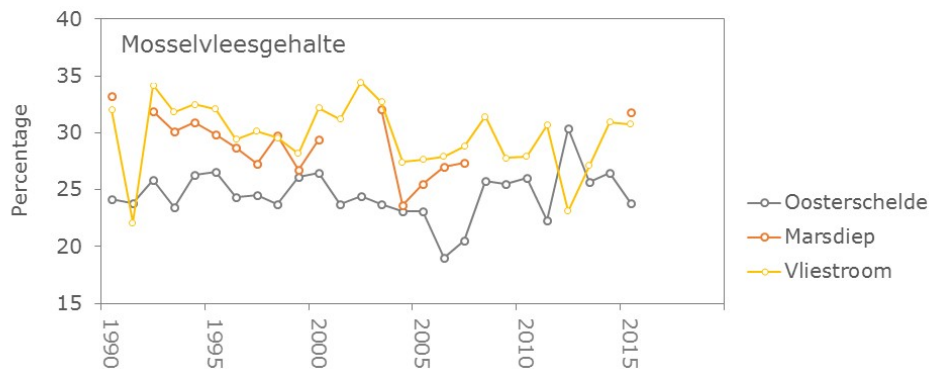
Mosselvleesgehalten worden bepaald voor alle mosselen die via de veiling verhandeld worden. Voor berekening van de jaarlijkse mosselvleesgehalten zijn daarom de aanvoerstatistieken van de mosselveiling van mosselen uit alle percelen van de Oosterschelde en Waddenzee gebruikt in de periode 1986/1987 tot en met 2015/2016 (PV, PO-mosselcultuur). Overeenkomstig eerdere berekeningen (Schellekens et al. 2014) is bij de berekening van de jaarlijkse vleesgehalten uitgegaan van de aanvoergegevens in de maanden juli tot en met oktober. Per jaar zijn over deze periode gemiddelde vleesgehalten berekend, waarbij verder geen rekening is gehouden met het moment waarop de leveringen precies hebben plaatsgevonden. Gemiddelden op basis van minder dan 10 leveringen zijn niet meegenomen.

Doordat gebruikt wordt gemaakt van marktgegevens is deze indicator niet geheel onafhankelijk omdat de keuze van een kweker om een partij mosselen wel of niet naar de veiling te brengen niet alleen afhangt van het vleesgehalte, maar ook van de marktomstandigheden op dat moment. Ook kunnen kwekers zich aanpassen aan een nieuwe situatie door bijvoorbeeld op andere locaties of in andere dichtheden te zaaien (Smaal et al 2013). Voor dit soort trends is niet gecorrigeerd in de huidige analyse.

Resultaten en discussie

Het vleesgehalte van de mosselen fluctueert (Fig. 7) en de hoogste vleesgehalten worden gerapporteerd in de Waddenzee (Vliestroom). De neergaande trend in de mosselen uit de Oosterschelde van 2000-2006 (een belangrijke trend in Smaal et al 2013), is de laatste jaren niet meer aanwezig en in 2012 werd zelfs een recordwaarde van >30% gerapporteerd.

Het Marsdiep wordt de laatste jaren vooral gebruikt om mosselzaad op te kweken, waarna ze verlegd worden naar percelen in de Vliestroom voor verdere groei tot consumptie formaat. Er worden daarom nog maar weinig mosselen aangeleverd aan de veiling vanuit het Marsdiep, en daarom kan er geen trend gerapporteerd worden voor de ontwikkeling van mosselvleesgehalten in dit Kombergingsgebied.



Figuur 7. Gemiddeld vleesgehalte van mosselen geleverd aan de veiling in de periode juli - oktober van kweekpercelen in de Oosterschelde en Waddenzee (Marsdiep en Vliestroom). Gemiddelden op basis van minder dan 10 leveringen zijn niet in de figuur opgenomen, hierdoor zijn in een aantal jaren geen gegevens van het Marsdiep beschikbaar.

3.4 Invloed van schelpdieren op voedsel – correlaties (IV)

Introductie

Vervolgens is bekeken of de veranderingen in voedselcondities (zowel voor de directe parameters als de geïntegreerde parameter 'mosselvleesgehalte') te verklaren zijn door veranderingen in het schelpdierbestand. Wanneer de schelpdieren namelijk een negatieve invloed uitoefenen op het voedsel, zal er sprake zijn van overbegrazing en dus dat de draagkracht bereikt is. Dit zal blijken uit een verband (correlatie) tussen de voedselparameter en het schelpdierbestand.

Om te bepalen of mosselvleesgewicht een goede indicator is voor voedselbeschikbaarheid wordt gekeken naar de verbanden tussen vleesgehalte en algenproductie (Smaal & Van Stralen 1990; Van Stralen & Dijkema 1994; Smaal et al 2001). Waarbij een positief verband (dus hoe meer algenproductie, hoe hoger het vleesgehalte) aangeeft dat mosselvleesgewicht een goede indicator is. Vervolgens kan het verband tussen mosselvleesgehalte en de grootte van het schelpdierbestand aangeven of schelpdieren druk uitoefenen op het beschikbare voedsel. Een negatief verband (dus hoe meer schelpdieren, hoe lager het vleesgehalte) kan duiden op een situatie waar het voedsel overbegraasd wordt (zie ook discussies in Smaal 2001; Smaal 2013).

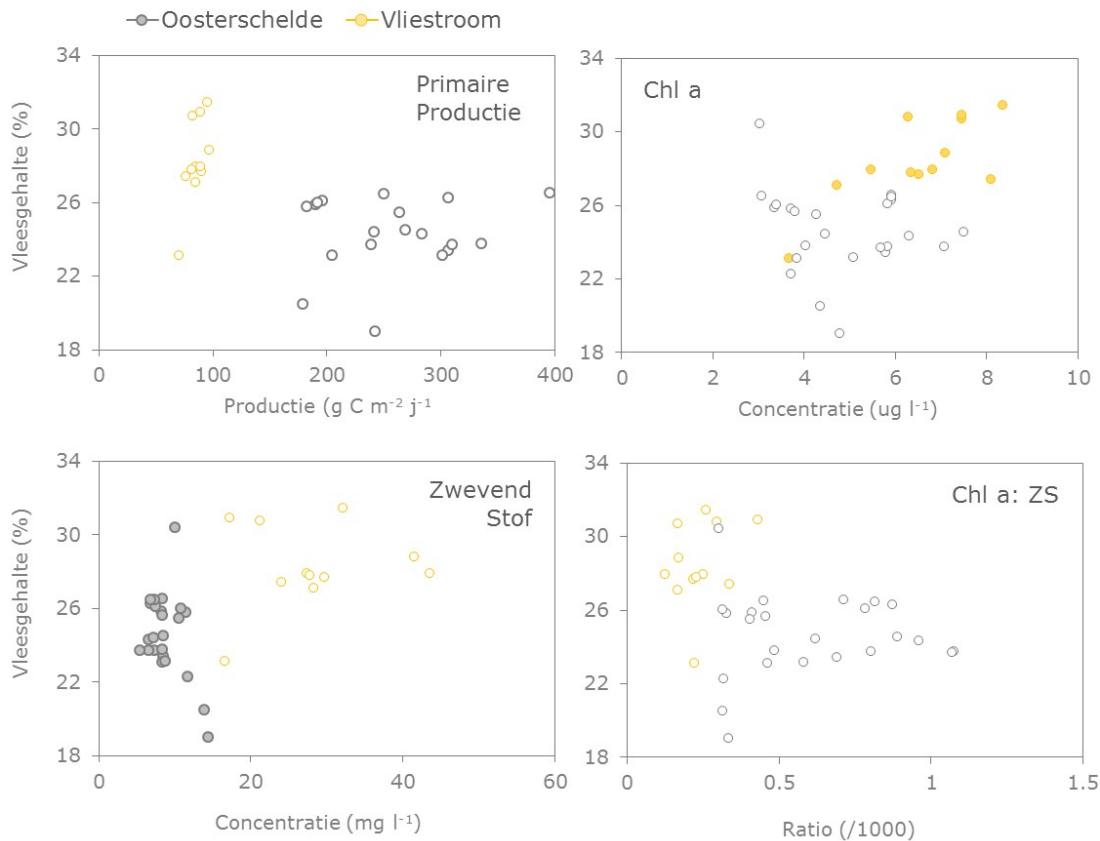
Methode

Verbanden tussen 1) voedselcondities (productie, concentratie en kwaliteit) en mosselvleesgehalte en 2) mosselvleesgehalte en schelpdierbestanden zijn berekend. Voor de Oosterschelde is dit gedaan voor de periode 1992-2015 (met uitzondering van primaire productie tot 2010). Na 2015 is nog geen goede schatting van het mosselbestand op de percelen beschikbaar. Voor de westelijke Waddenzee is dit gedaan voor de periode 2004-2016 omdat vanaf 2004 de schelpdierbestanden pas volledig werden bemonsterd. Omdat er de laatste jaren weinig leveringen zijn van mosselen uit het Marsdiep (zie paragraaf 3.3) is het door het geringe aantal gegevens lastig conclusies te trekken over de invloed van het schelpdierbestand op het mosselvleesgehalte, en daarom buiten beschouwing gelaten.

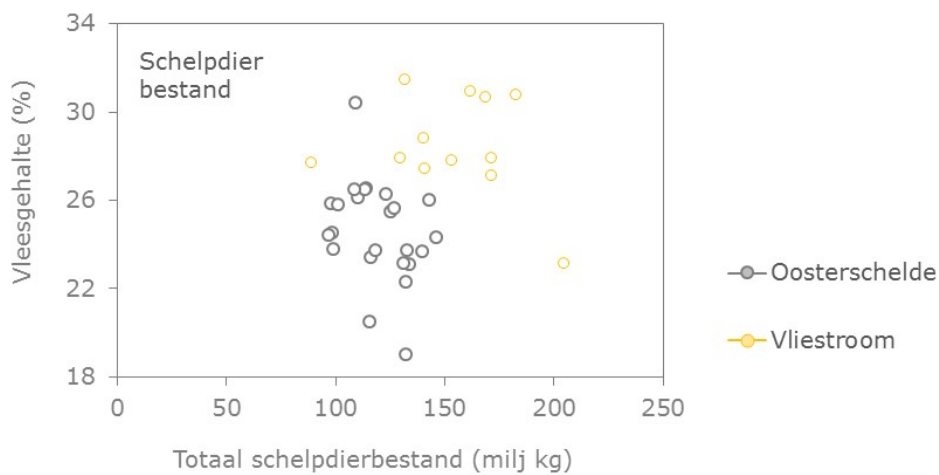
Per verklarende variabele (voedselaanbod en -kwaliteit dan wel schelpdierbestanden) en per gebied (Oosterschelde, Marsdiep en Vliestroom) zijn verschillende univariate modellen opgesteld om te onderzoeken of deze het mosselvleesgehalte verklaren. Regressiecoëfficiënten zijn berekend (kleinste kwadraten methode) gebruik makend van 'lm' functie beschikbaar in R. Significantie (t-test) van de regressiecoëfficiënt is berekend op significantieniveau van 5%. Dit wil zeggen dat er sprake is van een effect als de kans dat het effect is veroorzaakt door toeval (type I fout) minder dan 5% is. Berekeningen zijn uitgevoerd in R (R Development Core Team (2017)). Het verband kan positief zijn, b.v. een hogere primaire productie gaat gepaard met een hoger vleesgehalte van mosselen. Het verband kan ook negatief zijn, b.v. een hoger bestand aan schelpdieren gaat samen met een lager vleesgehalte.

Resultaten

Verbanden tussen voedselcondities en mosselvleesgehalte worden weergegeven in Fig. 8. De huidige analyse toont voor geen van de gebieden een verband tussen het vleesgehalte van mosselen en algenproductie/primaire productie. Wat opvalt is dat het vleesgehalte van mosselen in het Vliestroom gebied hoge waarden behaald ondanks dat de primaire productie laag is. Dit wordt verklaard door de hoge voedsel (Chla) concentraties. Een significant positief verband tussen voedselconcentratie en vleesgehalte in de Vliestroom ondersteunt dit ($p=0.004$), en suggereert dat in de Vliestroom de verversing (aanvoer van algen vanuit de Noordzee) belangrijk kan zijn. In de Oosterschelde wordt een significant negatief verband gevonden tussen vleesgehalte en zwevend stof gehalte ($p=0.047$). Een relatie tussen vleesgehalte van mosselen voedselkwaliteit (verhouding chlorofyl en zwevende stof) wordt in geen van de gebieden gevonden. Het vleesgehalte van mosselen wordt niet beïnvloedt door de grootte van het schelpdierbestand (Fig. 9).



Figuur 8. Relatie tussen jaarlijkse primaire productie, voedselconcentratie (Chla), zwevend stof (ZS) gehalte of voedselkwaliteit (Chla:ZS) en vleesgehalte mosselen (in %). Open cirkels geven aan dat er geen statistisch significante relatie is tussen vleesgehalte en de voedselparameter, dichte cirkels geven een significant positief dan wel negatief verband aan. Voor het Marsdiep zijn er niet voldoende gegevens over mosselvleesgehalte beschikbaar om correlaties te bepalen.



Figuur 9. Relatie tussen vleesgehalte mosselen en bestand aan filtrerende schelpdieren in kombergingsgebieden Marsdiep en Vliestroom in de westelijke Waddenzee en in de Oosterschelde.

Discussie

In eerdere studies zijn verbanden tussen voedsel en schelpdierbestanden aangetoond, zowel voor de Oosterschelde als voor de Waddenzee (zie Tabel 3). In de huidige studie werden slechts enkele verbanden bevestigd: er werd een positief verband gevonden tussen vleesgehalte mosselen en algenconcentratie in het Vliestroom, en in de Oosterschelde was het verband tussen vleesgehalte en zwevende stof gevonden negatief. Overige correlaties, bijvoorbeeld met primaire productie, waren

afwezig. Het uitblijven van relaties, terwijl die eerder wel zijn geobserveerd, kan verschillende oorzaken hebben.

Zo kan het verband tussen het vleesgehalte van mosselen en algenproductie of biomassa schelpdieren de laatste jaren ook door andere processen beïnvloedt worden. Wanneer er geen top-down regulatie van schelpdieren plaats vindt worden de voedselparameters door andere factoren gelimiteerd. Dit kan bijvoorbeeld de concentratie nutriënten beschikbaar voor algengroei zijn. Daarnaast kan het zijn dat de voedselparameters kwalitatief veranderd zijn. Bij de algenproductie, biomassa en verhouding chlorofyl en zwevende stof wordt geen onderscheid gemaakt tussen verschillende soorten algen, of verschillende groottes van de algen. Bepaalde soorten diatomeeën (kiezelwieren) zijn bijzonder voedzaam voor schelpdieren (Helm et al, 2004) en soorten kleiner dan 3 µm kunnen moeilijker uit het water worden gefiltreerd (Cranford et al, 2011). Veranderingen in soortensamenstelling van de algen of grootteverdeling van de algen kan de relatie tussen vleesgehalte en voedsel beïnvloeden. Phillippart et al (2007) beschrijven een verandering in algensoortensamenstelling voor de Waddenzee en Prins et al (2012) doen dit voor de Oosterschelde. Beide schrijven de veranderingen toe aan veranderde nutriëntenconcentraties in het water. In eerdere studies is een relatie gevonden tussen filtratie door mosselen en een toename van algen die te klein zijn om uit het water te filteren (Cranford et al, 2009). In de Oosterschelde is 30% van het plankton te klein (Ihnken and Kromkamp, 2011; Malkin et al., 2010) en in de Waddenzee is dit 20% (Kamermans et al., 2013). Een verandering (kwalitatief) in het voedselaanbod kan dus een verklaring zijn voor het ontbreken van een relatie tussen vleesgehalte en voedsel. Echter, achtergrondwaardes (natuurlijke niveau's) en trends over deze mogelijke kwalitatieve verandering ontbreken.

Daarnaast is in deze studie de biomassa aan filtrerende dieren beperkt tot schelpdieren. Zoöplankton, sponzen en zakpijpen filteren ook algen uit het water. Over de biomassa van deze groepen is echter geen informatie bekend, niet in de westelijke Waddenzee en ook niet in de Oosterschelde. Wanneer er veranderingen in zoöplankton biomassa opgetreden zijn, kunnen die de relatie tussen voedsel, vleesgehalte en bestandsgrootte hebben beïnvloedt.

Tabel 3 Literatuuroverzicht van de relaties tussen vleesgehalte en voedsel of bestandsgrootte
Geobserveerde verbanden tussen voedselcondities en het schelpdierbestand in de Oosterschelde en Waddenzee.
Hierbij geeft Pos een positieve relatie weer, Neg laat zien dat er een negatieve relatie gevonden was, Afw geeft aan dat relatie tussen de parameters afwezig was, en nb betekent 'niet bepaald' en er geen informatie beschikbaar is

Referentie	Gebied	Opmerkingen	Relatie vleesgehalte en Voedselcondities				Relatie vleesgehalte en bestand
			Vleesgehalte vs Primaire Productie	Vleesgehalte vs Algenconcentratie	Vleesgehalte vs Zwevend Stof	Vleesgehalte vs Kwaliteit (ZS:Cha)	
Smaal & Van Stralen 1990;	OS		Pos				
Van Stralen & Dijkema 1994;	OS		Pos				
Smaal et al 2001	OS	Situatie voor en na aanleg stormvloedkering	Pos				Neg: tot 1987 Afw: 1987-1997
Smaal et al (2013)*	OS	Meest waarschijnlijk verklaring was de toename van het bestand Japanse oesters					Neg
Deze studie	OS		Afw	Afw	Pos	Afw	
Schellekens et al (2013)	VS		nb	Pos		Neg	Neg
Deze studie	VS		Afw	Pos	Afw	Afw	Afw

* Gerekend met oude schatting van bestand aan wilde Japanse oesters.

Ten slotte werd in paragraaf 3.3 reeds aangegeven dat de mosselvleesgehalten niet geheel onafhankelijk zijn, daarom zou het ook kunnen zijn dat de leveringen aan de veilig niet meer representatief zijn voor de groei van mosselen in de betreffende gebieden. Ook dit kan een reden zijn voor het uitblijven van verbanden tussen mosselvleesgehalte (als proxy voor voedsel) en de grootte van het schelpdierbestand. Bepaling van de groei van mosselen door middel van een onafhankelijke maat kan beter zijn dan gebruik maken van de leveringen aan de veiling. Leveringen zijn naast de kwaliteit van de mosselen ook afhankelijk van de markt op dat moment. Het KOMPRO en INNOPRO project bepaald de groei van mosselen door aan het begin van het groeiseizoen mandjes met dezelfde mosselen op verschillende plaatsen in de Oosterschelde en westelijke Waddenzee te plaatsen (Capelle et al, ongepubliceerde gegevens). Vervolgens wordt per locatie maandelijks een deel van de mosselen doorgemeten. Deze methodiek kan ook toepasbaar zijn voor het monitoren van de draagkracht-indicator vleesgehalte mosselen. Momenteel zijn hier echter nog geen langjarige reeksen voor beschikbaar en kan dus nog niet gebruikt worden in draagkracht evaluaties.

3.5 Indices Clearance en Grazing Ratio (V)

Introductie

Ten slotte kan er ook nog naar draagkracht indices gekeken worden. De Clearance Ratio en Grazing Ratio worden in de literatuur veelal gebruikt om draagkracht in verschillende gebieden te vergelijken (Jansen et al 2019; Smaal 2017). Hierbij wordt de filtratiecapaciteit van de schelpdieren afgezet tegen de aanvoer van voedsel (Clearance Ratio), dan wel de interne productie van voedsel (Grazing Ratio).

Methode

De Clearance Ratio ($CR=CT/RT$) geeft aan in hoeverre de externe voedseltoevoer van buiten het ecosysteem komt, aan de hand van de verhouding tussen de tijd die de schelpdieren er over doen om het voedsel uit het totale watervolume van het ecosysteem te filteren (de Clearance Tijd) en de verblijftijd van het water in het betreffende ecosysteem (de Residence Time, RT). De Clearance Time is gelijk aan het volume van het systeem gedeeld door de filtratiesnelheid van de schelpdieren (zie ook 3.1). Hierbij wordt geen rekening gehouden met refiltratie. In de huidige studie is de CT bepaald voor de mossel, kokkel, Japanse oester, mesheft en strandgaper tezamen. Vervolgens is de CT gedeeld door de RT voor ieder van de deelgebieden (zie Tabel 4) om tot een schatting van de Clearance Ratio te komen. In deze berekeningen worden jaargemiddelde waardes gebruikt.

Tabel 4 Fysische karakteristieken van de (productie)ecosystemen

Gemiddeld volume, diepte en verblijftijden van de Oosterschelde en kombergingsgebieden in de Waddenzee zoals gebruikt om CR en GR indices te berekenen

Gebied	Watervolume (in miljoen m ³)	Diepte (m)	Referentie	Verblijftijd (Residence Time)	Referentie
Oosterschelde	2741	9	Smaal et al 2013	52 (west) 88 (centraal) 106 (noord) 112 (oost)	Long et al. 2019
Waddenzee Marsdiep	2623	4.6	Brinkman 2013	16	Schellekens et al 2013
Waddenzee Vliestroom	1864	2.2		15.7	

De Grazing Ratio ($GR=CT/PT$) geeft aan hoe snel het voedsel wordt gefiltreerd (CT) ten opzichte van de snelheid waarmee het voedsel intern in de Oosterschelde en de westelijke Waddenzee geproduceerd wordt via de primaire productie (Production Time, PT). Om de PT te berekenen wordt de algenconcentratie (Chla) gedeeld door de algenproductie (primaire productie). Hiertoe is de algenconcentratie (in mg Chla per m³) vermenigvuldigd met de gemiddelde diepte van het systeem (zie tabel 4). Vervolgens zijn de primaire productie waarden (in g C per m² per dag) omgerekend naar chlorofyl (in g chla per m³ per dag) op basis van een conversie factor van 30 (Wetsteijn en Kromkamp 1994). Deze waarden zijn door elkaar gedeelt om tot de PT te komen. Ten slotte is de CT gedeeld door de PT om tot een schatting van de Grazing Ratio te komen voor ieder van de deelgebieden.

De Clearance en Grazing Ratio staan niet los van elkaar en moeten in gezamenlijkheid geanalyseerd worden. Hierbij moet één van beide ratio's boven de grenswaarde liggen. Een lage CR kan dus worden gecompenseerd door hoge GR en omgekeerd. Zo kan een lage CR door een hoge verblijftijd worden gecompenseerd door een hoge lokale productie (hoge primaire productie). Andersom kan een systeem met weinig primaire productie (lage GR) toch veel schelpdieren hebben als er veel voedsel wordt geïmporteerd (hoge CR). Er is in de literatuur geen consensus over grenswaarden van CR en GR voor de benutting van de ecologische draagkracht door geëxploiteerde schelpdierpopulaties. In theorie is dit getal 1 voor beide indexen, waarbij een getal lager dan 1 aangeeft dat draagkracht overschreden wordt. In bepaalde gevallen, zoals voor het ASC label voor gekweekte bestanden, wordt de grenswaarde van 3 gehanteerd voor de Grazing Ratio (TPC, Threshold for Potential Concern), wanneer blijkt dat de CR lager is van 1. De Nederlandse mosselkweek is MSC gecertificeerd, en in de MSC standaarden wordt draagkracht ook meegewogen in de evaluatie (MSC, 2018).

Resultaten

Voor zowel de Oosterschelde als de Waddenzee (Marsdiep en Vliestroom) geldt dat de Clearance Ratio onder de theoretische grenswaarde van 1 valt. Dit geeft aan dat de filtratie door schelpdieren sneller is dan de uitwisseling met de omgeving. Met andere woorden; de schelpdieren eten meer dan wordt aangevoerd van buiten het systeem. Onder deze omstandigheden wordt de interne productie van voedsel bepalend voor de draagkracht, en moet er dus naar de Grazing Ratio gekeken worden.

In Marsdiep en Vliestroom schommelt de Grazing Ratio in de periode 2004-2014 rond de 3. Voor de Oosterschelde is geen Grazing Ratio berekend na 2010 omdat er vanaf dat moment geen primaire productie metingen meer plaats vinden, maar tot dat jaar lag de waarde ruim boven de 3 en het gefiltreerde volume is afgenomen na 2010 (zie ook Fig. 5 voor filtratie volumes). In alledrie de gebieden lijkt de voedselproductie dan ook voldoende om de filtratie door schelpdieren te compenseren. Al geven deze waardes ook aan dat er in de kombergingsgebieden in de Waddenzee wel aandacht dient te zijn voor de graasdruk van de schelpdierbestanden. Op dit moment bepaald de berekende filtratiedruk van de strandgaper een groot deel van de totale graasdruk van de waddenzee kombergingen (zie ook sectie 3.1). Omdat de waardes hiervan mogelijk overschat zijn worden de Clearance en Grazing Ratio's van het gehele bestand daarmee onderschat.

Tabel 5 Draagkracht indices

Clearance en Grazing Ratios voor de Oosterschelde en westelijke Waddenzee. GR voor de Waddenzee is voor 3 scenario's berekend: (i) voor het gehele bestand, (ii) voor het gehele bestand exclusief de strandgaper, en (iii) voor alleen het bestand aan kweekmosselen.

Gebied	Clearance Ratio	Grazing Ratio	Opmerkingen
Oosterschelde (Periode 1992-2010)	<1	GR gehele bestand >5	CR <1 dus GR is sturend in draagkracht bepaling. Geen Primaire productie gegevens bekend na 2010, daarom kan GR niet berekend worden na 2010. Filtratiedruk is slechts beperkt toegenomen.
Waddenzee Marsdiep (Periode 2004-2014)	<1	GR met strandgapers: ~3 GR zonder strandgapers: >3 GR alleen op basis van kweekmosselen: >10	CR <1 dus GR is sturend in draagkracht bepaling. Primaire productie modelering tot 2014 beschikbaar Filtratiedruk strandgapers is hoog, maar er zijn geen goede fysiologische parameters beschikbaar. Daarom is de filtratiedruk mogelijk overschat (zie sectie 3.1), en GR onderschat
Waddenzee Vliestroom (Periode 2004-2014)	<1	GR met strandgapers: ~<3 GR zonder strandgapers: >4 GR alleen op basis van kweekmosselen: >8	

Discussie

Via deze indices worden graasdruk en beschikbaarheid van voedsel (interne productie en verversing van buiten) aan elkaar gekoppeld, en geven daarmee (in theorie) een goed handvat om overbegraaiing te evalueren. Toch zijn er ook wat kanttekeningen te maken bij het gebruik van dergelijke grove indices.

De indices worden als jaarlijkse waarde per gebied/komberging berekend en de ruimtelijke en temporele variatie is gering. Zo wordt bijvoorbeeld gebruik gemaakt van een gemiddelde residence time (RT) voor het gehele (productie) ecosysteem. In werkelijkheid kan deze sterk verschillen. Zo is in de Oosterschelde in de monding de RT lager, waardoor de Clearance Ratio omhoog gaat, terwijl in de Kom en Noordelijke tak de RT hoger is en dus de Clearance Ratio lager (zie Tabel 4 voor RT). Long et al (2019) lieten inderdaad onlangs zien dat de Clearance Ratios voor de vier compartimenten in de Oosterschelde een west-oost gradient lieten zien (0.75, 0.22, 0.03, 0.09 voor de monding, midden, noordelijke tak en kom respectievelijk). Dit laat zien dat bij de monding de import vanuit de Noordzee belangrijker is dan in de kom. Alle Clearance Ratio's liggen wel onder de 1 wat suggereert dat interne productie ook van belang is voor de voedselbeschikbaarheid. De Grazing Ratio's kunnen momenteel nog niet gesimuleerd worden op basis van het model opgesteld door Long et al (2019). Ook in de westelijke Waddenzee zijn de schelpdierbestanden niet evenredig over het kweekgebied verspreid; de mosselkweekpercelen dichtbij de zeegaten waar de waterversing hoog is (lage RT) en de dichtheden strandgapers zijn hoger nabij de afsluitdijk (Troost et al in 2019). Daarnaast is het mogelijk dat er lokale depletie van het voedsel optreedt waar geen rekening mee gehouden wordt in de berekening van CR en GR indices.

Momenteel worden deze indices veelal gebruikt om verschillende kweekgebieden met elkaar te vergelijken (zie Jansen et al 2019, Smaal 2017), maar de vraag is in hoeverre de ruimtelijke (kombergingsgebieden) en temporele (jaarlijks) schaal, voldoende zijn om de variatie binnen de hoog dynamische en variabele ecosystemen als de Waddenzee en de Delta te vangen. Daarom moeten de indices op dit moment vooral gezien worden als een methode om majeure trends en veranderingen in een (kweek)ecosysteem in kaart te brengen (vinger aan de pols). Dit kan vervolgens gebruikt worden om op specifieke processen in te zoomen.

4 Synthese: evaluatie draagkracht

4.1 Conclusies

In deze studie is gekeken naar de interactie tussen schelpdieren en hun voedsel (micro-algen). Het doel daarbij was om te bepalen of de mosselkweek in de Oosterschelde en de westelijke Waddenzee een negatieve druk uitoefent op het ecosysteem functioneren. Om dat te bepalen is er in eerste instantie gekeken naar de regulatie van alle schelpdieren tezamen op productie en beschikbaarheid van micro-algen. Daarna is gekeken naar het aandeel dat de mosselkweek heeft in de totale graasdruk ten opzichte van alle andere wilde bestanden schelpdieren die allemaal, min of meer, dezelfde voedselbron hebben.

(1) Is er momenteel sprake van overbegrazing door schelpdieren in de Oosterschelde en de Westelijke Waddenzee?

Om dit te bepalen zijn een vijftal analyses uitgevoerd (trends, correlaties en indices), waarvan de resultaten samengevat worden in Tabel 5. Met name analyse IV (correlaties) en V (indices) geven inzicht in de invloed van schelpdierbestanden op de voedselbeschikbaarheid, en analyses I-III (trends) zijn ondersteunend in het beschrijven van veranderingen in het systeem.

Op basis van deze resultaten is het niet waarschijnlijk dat de schelpdieren in de Oosterschelde en de westelijke Waddenzee momenteel de micro-algen overbegrazen. Dit is een indicatie dat de draagkracht niet overschreden wordt. Ondanks dat de trends en absolute waarden van schelpdierbestanden en voedselcondities verschillend zijn in ieder van de systemen, duidt dit verschil niet direct op een probleem in één van de systemen. Een relatief lage primaire productie in de Vliestroom ten opzichte van het Marsdiep en de Oosterschelde duidt bijvoorbeeld niet op een overschrijding van draagkracht in de Vliestroom. Algemene conclusies en aandachtspunten voor Oosterschelde, Marsdiep en Vliestroom worden daarom hieronder separaat voor ieder van de systemen weergegeven.

Oosterschelde

Uit de indices (V) blijkt dat interne productie van micro-algen (primaire productie) van belang is voor de voedselbeschikbaarheid in de Oosterschelde. De primaire productie wordt echter sinds 2010 niet meer gemeten en het is dan ook niet bekend of de afnemende trend zoals gerapporteerd in Smaal et al (2013) zich de laatste jaren doorgezet heeft. Wanneer we kijken naar voedselconcentraties en naar de mosselvleesgehalten (als proxy voor voedselbeschikbaarheid) dan zien we sinds 2010 geen verdere afname van de micro-algen (Chla) concentraties en de mosselvleesgehalten zijn weer toegenomen tot het niveau van voor 2000. Ook de nutriëntenconcentraties (voedingsstoffen voor algengroei) in de Oosterschelde zijn de laatste jaren stabiel (Annex 2). Dit maakt een verdere daling in primaire productie niet waarschijnlijk. Daarnaast is het (wilde) oesterbestand sinds 2011 iets afgenomen, evenals het kokkelbestand, en daarmee ligt ook de graasdruk iets lager. Er zijn geen correlaties gevonden tussen het schelpdierbestand en de voedselcondities, wat aangeeft dat het niet waarschijnlijk is dat de schelpdieren druk uitoefenen op de voedselbeschikbaarheid. Deze conclusies zijn anders dan gerapporteerd in Smaal et al (2013) welke concludeerden dat de draagkracht voor filtrerende schelpdieren in de Oosterschelde bereikt was. Als meest waarschijnlijke verklaring werd de toegenomen graasdruk gegeven door een toenemend oesterbestand. Sinds 2012 heeft er een herijking van het oesterbestand plaats gevonden waardoor dit op een aanzienlijk lager niveau geschat wordt: in sommige jaren wordt het bestand twee- tot driemaal lager ingeschat (Troost & Van Asch 2019). Het blijft onbekend wat de afname in primaire productie in de periode 1990-2010 veroorzaakt heeft, maar de geüpdatete informatie wijst er niet meer op dat een relatie met het oesterbestand, noch de totale graasdruk, waarschijnlijk is.

Tabel 5 Samenvattend overzicht resultaten

Belangrijkste conclusies uit de analyse stappen (I tot V) die een gezamenlijk beeld geven van de ontwikkelingen in draagkracht voor schelpdieren in de Oosterschelde en de kombergingsgebieden van de Waddenzee

	Waddenzee		
	Oosterschelde (OS)	Marsdiep (MD)	Vliestroom (VS)
<i>Ontwikkelingen Schelpdierbestanden en voedselbeschikbaarheid</i>			
(I) Schelpdierbestanden	Variabel. Geen toe- of afnemende trend	Sterke toename in periode 2008-2012 vnl door mosselen en kokkels	Toename sinds 2010 kokkels en mosselen
(I) Graasdruk	Variabel	Toename sinds 2008. Strandgaper meest dominant	Variabel maar stabiel. Strandgaper meest dominant
(II) Voedselproductie – primaire productie	Afname 1990-2010. Daarna geen data beschikbaar	Variabel maar stabiel. 2000-2010 vergelijkbaar met OS. Alleen data uit modelsimulatie beschikbaar	Stabiel. Relatief laag (~helft van MD). Alleen data uit modelsimulatie beschikbaar
(II) Voedselconcentratie – Chlorofyl a	2001-2007: afnemend 2008-2016: stabiel Lager dan Waddenzee	Variabel. Voor 2000 hoger dan daarna.	Variabel. Voor 2000 hoger dan daarna.
(II) Voedselkwaliteit – Chla:ZS	Voor 2005 hoog	Voor 2005 hoog	Variabel. Vanaf 2005 vergelijkbaar met OS& MD
(III) Voedsel proxy - Mosselvleesgehalte	2001-2008: afnemend 2009-2016: relatief hoog	Geen data recente jaren	Hoger dan OS
<i>Invloed schelpdierbestanden op voedselbeschikbaarheid</i>			
(IV) Correlaties – voedsel:vleesgehalte	Vleesgehalte en zwevend stof negatief gecorreleerd. Geen correlatie met Chla, en primaire productie	Geen data	Vleesgehalte en algenconcentratie (Chla) positief gecorreleerd. Geen correlatie met primaire productie
(IV) Correlaties – vleesgehalte:bestanden	Geen correlatie	Geen data	Geen correlatie
(V) Draagkracht Indices	Clearance Ratio <1. Daarom GR van belang. Grazing Ratio >>3 Boven grenswaarde ASC	Clearance Ratio <1. Daarom GR van belang. Grazing Ratio ~3 Boven grenswaarde ASC	Clearance Ratio <1. Daarom GR van belang. Grazing Ratio ~3 Boven grenswaarde ASC

Waddenzee - Marsdiep

De schelpdierbestanden, en daarmee de graasdruk, zijn in de periode 2008-2016 sterk toegenomen in het Marsdiep. De vraag is dan ook of dit effect heeft gehad op de voedselbeschikbaarheid, en daarmee op ontwikkelingen in de draagkracht van het kombergingsgebied.

De (gemodelleerde) primaire productie in het Marsdiep is variabel maar vertoont geen duidelijke toe- of afname, terwijl de chlorofyl concentratie in de periode voor 2000 hoger was dan in de periode daarna. De afgenomen voedselconcentratie zou kunnen duiden op overbegrazing. Data over de ontwikkelingen in de graasdruk van het gehele schelpdierbestand zijn echter pas sinds 2004 beschikbaar. Deze laten zien dat de graasdruk pas de afgelopen 5 jaar sterk toegenomen is. In de periode voor 2004 werden de mosselen op percelen niet bemonsterd maar is wel informatie beschikbaar over de trends van de wilde schelpdierbestanden. Deze lieten zien dat de bestanden variëren van jaar tot jaar maar dat de sterke toename in biomassa pas plaats vond in de afgelopen 5 jaar. De toename in het schelpdierbestand valt dan ook niet gelijk verandering in chlorofyl a concentraties, waardoor overbegrazing niet waarschijnlijk lijkt en de lagere Chla concentraties door externe factoren veroorzaakt wordt. Omdat het Marsdiep de laatste jaren vooral wordt gebruikt als gebied om halfwas mosselen te kweken, zijn er vanaf 2008 nagenoeg geen gegevens over de ontwikkeling in mosselvleesgehalten beschikbaar. De periode 1990-2008 liet geen duidelijke toe of afname zien in de vleesgehalten, en is daarmee vergelijkbaar met de trends in primaire productie en vertoont geen relatie met de Chla concentraties. De Clearance Ratio (<1) en Grazing Ratio (~3) geven

inderdaad aan dat met name de interne productie, en niet de uitwisseling met water en voedsel vanuit de Noordzee belangrijk is voor de voedselbeschikbaarheid in het gehele kombergingsgebied. De Grazing Ratio is niet afgenomen conform de graasdruk zou vermoeden omdat de primaire productie in dezelfde periode (2004-2016) toenam na een daling in 2004. Bovenstaande laat zien dat het niet waarschijnlijk is het voedsel (micro-algen) momenteel overbegraasd wordt door de schelpdierbestanden, maar de toenemende graasdruk en een ratio van rond de 3 suggereert wel om trends te blijven volgen en specifiek aandacht te besteden aan de graasdruk van de strandgaper, omdat deze in de huidige berekeningen de belangrijkste bijdrage levert aan de totale graasdruk (in sommige jaren >50%). Ter illustratie; wanneer de strandgaper en Ensis buiten beschouwing worden gelaten ligt de GR in beide kombergingsgebieden in de Waddenzee ongeveer 2 maal hoger, en daarmee een stuk boven de ASC drempelwaarde voor duurzame kweek. Daarnaast wordt de bestands toename voor een belangrijk deel bepaald door een goede broedval van kokkels in 2010. Het is bekend dat kokkels slechts eenmaal in de 5-7 jaar een goede broedval kennen en de verwachting is dan ook dat het bestand langzaam weer zal dalen. De kokkels leveren echter maar een geringe bijdrage aan de totale graasdruk omdat ze een relatief lage filtratiesnelheid hebben (zie Tabel 2).

Ondanks de sterke toename van de schelpdierbestanden en de bijbehorende graasdruk de afgelopen jaren laat de ontwikkeling in voedselparameters (pp, Chla) geen sterke veranderingen zien die duiden op overbegrazing van het systeem. Omdat directe metingen aan zowel primaire productie als de mosselkwaliteit (mosselvleesgehalte) ontbreken, en omdat de draagkracht indices (GR) rond de 3 (grenswaarde voor ASC) schommelen is het wel aan te bevelen de ontwikkelingen in het Marsdiep te blijven volgen in de aankomende jaren.

Waddenzee - Vliestroom

In de Vliestroom zijn de vleesgehaltes hoog wat een indicatie is dat de voedselbeschikbaarheid voldoende is. Ontwikkelingen in graasdruk en primaire productie geven ook geen aanwijzing dat draagkracht voor schelpdieren onder druk staat in de Vliestroom.

De Vliestroom toont een lagere primaire productie dan in het Marsdiep, maar heeft een vergelijkbare algenconcentratie. Lagere primaire productie wordt naar alle waarschijnlijkheid verklaard door een lagere nutriëntconcentratie in de Vliestroom (Annex 2), en de relatief hoge algenconcentratie kan duiden op import vanuit de Noordzee. Toch lijkt, net als voor de Oosterschelde en het Marsdiep, op basis van de Clearance en Grazing Ratios dat interne productie belangrijker is dan de import vanuit de Noordzee voor de voedselbeschikbaarheid van schepdieren. Er wordt echter geen relatie gevonden tussen mosselvleesgewicht en primaire productie, maar wel tussen mosselvleesgewicht en chlorofyl concentraties. De mosselpercelen in de Vliestroom zijn veelal gelegen nabij de zeegaten, waar relatief veel toevoer van voedsel uit de Noordzee plaats vindt. Dit kan mogelijk de hoge vleesgehaltes verklaren. Door de sterke concentratie van percelen (en dus mosselbiomassa) nabij de zeegaten zijn de Clearance en Grazing ratios, welke in de huidige studie gebaseerd zijn op het gehele kombergingsgebied, mogelijk minder geschikt om duiding te geven aan draagkracht voor schelpdieren. In dat geval zijn lokale processen belangrijker.

(2) hoe groot is de bijdrage van mosselkweek in de totale begrazing?

De vraag hoe groot de bijdrage van kweekmosselen is aan de totale graasdruk lijkt voor draagkrachtvraagstukken minder relevant nu er geen aanwijzingen zijn dat de productiviteit van de systemen, noch het actuele voedselaanbod zodanig wordt verlaagd dat daarvan als nadelig te beoordelen effecten op andere soorten zijn te verwachten. Voor de volledigheid geven we hieronder toch een overzicht van de bijdrage van kweekmosselen aan de totale graasdruk.

Kweekmosselen dragen substantieel bij aan de grootte van het totale schelpdierbestand; in de Oosterschelde betreft dit ongeveer 1/3 en in de westelijke Waddenzee tot 1/5 van het totale bestand (zie tabel 6). Wanneer we bestands grootte vertalen naar graasdruk zien we dat in de Oosterschelde de bijdrage van mosselkweek aan de totale graasdruk groter is dan verwacht op basis van bestands grootte; ongeveer de helft van het totaal gefiltreerde voedsel wordt door de gekweekte mosselen opgegeten. In de Waddenzee wordt het totaal gefiltreerde voedsel in grote mate bepaald door de activiteit van de strandgaper (zie ook discussie sectie 3.1), de bijdrage van de gekweekte mosselen is daarom gelijk aan of lager dan de totale bestands grootte.

Tabel 6 Belang Mosselkweek

Bestand en graasdruk van kweekmosselen uitgedrukt als percentage (%) van het totale schelpdierbestand dan wel de graasdruk van alle schelpdieren tesamen. Gemiddeld \pm SD over de jaren 2004 tot en met 2015 voor de Oosterschelde en 2004 tot en met 2016 voor de Waddenzee

Gebied	Beschrijving mosselkweek	Aandeel kweekmosselen tov alle schelpdieren tesamen	
		Bestand	Graasdruk
Oosterschelde	Weinig natuurlijke zaadval. Mosselzaad voor de kweek op percelen afkomstig van de Waddenzee of van MZIs in de Oosterschelde of Voordelta	32 \pm 8%	48 \pm 9%
Waddenzee - Marsdiep	Mosselzaad afkomstig van mosselzaad-banken of MZIs in de Waddenzee. Kweek-percelen worden gebruikt voor opkweek van halfwas mosselen. Vrijwel geen leveringen van consumptiemosselen aan de veiling	16 \pm 6%	10 \pm 5%
Waddenzee - Vliestroom	Mosselzaad afkomstig van mosselzaad-banken of MZIs in de Waddenzee. Kweek-percelen vooral gebruikt voor opkweek van consumptiemosselen	21 \pm 6%	21 \pm 7%

4.2 Aanbevelingen

De evaluatie van draagkracht vond plaats aan de hand van een serie analysestappen. Dit is gedaan omdat veel informatie gefragmenteerd beschikbaar is. Zo is er bijvoorbeeld geen informatie over de primaire productie in de Oosterschelde na 2010, en is de primaire productie voor de westelijke Waddenzee enkel beschikbaar op basis van modelberekeningen. Toch kan er door de verschillende dataseries naast elkaar te leggen wel een beeld geschetst worden van de ontwikkelingen in voedsel en graasdruk in beide gebieden, en daarmee over de ontwikkelingen in draagkracht.

Om de evaluatie van draagkracht voor schelpdieren te optimaliseren worden hieronder enkele aanbevelingen gedaan over verbeteringen van empirische metingen en analyse methodes maar ook voor mogelijke alternatieve metingen om beter/specifieker inzicht te krijgen in de relaties tussen schelpdieren en hun voedselbronnen.

Verbeteringen en uitbreiding van empirische metingen

- Voor een goede schatting van de filtratiedruk is een goede schatting van het bestand aan filtrerende dieren noodzakelijk. Soorten als mesheften en strandgapers, die diep in de bodem leven, worden mogelijk onderschat in de huidige bestandsopnamen, omdat deze zijn opgezet voor kokkels en mosselen. In 2011 zijn er daarom extra meetpunten toegevoegd aan de surveys om met name de ruimtelijke dekking van mesheften beter in kaart te kunnen brengen. Ruimtelijke verspreiding van strandgapers is in de huidige survey wel goed gedekt, de vangstefficiënte is echter niet goed bekend en de vistuigen (schaaf, zuigkor) bemonsteren slechts een deel van de strandgapers (voornamelijk siphonen op basis waarvan een schatting maakt wordt in grootteklassen). Beter inschatting van de vangstefficiëntie zal leiden tot een betere bestandschatting. Hierbij dient echter wel opgemerkt te worden dat de trends in huidige bestandschatting wel waardevol zijn omdat de afgelopen jaren de bestanden altijd op eenzelfde wijze bepaald zijn.
- Uit de schattingen voor bestandsgrootte, maar met name de graasdruk blijkt dat de strandgaper in de westelijke Waddenzee een wezenlijke bijdrage levert. Voor de bepaling van graasdruk is echter relatief weinig informatie beschikbaar. In de huidige studie is gebruikt gemaakt van *clearance rate* gegevens op basis van Bacon et al. (1998). De vraag is hoe representatief deze zijn voor de strandgapers in de Waddenzee. Het is daarom de aanbeveling om *clearance rates* te bepalen voor strandgapers specifiek uit de gebieden in de Waddenzee waar deze veel voorkomen. Daarnaast hebben *in situ* metingen de voorkeur boven lab

metingen, waar strandgapers naast voedsel uit de waterkolom ook de keus hebben gesedimenteerd detritus.

- Daarnaast filtreren ook andere soorten algen uit het water, zoals zoöplankton, sponzen en zakpijpen. Maar ook oesters op hardsubstraat worden niet bemonsterd. De biomassa van deze groepen wordt niet bepaald in de Waddenzee en Oosterschelde. Monitoring van deze groep verdient aanbeveling. Ook is onbekend wat het aandeel van zoöplankton is in het voedsel van soorten als mesheft en strandgaper.
- Primaire productie is een belangrijke indicator voor ontwikkelingen in voedselbeschikbaarheid. Aanbeveling is daarom om de metingen in de Oosterschelde te hervatten (wordt reeds gedaan) en op te nemen in reguliere monitoringsprogramma's om de continuïteit in de meetserie te waarborgen. In de westelijke Waddenzee wordt primaire productie slechts op één locatie bepaald. Aanbeveling is om een vergelijkbaar programma als in de Waddenzee op te stellen om de ruimtelijke (en temporele) variatie beter te ondervangen.
- Concentratie Chlorofyl a worden veel gebruikt als maat voor de beschikbare hoeveelheid voedsel voor schelpdieren. Er is tegenwoordig steeds meer discussie of dit een juiste maat is als voorspeller van mosselgroei. Zo maakt deze parameter geen onderscheid tussen het type alg en de voedingswaarde hiervan. In sectie 3.4 bediscussieerden we dat de grootte samenstelling van algen ook een indicatie kan zijn voor draagkracht, waarbij een hoog percentage picoplankton duidt op overbegrazing. Om beter inzicht te krijgen in de voedselbeschikbaarheid (kwalitatief en kwantitatief) is de aanbeveling om naast chlorofyl a metingen ook de soortensamenstelling, grootteklassen en energetische waarde van de algen te bepalen. Het is daarbij van belang dit op te nemen in monitoringsprogramma's omdat voor draagkracht evaluatie juist de trends in parameters van belang is.
- De indicator vleesgehalte mosselen is een goede proxy voor voedselbeschikbaarheid. Levering aan de veilig is echter afhankelijk van verschillende factoren. Onafhankelijke metingen aan mosselgroei en vleesgehalten zou daarom beter zijn. Binnen het INNOPRO project worden recent deze metingen verricht. Omdat continuïteit belangrijk is, is de aanbeveling om de huidige monitoring van schelpdierbestanden in de Oosterschelde en westelijke Waddenzee uit te breiden met bepalingen van vleesgehalte van mosselen, ook na afloop van het INNOPRO project.

Verbeteringen analyse methodes

Voor de berekening van draagkracht indices (Clearance & Grazing Ratio) zijn schattingen van graasdruk en voedselproductie/aanvoer essentieel. Hierboven zijn reeds aanbevelingen gegeven om deze dataserie te verbeteren. Daarnaast kunnen de analyse technieken aangescherpt worden. Op dit moment zijn de CR en GR berekend op het niveau van het gehele kombergingsgebied. De soorten zijn echter niet evenredig verdeeld over de kombergingen en ook uitwisseling met water uit de Noordzee (Residence Times) is niet evenredig. Zo ligt een groot deel van de kweekpercelen in de Oosterschelde en Vliestroom nabij de zeegaten, waar ze gebruik kunnen maken van de aanvoer van voedsel vanuit de Noordzee. Daarentegen komt in de westelijke Waddenzee de strandgaper vooral voor nabij de Afsluitdijk, en in de Oosterschelde is bijvoorbeeld de oesterkweek geconcentreerd in de kom, en deze gebieden zullen minder onder invloed staan van de uitwisseling met Noordzee water. In de laatste gebieden zal de interne productie van voedsel en dus GR van belang zijn, terwijl nabij de zeegaten de CR mogelijk meer inzicht geeft in de relatie tussen graasdruk en voedselbeschikbaarheid. Long et al (2019) hebben onlangs een eerste aanzet gemaakt om CR voor de vier compartimenten in de Oosterschelde te bepalen en lieten inderdaad zien dat er een west-oost gradiënt bestaat: in de kom is de CR hoger (0.75) dan in de kom (0.09). Dit geeft aan dat de schelpdieren in de kom afhankelijker zijn van interne productie van algen. Waddenzee en de Oosterschelde zijn zeer dynamische systemen met grote variatie in soortvoorkomen, fysische en biotische parameters. Specificering van draagkrachtindicatoren (CR en GR) op een kleinere ruimtelijke schaal is daarom aan te bevelen om beter inzicht te krijgen in de bepalen de processen en om de invloed van mosselkweek beter te kunnen duiden. Ook verschillen tussen seizoenen kunnen van belang zijn; in de zomer zal er een grotere druk liggen op de micro-algen concentraties dan in de winter.

Dankwoord

Graag bedanken wij Marnix van Stralen voor het aanleveren van de gegevens over het vleesgehalte van mosselen, Emiel Brummelhuis, Carola van Zweeden, Jetze van Zwol en Karin Troost voor de reconstructie van het wilde oesterbestand in de Oosterschelde en Bert Brinkman voor het berekenen van de primaire productie in de Waddenzee.

Kwaliteitsborging

Wageningen Marine Research beschikt over een ISO 9001:2015 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. Dit certificaat is geldig tot 15 december 2021. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV GL.

Literatuur

- Asch M. van, K. Troost, A. Blanco-Garcia, E.B.M. Brummelhuis, D. van den Ende en C. van Zweeden (2016) Het kokkelbestand in de Nederlandse kustwateren in 2016. IMARES Rapport C080/16
- Bacon GS, BA MacDonald, JE Ward (1998) Physiological responses of infaunal (*Mya arenaria*) and epifaunal (*Placopecten magellanicus*) bivalves to variations in the concentration and quality of suspended particles I. Feeding activity and selection. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 219: 105-125
- Brinkman AG, 1993. Biological processes in the EcoWasp ecosystem model. IBN Research Report 93/6. 111 pp.
- Brinkman AG & Smit JPC. 1993. Porewater profiles in the EcoWasp ecosystem model. IBN Research Report 93/2. 62 pp.
- Brinkman AG. 2012. Zandwinning in de Nederlandse kustzone 2013-2017 en biologische productie in de westelijke Waddenzee, een modelstudie. IMARES Rapport C087/12.
- Brinkman AG. 2013. Modelling the effects of mussel seed collectors on the Wadden Sea ecosystem. Wageningen, IMARES Report number C061/13. 160pp
- Brinkman AG. 2015. Ecosysteemeffecten van lokaal veranderde slibgehalten in de westelijke Waddenzee. IMARES Rapport C157/15
- Brummelhuis E.B.M., K. Troost, D. van den Ende, C. van Zweeden (2011) Inventarisatie van Japanse oesterbanken in de Oosterschelde en Waddenzee in 2011. IMARES Rapport C175/11
- Capelle JJ, Wijsman JW, van Stralen MR, Herman PM & Smaal AC (2016) Effect of seeding density on biomass production in mussel bottom culture. *Journal of Sea Research* 110:8-15
- Cervencel, A., Troost, K., Dijkman, E., de Jong, M., Smit, C.J., Leopold, M.F., Ens, B.J., 2015. (2015) Distribution of wintering Common Eider *Somateria mollissima* in the Dutch Wadden Sea in relation to available food stocks. *Marine Biology* 162 (2015)1. 153 - 168.
- Cranford P., Ward J.E. and Shumway S., 2011. Bivalve filter feeding: Variability and limits of the aquaculture biofilter. In: *Shellfish Aquaculture and the Environment*. Ed Shumway. Wiley & Blackwell, 81-124.
- Cranford P., Hargrave B., Li W., 2009. No mussel is an island. *Ices insight* 46:44-49
- Douglas Bates, Martin Maechler, Ben Bolker, Steve Walker (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48. doi:10.18637/jss.v067.i01.
- Drent J., R. Dekker, 2013. How different are sublittoral *Mytilus edulis* communities of natural mussel beds and mussel culture plots in the western Dutch Wadden Sea. NIOZ/PRODUS PR 2 Rapport
- Ende D. van den, K. Troost, M. van Asch, E. Brummelhuis & C. van Zweeden (2016) Mosselbanken en oesterbanken op droogvallende Mosselbanken en oesterbanken op droogvallende platen in de Nederlandse kustwateren 2016: bestand en arealen. Wageningen University & Research Rapport C109/16
- Ende D. van den, K. Troost, M. van Asch, E. Brummelhuis & C. van Zweeden (2018) Mosselbanken en oesterbanken op droogvallende Mosselbanken en oesterbanken op droogvallende platen in de Nederlandse kustwateren 2018: bestand en arealen. CVO Report 18.023
- Hartog E., J. Jol, J.J. Kesteloo, K.J. Perdon, & K. Troost (2012) Het bestand aan Mesheften (*Ensis* sp.) in de Oosterschelde in 2012. IMARES Rapportnummer C035/13
- Helm, M.M., Bourne, N. Lovatelli, A. (2004) Hatchery culture of bivalves - A practical manual In *FAO Fisheries Technical Paper 471*, pp. 177. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Herman PMJ, Middelburg JJ, Van de Koppel J, Heip CHR. 1999. Ecology of estuarine macrobenthos. *Advances in Ecological Research* 29: 195-240.
- Ihnken, S., Kromkamp, J.C., 2011. Phytoplankton cells and particles in the Oosterschelde: functional relationships to the underwater light climate and food availability for bivalves. NIOO Report.
- Inglis, G. J., B. J. Hayden and A. H. Ross (2000) An overview of factors affecting the carrying capacity of coastal embayments for mussel culture. NIWA, Report number: Client Report: CHC00/69, 38 pages
- Jansen HM, Ø Strand, W van Broekhoven, T Strohmeier, MC Verdegem and AC Smaal (2019) Feedbacks from filter feeders: review on the role of mussels in cycling and storage of nutrients in oligo- meso- and eutrophic cultivation areas. In: *Goods and Services of Marine Bivalves*. Eds: Aad Smaal, J. Gomes Ferreira, Jon Grant, Jens K. Petersen, Oivind Strand
- Kamermans P. (1993) Food limitation in cockles (*Cerastoderma edule* (L.)): Influences of location on tidal flat and of nearby presence of mussel beds. *Netherlands Journal of Sea Research* 31:71-81

-
- Kamermand P, E Brummelhuis & M Dedert (2013) Effect of algae- and silt concentration on clearance- and growth rate of the razor clam *Ensis directus*, Conrad. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 446: 102–109
- Kamermand P, R Jak, P Jacobs, R Riegman (2013) Groei en begrazing van mosselzaad, primaire productie en picoplankton in de Waddenzee Technisch Rapport project Meerjarige effect- en productiemetingen aan MZI's in de Westelijke Waddenzee, Oosterschelde en Voordelta Rapport C187/13
- Kamermand P, C Smit, J Wijsman, A Smaal (2014) Meerjarige effect- en productiemetingen aan MZI's in de Westelijke Waddenzee, Oosterschelde en Voordelta: samenvattend eindrapport IMARES Rapport C191/13
- Long, J., T. Gerkema, J. W. M. Wijsman en K. Soetaert (2019) Comparing physical and biological impacts on seston renewal in a tidal bay with extensive shellfish culture. Journal of Marine Systems 194: 102-110.
- Malkin S. Y., J. C. Kromkamp & P. M. Herman (2011) Primary production in the Oosterschelde: an analysis of historical data, size distribution and effect of grazing pressure. NIOO-CEME report.
- Mesel, I.G. de & Wijsman, J.W.M. (2011) Bestandschatting mosselen op percelen in de Oosterschelde (1992-2009) en de Waddenzee (2004-2009). IMARES Rapport C076/11
- MSC, 2018. MSC Fisheries Standard – Version 2.01.
https://www.msc.org/docs/default-source/default-document-library/for-business/program-documents/fisheries-program-documents/msc-fisheries-standard-v2-01.pdf?sfvrsn=8ecb3272_11
Pagina's: 82, 115, 117
- Newell, R.I.E., 2004. Ecosystem influences of natural and cultivated populations of suspension-feeding bivalve molluscs: A review. Journal of Shellfish Research 23: 51-61.
- Philippart C.J.M, J. J. Beukema, G. C. Cadee, 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
- Poelman, M. en P. Kamermand (2010). Inventarisatie MZI-oogst 2009. IMARES-rapport C033/10.
- Prins, T.C., Desmit, X., Baretta-Dekker, J.G., 2012. Phytoplankton composition in Dutch coastal waters responds to changes in riverine nutrient loads. Journal of Sea Research 73, 49–63.
- R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Riisgard HU, C Kittner, DF Seerup (2003) Regulation of opening state and filtration rate in filter-feeding bivalves (*Cardium edule*, *Mytilus edulis*, *Mya arenaria*) in response to low algal concentration. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 284 105– 127
- Schellekens T, M van Stralen, M van Asch & A Smaal (2013) Analyse van schelpdierbestanden 1992 – 2009 Oosterschelde en Westelijke Waddenzee Met een aanvulling voor 2010 – 2012 IMARES Rapport nr C189/13
- Smaal, A.C., Van Stralen, M.R. (1990). Average annual growth and condition of mussels as a function of food source. Hydrobiologia. 195, 179-188.
- Smaal, A; van Stralen, M; Schuiling, E. (2001). The interaction between shellfish culture and ecosystem processes. CANADIAN JOURNAL OF FISHERIES AND AQUATIC SCIENCES 58: 991-1002
- Smaal, A. C., B. J. Kater, and J. Wijsman. (2009). Introduction, establishment and expansion of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* in the Oosterschelde (SW Netherlands). Helgoland Marine Research 63:75-83.
- Smaal A.C., T. Schellekens , M.R. van Stralen , J.C. Kromkamp (2013). Decrease of the carrying capacity of the Oosterschelde estuary (SW Delta, NL) for bivalve filter feeders due to overgrazing? Aquaculture 404–405: 28–34
- Smaal A. (2017). Draagkracht voor Schelpdieren: definities, indices en case studies. Wageningen University & Research Rapport C023/17
- Stralen, M.R. van, Dijkema, R.D. (1994). Mussel culture in a changing environment: the effects of a coastal engineering project on mussel culture (*Mytilus edulis* L.) in the Oosterschelde (SW Netherlands). Hydrobiologia 282 (283), 359–379.
- Stralen, M.R. van (2002). De ontwikkeling van mosselbestanden op droogvallende platen in het sublitoraal van de Waddenzee vanaf 1955: een reconstructie op basis van gegevens uit de mosselzaadvisserij. (The development of mussel stocks on intertidal flats and in the sublittoral areas of the Wadden Sea from 1955 onwards: a reconstruction based on data from seed mussel fisheries) MarinX-report 2001.10, 1-57. 2002. Scharendijke, MarinX.
- Stralen, M. van (2016). Invang van mosselzaad in MZI's. Resultaten (2015). MarinX rapport 2016.158
- Stralen M. van (2016). Bestandsopname van mosselen op mosselkweekpercelen in de Waddenzee in juli 2016. Rapport 2016.165
- Troost K, D van den Ende, M van Asch & M van Stralen 2019. Ontwikkeling en verspreiding van schelpdieren en andere bodemdieren in het sublitoraal van de Westelijke Waddenzee in de periode 1992-2018.
- Troost K & van Asch M, 2019 Reconstructie van het Japanse oesterbestand in de Oosterschelde. CVO rapport: 19.008 DOI: <https://doi.org/10.18174/464391>

-
- Wetsteijn LPJM en J Kromkamp (1994) Turbidity, nutrients and phytoplankton primary production in the Oosterschelde (The Netherlands) before, during and after a large-scale coastal engineering project (1980-1990). *Hydrobiologia* 282/283: 61-78
- Wijsman J en J Jol (2012) Bepaling bestand op de mosselpercelen in de Waddenzee najaar 2011. IMARES Rapport C060/12
- Wijsman J 2019. Meten van primaire productie in de Oosterschelde, Grevelingenmeer en het Veerse Meer: Overzicht van methodieken en plan van aanpak voor monitoring. Wageningen Marine Research rapport C022/19.

Verantwoording

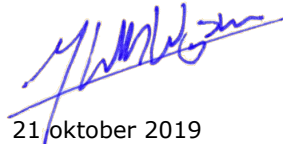
Rapport C096/19

Projectnummer: 4313200003-01

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het verantwoordelijk lid van het managementteam van Wageningen Marine Research

Akkoord: Jeroen Wijsman
Senior onderzoeker

Handtekening:



Datum: 21 oktober 2019

Akkoord: Jakob Asjes
MT lid integratie

Handtekening:



Datum: 21 oktober 2019

Bijlage 1 Databronnen en opwerking van Schelpdierinventarisaties en voedselcondities

Schelpdierbestanden

Voor berekening van de bestandsgrootte van schelpdieren zijn verschillende datareeksen gebruik. Hieronder wordt een overzicht gegeven van de onderliggende schelpdierinventarisaties. Tabel B1 geeft een overzicht van de beschikbare data.

Tabel B1. Beschikbare data voor analyses.

Data reeksen	Bron
Bestand aan kokkels, wilde mosselen, wilde Japanse oesters, nonnetjes, tapijtschelpen, strandgapers, mesheften	WOT bestandsopnamen (Asch et al, 2016; Ende et al 2016, Ende et al 2018)
Bestand aan mosselen op percelen	Waddenzee: Wijsman & Jol, 2012; van Stralen 2015b Oosterschelde: gebaseerd op oogstdata van PO mossel
Bestand aan MZI mosselen	Gebaseerd op MZI oogstdata uit rapportages voor EZ (Scholten et al 2007; Kamermans & Smaal 2009; Poelman & Kamermans 2010; van Stralen 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016)
Bestand aan oesters op percelen	Gebaseerd op oogstdata Productschap Vis en Bedrijveninformatienet, Mosselkantoor (2016) http://www.agrimatie.nl/ThemaResultaat.aspx?subpubID=2526&themaID=2857&indicatorID=2881&sectorID=2864
Mosselvlesgehalten	Gebaseerd op veilinggegevens van PO mossel
Chlorofyl concentratie	http://live.waterbase.nl
Zwevend stof gehalte	http://live.waterbase.nl
Fosfaat, stikstof, nitriet, nitraat	http://live.waterbase.nl
Primaire productie	Waddenzee: Brinkman (2015) Oosterschelde: Malkin et al (2011)

Kokkels, mosselen, nonnetjes, strandgapers, tapijtschelpen, Japanse oesters en mesheften

Jaarlijks voert WMR in de Waddenzee en de Oosterschelde bestandsopnamen uit voor de schelpdiersector en het ministerie van LNV ten behoeve van het opstellen van visplannen en vergunningverlening voor de schelpdiervisserij (b.v. Asch et al, 2016; Ende et al 2016). Deze jaarlijks uitgevoerde bestandsopnamen zijn zo opgezet dat er een gebiedsdekkende schatting van het totale bestand voor die soorten wordt gemaakt op basis van een groot aantal meetstations. In de Oosterschelde betreft dit de bestanden aan schelpdieren op de droogvallende delen (het litoraal), in de Waddenzee zijn het zowel litorale als sublitorale gebieden (permanent onder water staand). De focus ligt hier op mosselen op wilde banken (*Mytilus edulis*) en kokkels (*Cerastoderma edule*), maar andere schelpdiersoorten die in deze monsters worden aangetroffen worden ook geanalyseerd. Dit betreft nonnetjes (*Macoma balthica*, sinds kort *Limecola balthica* genaamd), strandgapers (*Mya arenaria*), tapijtschelpen (*Venerupis* sp.), Japanse oesters (*Crassostrea gigas*, sinds kort *Magallana gigas* genaamd) en mesheften (*Ensis* sp.). Het gemiddeld gewicht per individu is gebruikt voor omrekening naar bestanden van nonnetjes en tapijtschelpen. Mesheften en strandgapers zijn alleen geteld per

grootteklasse (groot of klein). Deze aantallen zijn omgerekend naar gewicht met behulp van de omrekeningsfactoren in Tabel B2.

Tabel B2. Vergewichten in gram van grootteklassen van *Ensis sp.* en *Mya arenaria*.

<i>Ensis sp</i>			<i>Mya arenaria</i>		
Groot	Klein	Niet bepaald	Groot	Klein	Niet bepaald
15 g	4 g	4 g	5 g	1 g	1 g

Mesheften komen voornamelijk voor rond en beneden de laagwaterlijn en veel minder op droogvallende delen. In 2012 is in het kader van het MZI project een *Ensis* bemonstering uitgevoerd van mesheften in het sublitoraal (Hartog et al., 2012). De biomassa was ruim 2 miljoen kg vergewicht. Dit is 2 % van de totale biomassa aan filtrerende schelpdieren aanwezig in de Oosterschelde in 2012.

Mosselen op percelen

In de periode 1992 tot met 2009 zijn in de Oosterschelde in juni perceelbemonsteringen uitgevoerd (de Mesel & Wijsman, 2011). Voor de periode vanaf 2010 is uitgegaan van de relatie tussen leveringen van mosselen aan de veiling en het mosselbestand in de Oosterschelde uit de rapportage van de Mesel & Wijsman (2011). De relatie tussen het perceelbestand over twee jaren gemiddeld en de aanvoer van de veiling over het daaropvolgende seizoen is geactualiseerd met de meest recente gegevens. Vervolgens is het bestand in de volgende jaren (waar geen perceelbemonstering meer van zijn) gebaseerd op de veilinggegevens, en de geactualiseerde relatie tussen veilinggegevens en perceelbestand. Een leveringsjaar loopt tot en met april en vindt dus plaats in twee kalenderjaren. Daarom loopt schatting van het bestand op de percelen altijd 2 jaar achter. Het totaalbestand is verdeeld over de deelgebieden met de aanname dat de verhouding in het bestand tussen de deelgebieden constant is gebleven over de jaren. In de Kom van de Oosterschelde bevinden zich geen mosselpercelen.

In de Waddenzee hebben perceelbemonsteringen eenmaal per jaar plaatsgevonden in december van 2004 tot en met 2011 (Wijsman & Jol, 2012) en vanaf 2013 twee maal per jaar; na de voorjaarszaadvisserij en aan het begin van de winter (van Stralen 2016). Gegevens van deze laatste bemonsteringen zijn aangeleverd door bureau MarinX. Per jaar is het gemiddelde van de twee bestandsschattingen berekend. In 2012 is geen bestandsopname uitgevoerd, maar is het gemiddelde van december 2011 en januari 2013 berekend.

MZI-mosselzaad

De oogst aan MZI zaad is gerapporteerd in het kader van een tweetal evaluaties (Scholten et al 2007, Kamermans & Smaal 2009) en wordt vanaf 2009 aan EZ gerapporteerd (Poelman & Kamermans 2010, van Stralen 2016). De totale oogst is gebruikt als bestandsschatting. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de deelgebieden.

Wilde oesterbestanden

Voor de Waddenzee is voor de wilde oesterbestanden (*Crassostrea gigas*) gebruik gemaakt van de gegevens uit de bestandsopname voor kokkels en mosselen. In de Oosterschelde is het bestand aan wilde oesters bepaald d.m.v. een schatting van het areaal, de gemiddelde bedekking en bepalingen van biomassa in gesampelde kwadraten in 2002, 2005 en 2011 en het areaal in 1990 is gereconstrueerd met behulp van luchtfoto's (Smaal et al. 2009; Brummelhuis et al. 2011). Vanaf 2012 vindt de bestandsbepaling plaats op basis van bemonsteringen met een oesterhapper (van den Ende et al., 2014b). In 2017 heeft een nieuwe reconstructie van het wilde oesterbestand in de Oosterschelde tot 1990 plaatsgevonden (Troost & van Asch 2019). De ontbrekende jaren tussen 1990-2011 zijn lineaire interpolaties. Uit de jaren 2012-2017 is berekend wat de gemiddelde biomassa per m² was, op stations die binnen de ingemeten oesterbank contouren liggen. Er is getoetst of een significant verschil in gemiddelde biomassa aanwezig was tussen jaren. Omdat er geen significante verschillen tussen jaren werden gevonden is vervolgens over alle jaren een gemiddelde biomassa per m² berekend, met standaard deviatie.

Voor de jaren 1990-2011 is per jaar de gemiddelde oesterbiomassa per m² vermenigvuldigd met het ingemeten areaal aan oesterbanken. Omdat in de periode 2012-2017 ook is gemonsterd buiten de ingemeten contouren, in strooivelden en andere locaties waar aanwezigheid van oesters mogelijk geacht werd, zal een reconstructie van de biomassa binnen ingemeten oesterbanken een onderschatting geven van het totale litorale oesterbestand. Over de jaren 2012-2017 is berekend welk percentage van het totale bestand buiten de ingemeten contouren lag. Het gemiddelde percentage over de jaren 2012-2017 bedroeg 25%. Aangenomen is dat in alle gereconstrueerde jaren 25% van het totale bestand buiten de contouren lag. Daarom zijn de gereconstrueerde bestanden binnen de contouren gedeeld door 0.75. Dit levert het totale oesterbestand binnen en buiten de ingemeten contouren op.

De huidige reconstructie wijkt af van de door Smaal et al (2013) gepresenteerde reconstructie. Smaal et al (2013) gebruikte biomassa bepalingen die in 2003 en 2005 zijn uitgevoerd. In de huidige reconstructie is hier geen gebruik van gemaakt. De reden hiervoor is dat uit de bemonsteringsmethode die sinds 2012 wordt gebruikt duidelijk is geworden dat het risico bestaat dat eerdere biomassa bepalingen niet geheel random zijn geweest. Dit heeft als consequentie dat het geschatte oesterbestand een factor 3 minder is dan eerder gerapporteerd.

Gekweekte oesterbestanden

De grootte van het bestand aan gekweekte oesters in de Kom van de Oosterschelde is bepaald aan de hand van aanlandingsdata die zijn verkregen van www.agrimatie.nl (Bronnen: Bedrijveninformatienet, Pvis, cijfers CBS 2016). De data geven de aanlandingen aan in stuks voor het Grevelingenmeer en de Oosterschelde gezamenlijk. Om het bestand voor de Oosterschelde uit te drukken in kg versgewicht zijn een aantal aannamen gedaan. Het aandeel van oesters is 90% Japanse (*Crassostrea gigas*) in de Oosterschelde en 10% in het Grevelingenmeer en 1% platte oesters (*Ostrea edulis*) in de Oosterschelde en 99% in de Grevelingen (persoonlijke mededeling Aard Cornelisse, oesterkweker). Om de aantallen om te zetten in gewichten is uitgegaan van 13 platte oesters per kg en 8 Japanse oesters per kg (persoonlijke mededeling Aard Cornelisse). Er wordt uitgegaan van een kweekcyclus van 3 jaar, dus de aanlandingen zijn met 3 vermenigvuldigd om de biomassa aanwezig op de percelen te schatten.

Voedselcondities

Chlorofyl

De chlorofyl (bladgroen) concentratie geeft aan hoeveel algen in het water aanwezig zijn. Rijkswaterstaat neemt regelmatig watermonsters van het oppervlaktewater op een aantal locaties in de Oosterschelde en Wadden (Tabel B3) en bepaalt daar onder andere de chlorofyl concentratie (in µg/l) in. De gegevens zijn op te vragen via hun website (<http://live.waterbase.nl>).

Tabel B3. Monsterlocaties van Rijkswaterstaat voor waterkwaliteitsparameters.

Waddenzee	Oosterschelde
Blauwe Slenk oost	Hammen oost
Doove Balg oost	Krabbenkreek
Doove Balg west	Krammersluizen
Malzwin	Lodijkse Gat
Marsdiep noord	Neeltje Jans badstrand
Vliestroom	Roggenplaat geul west
	Wissenkerke
	Yerseke verwaterplaats
	Zandkreek
	Zierikzee De Val
	Zijpe

Zwevende stof

Naast voedselconcentratie is ook voedselkwaliteit belangrijk. Het water bevat niet alleen algen, maar ook kleine, voor schelpdieren oneetbare, deeltjes. Dit wordt ook wel zwevend stof genoemd. Ook dat wordt gemeten (mg/l) in de watermonsters van Rijkswaterstaat en op hun website gepubliceerd (<http://live.waterbase.nl>). De verhouding tussen chlorofyl en zwevend stof is een indicatie voor voedselkwaliteit (van Stralen, 2002).

Primaire productie

In feite is niet de concentratie aan voedsel, maar de voedselproductie (primaire productie) sturend bij draagkracht. Ter verduidelijking het volgende voorbeeld: een grasveld met kort gras heeft een lage voedselconcentratie, maar kan toch veel koeien van voedsel voorzien als het gras snel groeit. Dit wordt dan direct begraaasd door de koeien en wordt zo niet zichtbaar in de hoeveelheid gras die aanwezig is (concentratie). Jaarlijkse gemiddelden van primaire productie in de Oosterschelde in de periode 1991-2010 zijn op 9 locaties in de Oosterschelde gemeten door NIOO-CEME, Yerseke. Beschrijving van de methode en verdere analyse van deze primaire productie is beschreven in het rapport van Malkin et al (2011).

In de Waddenzee wordt primaire productie alleen bij Texel gemeten met hoog water. Deze data zijn nog niet beschikbaar (pers. comm. H. van der Veer, NIOZ). Voor de Waddenzee is daarom gebruik gemaakt van modelberekeningen met behulp van het EcoWasp-model. Primaire productie is de vorming van algenbiomassa door middel van fotosynthese. Onder invloed van zonlicht wordt koolzuur (CO₂) opgenomen en samen met belangrijke nutriënten als fosfaat, nitraat en/of ammonium omgezet in organisch materiaal. Voor kiezelalgen is ook silicaat van vitaal belang omdat die stof een wezenlijk bestanddeel is van hun kiezelzuurskeletten.

Belangrijk bij primaire productieberekeningen is

- hoeveel licht er beschikbaar is.

- o De lichtindringing in de waterkolom hangt af van de hoeveelheid zwevend materiaal in het water, en de zonnestraling. Van de laatste zijn waarden per dag beschikbaar (KNMI-metingen). De hoeveelheid zwevend materiaal wordt elke dag berekend afhankelijk van de windsnelheid en -richting, en hangt mede af van de lokale waterdiepte en bodemgesteldheid (het verschilt nogal of een bodem slijkgig of zandig is). De berekeningen zijn afgeregeld op meetdata (Brinkman, 2015).

- de watertemperatuur: waarden zijn gebaseerd op metingen van Rijkswaterstaat (<http://live.waterbase.nl>)

- de beschikbaarheid van nutriënten (bij de berekeningen betreft dat N, P, Si). De beschikbaarheid van CO₂ wordt ook meegenomen, maar is niet beperkend.

- o Nutriënten worden aangevoerd vanuit het IJsselmeer en vanaf de Noordzee; de hoeveelheid aangevoerd zoetwater en de daarin voorkomende nutriëntgehalten zijn invoergegevens bij de berekeningen (data Rijkswaterstaat, 2017).
- o Daarnaast vindt er een uitwisseling met de bodem plaats: alwaar door biochemische omzettingen nutriënten vrijkomen uit organisch materiaal. Ook vindt adsorptie plaats van onder meer silicaat en fosfaat aan bodembestanddelen. Tezamen betekent dit dat het sediment van de Waddenzee een voorraadbuffer vormt die in najaar en winter 'gevuuld', en in het voorjaar en zomer gebruikt wordt (Brinkman & Smit, 1993).

- hoeveel algen er aanwezig zijn in de waterkolom. Immers, als de omstandigheden (de hierboven genoemde punten) goed zijn, maar er zijn weinig algen, dan blijft de absolute waarde van de groei laag. Hoeveel algen er zijn wordt bepaald door de primaire productie zelf én door de 'verliesposten':

- o door de uitwisseling met de Noordzee kunnen algen verdwijnen uit het systeem
- o algen worden gegeten door andere organismen, in de Waddenzee zijn dit vooral schelpdieren (Herman et al, 1999).

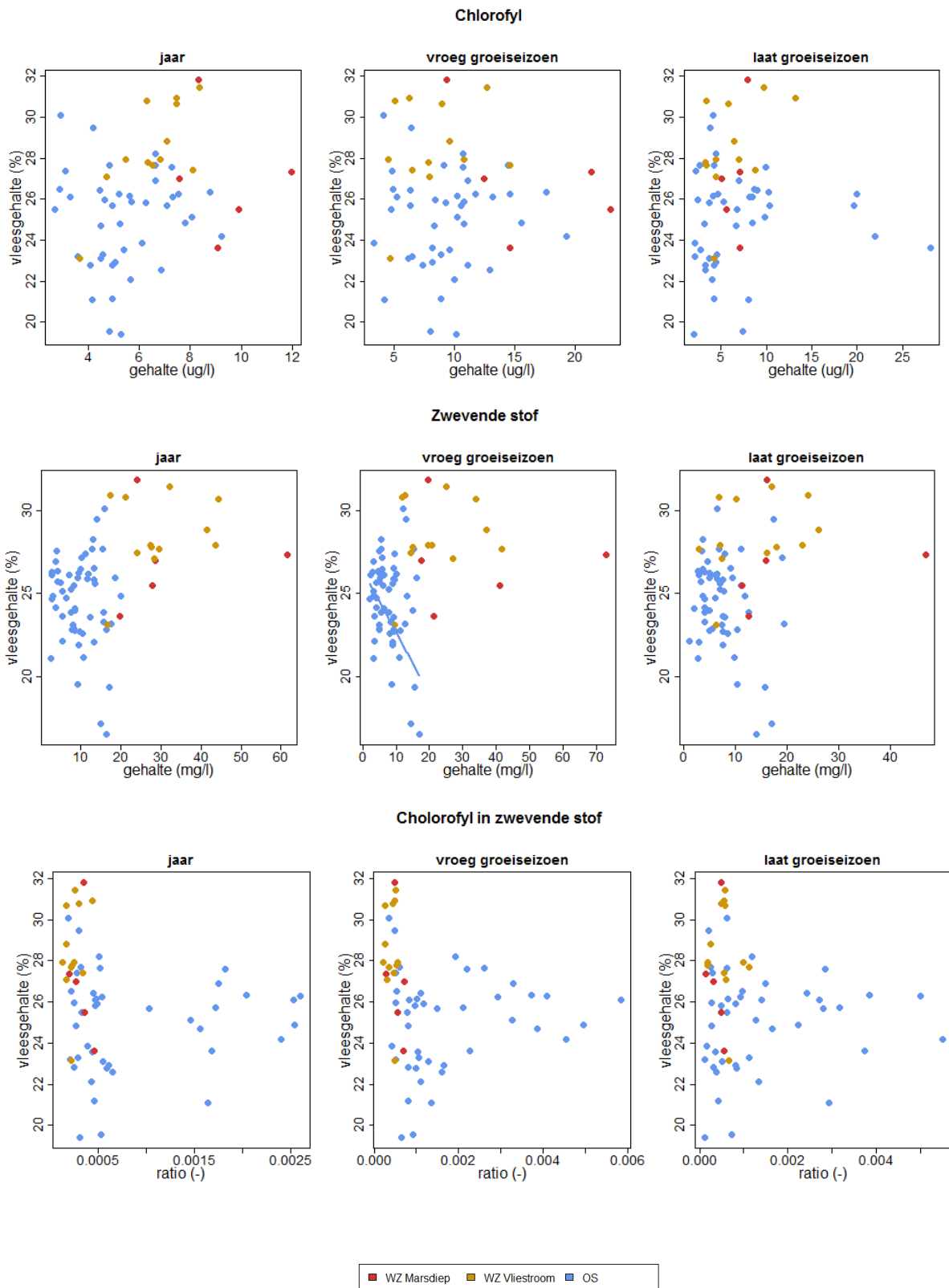
Bij de berekeningen in de Waddenzee met het EcoWasp-model zijn bovengenoemde processen meegenomen. Details van de manier waarop primaire productie in het EcoWasp-model wordt berekend is beschreven in twee rapporten (Brinkman & Smit, 1993 en Brinkman, 1993). Daarnaast zijn toepassingen en afregelingen beschreven in Brinkman (2012, 2013, 2015). Omdat de westelijke Waddenzee gevarieerd is (diepe en ondiepe delen, soms dicht bij de Noordzee of juist niet) is het hele gebied in ruim dertig vakken onderverdeeld (waaronder de nabije kuststrook); in elk van die vakken

zijn weer sub-compartimenten onderscheiden: droogvallende platen, ondiepe wateren en geulen. De hierboven genoemde processen worden voor elk van die deelgebieden berekend, waarbij onder meer ook verrekend wordt hoelang getijdenplaten droog staan. Door die vakkenindeling ontstaat er een aanzienlijke ruimtelijke variatie, doordat sommige vakken dicht bij het IJsselmeer liggen waar nutriëntrijk water de Waddenzee in stroomt, andere liggen in slikkige gebieden waar de waterkolom vaak hoge gehalten aan zwevend materiaal bevat, en vakken dicht bij de Noordzee zijn onderhevig aan uitwisseling met de gebieden verder op de Noordzee.

Bijlage 2 Seizoensvariatie in voedsel en correlaties met vleesgehalte

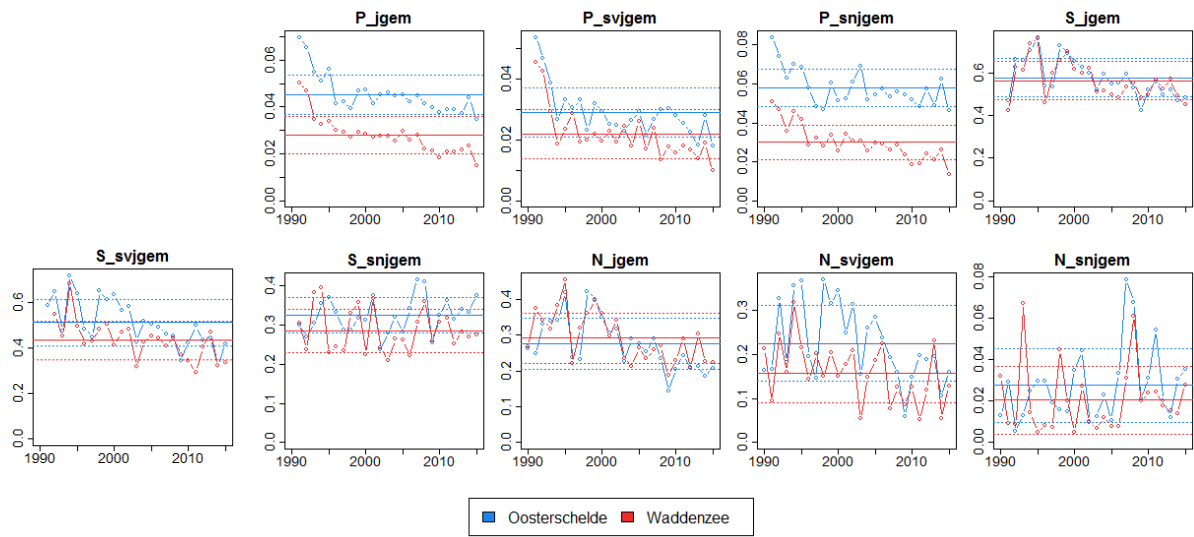


Figuur B4. Chlorofyl gehalte, zwevend stof gehalte en verhouding chlorofyl en zwevend stof in Waddenzee (Marsdiep en Vliestroom) en Oosterschelde. Vroeg groeiseizoen is begin april t/m 15 juli en laat groeiseizoen is 16 juli t/m eind augustus. Voor bron zie tabel B1.

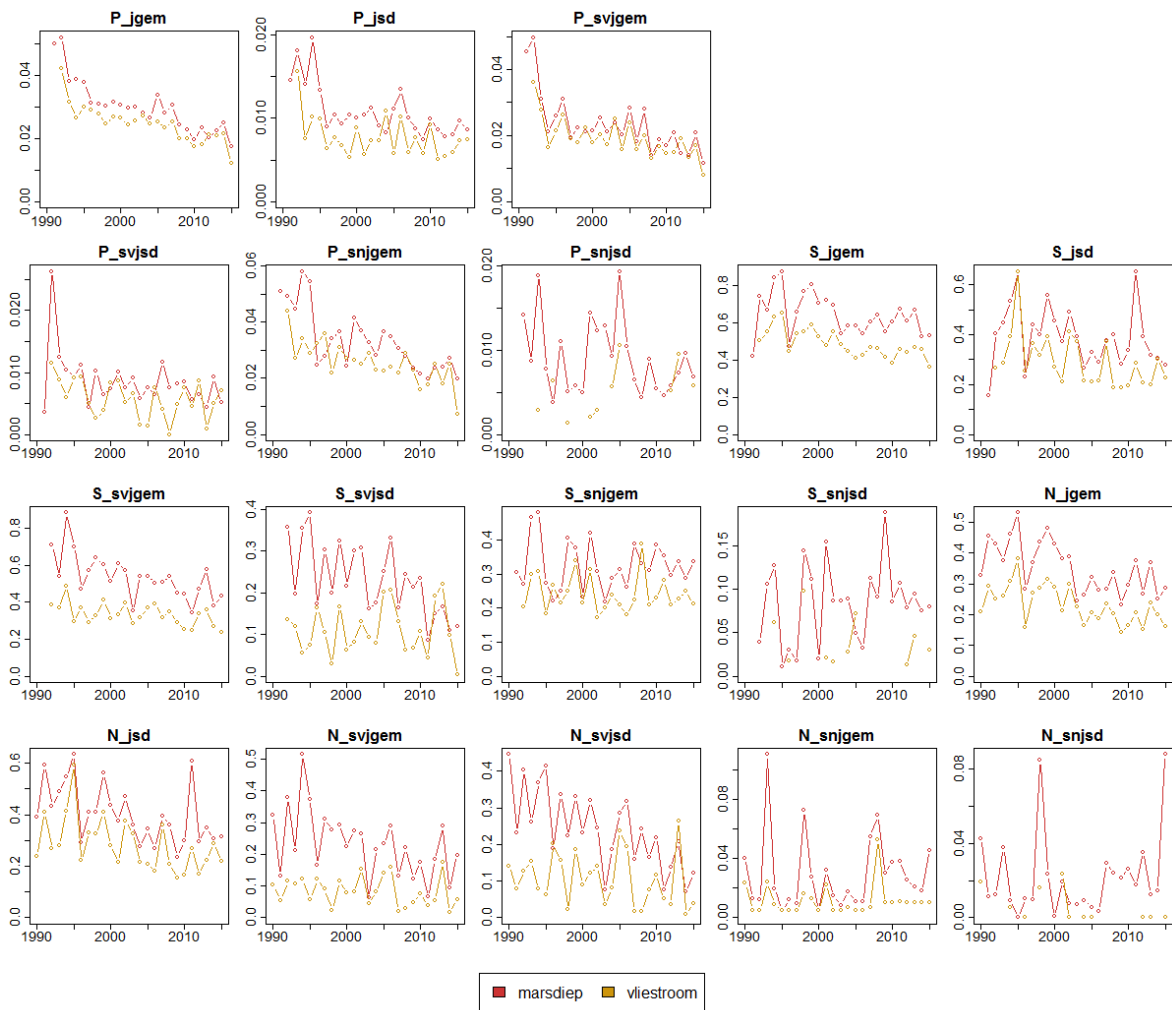


Figuur B5 Relatie tussen vleesgehalte mosselen en voedselconcentratie, zwevend stof gehalte of voedselkwaliteit. Vroeg groeiseizoen is begin april t/m 15 juli en laat groeiseizoen is 16 juli t/m eind augustus. De getrokken lijn geeft een significant verband aan. Voor bron zie tabel B1.

Bijlage 3 Nutriëntenconcentraties in Oosterschelde en Waddenzee



Figuur B6 Fosfaat (P), stikstof (N) en silicaat (S) concentraties in het water van de Waddenzee en Oosterschelde. Jaar (j), voorjaar (vj) en najaar (nj) gemiddelden. Bron: <http://live.waterbase.nl>.



Figuur B7 Fosfaat (P), stikstof (N) en silicaat (S) concentraties in het water van de Waddenzee (Marsdiep en Vliestroom). Jaar (j), voorjaar (vj) en najaar (nj) gemiddelden. Bron: <http://live.waterbase.nl>.

Wageningen Marine Research
T: +31 (0)317 48 09 00
E: marine-research@wur.nl
www.wur.nl/marine-research

Bezoekers adres:

- Ankerpark 27 1781 AG Den Helder
- Korringaweg 7, 4401 NT Yerseke
- Haringkade 1, 1976 CP IJmuiden

Wageningen Marine Research levert met kennis, onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek en advies een wezenlijke bijdrage aan een duurzamer, zorgvuldiger beheer, gebruik en bescherming van de natuurlijke rijkdommen in zee-, kust- en zoetwatergebieden.



Wageningen Marine Research is onderdeel van Wageningen University & Research. Wageningen University & Research is het samenwerkingsverband tussen Wageningen University en Stichting Wageningen Research en heeft als **missie**: 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'