



---

# Draagkracht voor Schelpdieren: definities, indices en case studies

Auteur: Aad Smaal

Wageningen University &  
Research Rapport C023/17

---

# Draagkracht voor schelpdieren: definities, indices en case studies

Auteur: Aad Smaal

Publicatiedatum: 21 maart 2017

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema BO 2016 Verduurzaming visserij (nr BO-20-010-131).

Wageningen Marine Research  
Yerseke, maart 2017

---

Wageningen Marine Research rapport C023/17

Opdrachtgever: Ministerie van EZ  
T.a.v.: de heer W. Schermer Voest  
Postbus 20401  
2500 EK Den Haag

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema BO 2016 Verduurzaming visserij (nr BO-20-010-131).

Wageningen Marine Research Wageningen UR is ISO 9001:2008 gecertificeerd.

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/411180>.  
Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2016 Wageningen Marine Research Wageningen UR

Wageningen Marine Research, onderdeel  
van Stichting Wageningen Research  
KvK nr. 09098104,  
IMARES BTW nr. NL 8113.83.696.B16.  
Code BIC/SWIFT address: RABONL2U  
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

De Directie van Wageningen Marine Research is niet aansprakelijk voor  
gevolg schade, 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.  
Dit rapport is vervaardigd op verzoek van de opdrachtgever hierboven aangegeven  
en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd  
worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder  
schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

---

# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1. Inleiding</b>	<b>6</b>
1.1 Vraagstelling	6
1.2 Wat is draagkracht	6
1.3 Beheerspraktijk	8
1.4 Indicatoren	9
1.5 Dankwoord	9
<b>2 Werkwijze</b>	<b>10</b>
<b>3 Case study Oosterschelde</b>	<b>11</b>
3.1 Periode 1995 – 2009	11
3.2 Periode na 2009	13
3.3 Rol nutriënten	14
3.4 Ontwikkeling van de draagkracht	15
3.5 Conclusies	15
<b>4. Internationale vergelijking van draagkracht indicatoren</b>	<b>17</b>
Grenswaarden voor draagkracht	19
<b>5. Discussie en conclusies</b>	<b>21</b>
<b>Referenties</b>	<b>22</b>
<b>Verantwoording</b>	<b>25</b>

---

# Samenvatting

In dit rapport wordt een overzicht gegeven van het concept draagkracht van ecosystemen voor schelpdieren. Het onderwerp staat in de belangstelling vanwege vragen over het duurzaam beheer van schelpdierpopulaties, niet alleen in verband met kweek van schelpdieren in bodemcultures maar ook voor de invang van mosselzaad en oesterbroed, herstel van schelpdierbanken voor natuurbeheer, off-bottom kweek van oesters en voor het gebruik van oesters voor kustbescherming. In dit rapport is in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken ingegaan op de vraag in hoeverre en op welke wijze draagkracht kan worden gedefinieerd en gekwantificeerd. Dit is geïllustreerd aan de hand van een case study van de Oosterschelde.

Het begrip draagkracht voor schelpdieren is te onderscheiden in fysieke, productie, ecologische en sociale draagkracht; fysieke draagkracht gaat over de randvoorwaarden voor de schelpdierkweek, productie draagkracht over de maximaal haalbare oogst (Profit), en ecologische en sociale draagkracht over wat respectievelijk ecologisch (Planet) en maatschappelijk (People) aanvaardbaar is. Economische draagkracht wordt gedefinieerd als de maximaal haalbare opbrengst uit de oogst van het marktwaardige product; dat wordt in dit rapport behandeld onder productie draagkracht.

Voor het kwantificeren, onderling vergelijken en eventueel normeren van draagkracht, kan gebruik worden gemaakt van indicatoren. In dit rapport wordt ingegaan op een tweetal in de literatuur gebruikte indicatoren, namelijk "clearance ratio" en "grazing ratio". De clearance ratio geeft aan in hoeverre voedseltoevoer van buiten het ecosysteem komt, aan de hand van de verhouding tussen de tijd die de schelpdieren er in theorie over doen om het voedsel uit het totale watervolume van het ecosysteem te filteren (de clearance tijd CT in dagen) en de gemiddelde verblijftijd van het water in het betreffende ecosysteem (de "Residence Time" RT in dagen). Wanneer de uitwisseling met de omgeving langer duurt dan de filtratie door de schelpdieren, is de clearance ratio  $< 1$ . Onder die omstandigheden wordt de interne productie van voedsel – aangeduid als primaire productie - bepalend voor de draagkracht, en de indicator daarvoor is de grazing ratio. De grazing ratio geeft aan hoe snel het water en het daarin aanwezige voedsel wordt gefiltreerd (CT in dagen) ten opzichte van de snelheid waarmee het voedsel via de primaire productie wordt geproduceerd ("Production Time" PT in dagen). Dit is uitgewerkt voor de Oosterschelde, en er is op basis van literatuur een internationale vergelijking gemaakt van de draagkracht van een aantal gebieden met omvangrijke bestanden aan gekweekte en wilde schelpdieren.

Voor de Oosterschelde is er een update gemaakt van de ontwikkeling in draagkracht sinds 2010. De clearance ratio is hier  $< 1$ , dus de interne primaire productie is het meest bepalend voor de draagkracht voor schelpdieren. In de Oosterschelde is de primaire productie afgenomen in de periode 1995 – 2009; in deze periode nam de filtratiecapaciteit toe, en de grazing ratio nam af van ruim 3 tot ruim 1,5. Aangezien er geen duidelijke andere beperkende factoren voor de primaire productie zijn gevonden, is de afname waarschijnlijk toe te schrijven aan een toenemende graasdruk door uitbreiding van het bestand aan wilde oesters en mogelijk ook van mesheften. Sinds 2010 is er een afname van het totale schelpdierbestand en een toename in de mosselgroei, afgemeten aan de visgewichten van de geogoste mosselen; dit wijst op een afname van de graasdruk. De veronderstelling is dat de primaire productie sinds 2010 weer is toegenomen; het meetprogramma is echter gestopt dus dit kan niet worden getoetst. Voor het beheer van de Oosterschelde is nu de vraag of en in hoeverre de verschillende soorten draagkracht voor de schelpdieren nu weer zijn toegenomen en in hoeverre er beheersmaatregelen nodig zijn, en waaruit deze kunnen bestaan.

De internationale vergelijking laat zien dat de clearance en de grazing ratio bruikbare indicatoren zijn voor evaluatie van de ecologische draagkracht. Er is geen algemeen geaccepteerde norm, maar voor het Aquaculture Stewardship Council (ASC) label voor verantwoorde aquacultuur wordt uitgegaan van een grazing ratio  $> 3$  voor duurzame kweek.

---

De studie leidt tot de volgende conclusies:

- Het gebruik van indicatoren als clearance ratio en grazing ratio geeft inzicht in de mate van benutting van de ecologische draagkracht van verschillende ecosystemen door filter feeders.
- Uit de case studie van de Oosterschelde blijkt dat de clearance ratio kleiner is dan 1, en dat wijst erop dat de interne productie belangrijker is voor de voedselvoorziening dan uitwisseling met de Noordzee. De grazing ratio voor 1995 bedroeg 3,28 en in 2009 was deze 1,68; dit wijst op het risico op overbegrazing als gevolg van uitbreiding van het bestand aan wilde oesters. Sinds 2010 is er een afname van het totale schelpdierbestand en een toename in de mosselgroei, afgemeten aan de visgewichten van de geoogste mosselen. Dit wijst erop dat de graasdruk sindsdien is afgenomen. Door gebrek aan data over de primaire productie na 2009 is er geen grazing ratio van na 2009 bekend.
- Er is in de literatuur geen consensus over grenswaarden voor de benutting van de ecologische draagkracht door geëxploiteerde schelpdierpopulaties. In bepaalde gevallen, zoals voor het ASC label, is de grenswaarde van 3 gehanteerd voor de grazing ratio van gekweekte bestanden.
- Indien voor het beheer van de Oosterschelde regulering van de ecologische en sociale draagkracht wenselijk wordt geacht, kan worden overwogen de grazing ratio van gekweekte versus wilde populaties als uitgangspunt te nemen, als simpele indicator voor de benutting van de ecologische draagkracht.
- Voor het gebruik van de grazing ratio is jaarlijkse monitoring van de primaire productie nodig, zoals dit is uitgevoerd tot 2010 maar daarna niet is voortgezet. De overige benodigde gegevens over de filtratiecapaciteit van de gekweekte en wilde filter feeder bestanden kunnen voor een deel worden ontleend aan bestaande survey programma's, maar er ontbreken wel gegevens over de filter feeders van het harde substraat en over begrazing door het zoöplankton.

---

# 1. Inleiding

## 1.1 Vraagstelling

Het onderwerp draagkracht voor schelpdieren staat in de belangstelling vanwege vragen over het beheer van schelpdierpopulaties. Dit betreft beheersvragen over schelpdierkweek, de invang van mosselzaad en oesterbroed, herstel van schelpdierbanken voor natuurbeheer en over het gebruik van oesters voor kustbescherming. Het gaat niet alleen over de *omvang* van de draagkracht maar ook over de *verdeling* van de beschikbare draagkracht over de verschillende populaties en deelgebieden. In dit rapport is in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken, in het kader van het beleidsondersteunend onderzoekthema BO 2016 verduurzaming visserij (nr BO-20-010-131), ingegaan op de vraag in hoeverre en op welke wijze draagkracht kan worden gedefinieerd en gekwantificeerd.

## 1.2 Wat is draagkracht

Voor schelpdieren wordt draagkracht voornamelijk bepaald door het voedsel. Dit bestaat voor tweekleppige schelpdieren zoals mosselen en oesters uit fytoplankton en ander organisch materiaal dat in het water zweeft en via de kieuwen van de schelpdieren uit het water wordt gefilterd. Ze worden daarom aangeduid als filter feeders. Ze eten in principe allemaal van dezelfde voorraad in een bepaald gebied, en zijn voor de voedselvoorziening afhankelijk van de waterbeweging en van de lokale voedselproductie. Dit geldt ook voor de andere groepen filter feeders zoals sponzen en zakpijpen, en andere fytoplankton eters zoals zoöplankton.

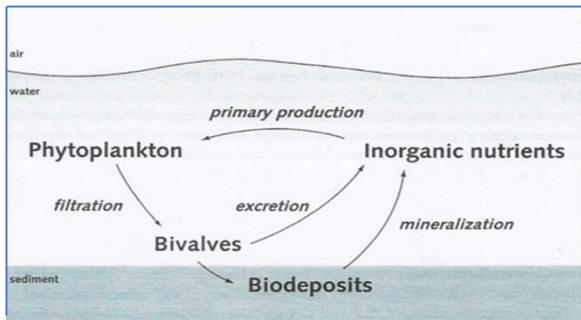
De waterbeweging zorgt voor de toevoer van voedsel naar de (vastzittende) schelpdieren en de primaire productie zorgt voor nieuwe aanwas van fytoplankton. De voedseltoevoer van elders is afhankelijk van de wateruitwisseling met aangrenzende gebieden. Dit kan worden gekwantificeerd als verblijftijd van de watermassa (tijd in dagen om de watermassa te verversen). De nieuwe aanwas van fytoplankton wordt aangeduid als primaire productie tijd (tijd in dagen om de planktonvoorraad te produceren). De voedselopname wordt weergegeven door de filtratietijd: de tijd in dagen die de filter feeders nodig hebben om een bepaald volume schoon te filteren. In open systemen met veel waterverversing is er voedselaanvoer van elders en is de lokale primaire productie minder belangrijk. Indien de verversing van het water veel langer duurt dan de filtratietijd, dan zijn de filter feeders afhankelijk van de voedselproductie in het eigen gebied. In dat geval is het van belang dat de filtratietijd groter is dan de primaire productietijd, anders wordt het fytoplankton gefilterd voordat het kan groeien en vermenigvuldigen en is er sprake van overbegrazing.

Voor analyse van de draagkracht is informatie nodig over de verblijftijd, de primaire productie tijd en de filtratie tijd van de diverse schelpdier populaties. Daarbij geldt dat deze factoren variëren in ruimte en tijd. Verblijftijd van de watermassa in getijdenwateren is voornamelijk afhankelijk van getij, primaire productie is afhankelijk van lichtinval en nutriënten, en schelpdierpopulaties kunnen in omvang variëren als functie van aanwas en overleving. Watermassa's kunnen in bepaalde seizoenen ruimtelijk gescheiden zijn door gelaagdheid waardoor er onder rustige weersomstandigheden een periode van geringe menging optreedt en het voedsel de schelpdieren niet bereikt; een tijdelijke ontkoppeling kan voordelen hebben omdat het fytoplankton dan flink kan groeien totdat de watermassa onder invloed van wind weer gaat mengen en de schelpdieren weer kunnen eten (Maar *et al.*, 2010; Herman, 2012).

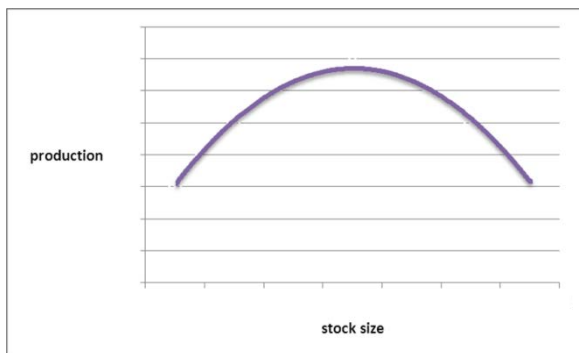
De primaire productie is afhankelijk van lichtindringing en anorganische nutriënten, met name stikstof en fosfaat en voor de diatomeeën ook silicaat.

De schelpdieren hebben zelf invloed op de primaire productie via filtratie, biodepositie en mineralisatie: het fytoplankton wordt afgefilterd waardoor het water helderder wordt, overtollig materiaal komt als biodepositie op de bodem terecht en wordt gemineraliseerd door bacteriën, waarbij nutriënten vrijkomen die weer gebruikt worden door plankton om te groeien (Jansen *et al.*, 2012; Fig

1.1). Dit is vooral van belang in perioden in het jaar dat bepaalde nutriënten beperkend zijn voor de primaire productie, zoals direct na de voorjaarsbloei van het fytoplankton. Wanneer de voorraad schelpdieren een bepaalde waarde overschrijdt, wordt het fytoplankton zo snel afgefilterd dat het niet meer kan groeien en de primaire productie afneemt; dat wordt aangeduid als overbegrazing: Figuur 1.2.



*Figuur 1.1 Schematische weergave van de terugkoppeling tussen de filtratie van fytoplankton door de schelpdieren en de productie van fytoplankton via primaire productie die wordt gestimuleerd door de recycling van anorganische nutriënten via excretie door de schelpdieren en mineralisatie van biodepositie (faeces en pseudofaeces) van de schelpdieren.*



*Figuur 1.2. Schematische weergave van verband schelpdiervoorraad (stock size) en primaire productie (production): bij toename van het scheldierbestand wordt de productie gestimuleerd door nutriënten teruglevering, tot de graasdruk te groot wordt en er overbegrazing optreedt.*

De interactie tussen de filter feeders en hun voedsel in natuurlijke systemen is een complex geheel. Er wordt daarom vaak gebruik gemaakt van wiskundige modellen als hulpmiddel voor het kwantificeren van de interacties, en het berekenen van de effecten van ingrepen. Draagkracht is geen vaststaand gegeven maar een begrip dat het resultaat van verschillende processen weergeeft. Er is veel literatuur over draagkracht voor schelpdiercultuur en andere vormen van exploitatie (Inglis *et al.*, 2000; McKindsey *et al.*, 2006; Filgueira *et al.*, 2015). Dit is voor een groot deel ook toepasbaar op beheersvragen betreffende herstel van schelpdierbanken voor natuurbeheer en het gebruik van schelpdieren als biobouwers. In de literatuur over draagkracht voor schelpdiercultuur worden de volgende typen onderscheiden:

- Fysieke draagkracht, dit beschrijft karakteristieken van het gebied voor de ontwikkeling van bepaalde schelpdierpopulaties en de fysische en chemische eigenschappen en randvoorwaarden, zoals de verblijftijd en de geomorfologie.
- Productie draagkracht geeft de omvang aan van een bepaalde populatie in het gebied, die leidt tot maximale productie van die populatie, of tot maximale opbrengst van het marktwaardige product. Dit laatste zou ook als economische draagkracht kunnen worden aangeduid
- Ecologische draagkracht wordt gedefinieerd als de maximale productie van een bepaalde populatie zonder dat er nadelige effecten optreden voor andere populaties, processen, soorten en levensgemeenschappen in het ecosysteem.



- 
- Sociale draagkracht betreft het pakket aan activiteiten om tot maximale productie van een bepaalde populatie te komen, zodanig dat dit door de samenleving acceptabel wordt geacht.

*Fysieke draagkracht* geldt als randvoorwaarde voor de kweek en is wat beheer betreft van belang bij de ruimtelijke inpassing van activiteiten.

*Productie draagkracht* wordt gedefinieerd in termen van opbrengst van de kweek, en de bijbehorende optimale omvang van de gekweekte soort die tot de maximale productie c.q. oogst leidt. De optimale omvang van de populatie is per definitie niet de maximaal mogelijke omvang van de populatie want indien de gekweekte populatie de optimale omvang overschrijdt wordt de opbrengst beperkt door onderlinge competitie. Gegevens over productie draagkracht zijn in de eerste plaats van belang voor de kwekers die het beheer voeren over de omvang van hun kweekpopulatie. De economische draagkracht van het ecosysteem voor schelpdierkweek is een onderdeel van de productie draagkracht, vertaald naar de opbrengst van de productie op de markt. Omdat dit niet alleen van de productie afhankelijk is, maar ook van allerlei factoren die het marktmechanisme beïnvloeden, wordt dit hier behandeld als onderdeel van productie draagkracht.

De *ecologische draagkracht* wordt bepaald door de mogelijke effecten van schelpdierkweek op andere populaties, die onder meer via voedselcompetitie, ruimtebeslag of verstoring kunnen verlopen. Dit type draagkracht is van belang voor het beheer. Dat is in Nederland geregeld in de Natuurbeschermingswet (NB wet). Voor NB wet gebieden is er een vergunning nodig voor nieuwe activiteiten zoals het gebruik van mosselzaad invang installaties (MZI's) en voor off-bottom oesterkweek. Uitgangspunt bij de vergunningverlening is dat een activiteit geen negatieve effecten mag hebben op de instandhoudingsdoelen. Dit dient te worden aangetoond in een passende beoordeling. Het criterium 'geen negatieve effecten op de instandhoudingsdoelen' is daarmee een synoniem voor de beleidsmatige invulling van de 'ecologische draagkracht'.

*Sociale draagkracht* wordt bepaald door de mate van acceptatie door de samenleving, vaak aangeduid als maatschappelijk draagvlak. Hoe wordt maatschappelijk draagvlak geborgd, welke belanghebbenden zijn er bij betrokken en hoe wordt met verschillende belangen rekening gehouden zijn beheersvragen die horen bij de 'social carrying capacity'.

## 1.3 Beheerspraktijk

De vraag is in hoeverre deze typologie van draagkracht aansluit bij beheersvragen in de praktijk.

*Fysieke draagkracht* kan worden vertaald naar beschikbare ruimte binnen de natuurlijke randvoorwaarden. Bij de keuze van locaties voor nieuwe percelen of voor kweekexperimenten wordt daarmee noodzakelijkerwijs rekening gehouden. De invulling van locaties binnen de fysieke randvoorwaarden wordt voor een deel bepaald door andere draagkrachtfactoren, maar ook door andere gebruiksfuncties.

Schelpdierkwekers houden impliciet rekening met *productiedraagkracht* want niemand heeft baat bij niet-optimale opbrengsten. De speelruimte wordt echter bepaald door de beschikbare locaties. Er is voorraadbeheer op bedrijfsniveau; in de bodemcultuur worden schelpdieren met regelmaat verzaaid van het ene naar het andere perceel. Dit is gericht op optimaal gebruik van beschikbare percelen voor groei en overleving, in verband met het bestrijden van zeester predatie, en om wegstormrisico te vermijden. De vraag is in hoeverre optimaal gebruik van percelen op bedrijfsniveau vanzelf leidt tot optimale benutting van de productiedraagkracht van het ecosysteem door alle kwekers gezamenlijk. Voor *ecologische draagkracht* geldt dat vergunningverlening in het kader van de NB wet hiermee in zekere zin rekening houdt. Voor effecten van mosselzaad invang via MZI's bijvoorbeeld dient te worden nagegaan in hoeverre de extra mosselbiomassa via voedselcompetitie effecten kan hebben op de beschikbaarheid van kokkels voor vogels omdat daarvoor instandhoudingsdoelen gelden. Betrokkenheid van stakeholders is onder meer georganiseerd in het mosselconvenant voor de Waddenzee; daar wordt concreet invulling gegeven aan het begrip *sociale draagkracht*. Ook voor de Oosterschelde zijn initiatieven genomen voor het organiseren van maatschappelijk draagvlak, niet alleen voor schelpdiercultuur maar om te komen tot een beheers visie. Sociale draagkracht duidt veeleer op een proces dan op een gedefinieerde waarde.

Op basis van literatuur is nagegaan hoe deze begrippen worden gekwantificeerd en gebruikt in het beheer.

---

## 1.4 Indicatoren

Voor het kwantificeren van draagkracht voor filter feeders kan gebruik worden gemaakt van indicatoren voor de belangrijkste factoren die dit bepalen: voedseltoevoer, interne voedselproductie en voedselopname. Indicator voor voedseltoevoer is de gemiddelde verversingstijd van het water: RT (residence time in dagen), voor voedselproductie: PT (primaire productietijd in d) en voor voedselopname: CT (clearance time in d). De verhouding tussen deze factoren geeft aan in hoeverre er sprake is van een open systeem met uitwisseling met de omgeving:  $CT/RT > 1$ ; deze verhouding wordt aangeduid met "clearance ratio". In een meer gesloten systeem ( $CT/RT < 1$ ) is de interne primaire productie bepalend voor de draagkracht en dit kan worden uitgedrukt als  $CT/PT$ . Deze "grazing ratio" moet altijd groter zijn dan 1 omdat anders de algen geen kans hebben te groeien en te delen.

De indicatoren clearance ratio en grazing ratio hebben als voordeel dat ze eenvoudig zijn en daardoor makkelijk zijn in te schatten. Er zijn ook beperkingen, want ze zijn doorgaans gebaseerd op gemiddelde waarden voor het hele ecosysteem, dus er is geen rekening gehouden met variatie in ruimte en tijd. Verder zijn de terugkoppelingen in het ecosysteem tussen opname van algen via filtratie en het stimuleren van algengroei via teruglevering van nutriënten en vermindering van de troebelheid, niet in de indicatoren meegenomen. Voor een meer nauwkeurige kwantificering van draagkracht wordt daarom vaak gebruik gemaakt van simulatiemodellen. Het opstellen en toepassen daarvan is echter complex en kost meer tijd en geld.

Een indicator voor de intensiteit van de begrazing van algen door filter feeders is de verhouding tussen mesoplankton en picoplankton. Het mesoplankton heeft een formaat dat wordt gefiltreerd door de kieuwen van de meeste schelpdiersoorten, dat wil zeggen groter dan 3-4  $\mu\text{m}$ , terwijl het picoplankton de kleinere cellen betreft die door de mazen van de kieuwen ontsnappen. Bij intensief begraasde systemen kan er een relatieve dominantie van picoplankton optreden, en daarom kan dit als indicator van overbegrazing dienen (Cranford *et al.*, 2009, Jacobs *et al.*, 2015).

Een indicator voor benutting van draagkracht is de groeisnelheid van de schelpdieren. Aangezien er competitie is om voedsel zal een vermindering van de beschikbare hoeveelheid voedsel zichtbaar zijn in de groeisnelheid. Dit kan een gevolg zijn van een toegenomen omvang van het filter feeder bestand, of door vermindering in de voedselproductie of -toevoer. Voor de mosselkweek in Nederland is er een unieke dataset beschikbaar van de hoeveelheid vlees in de schelp – aangeduid met de term visgewicht – omdat van alle partijen die worden geogst en geveild al sinds 1965 het visgewicht is bepaald (Kamermans & van Asch 2016). Het visgewicht is significant gecorreleerd met de groeisnelheid van de mosselen (Capelle *et al.*, 2016).

## 1.5 Dankwoord

Van diverse collega's heb ik constructief commentaar ontvangen op het concept rapport, met name van Henrice Jansen, Pauline Kamermans en Jeroen Wijsman. Ook van Wilbert Schermer Voest heb ik nuttig commentaar ontvangen, en ik wil hem ook bedanken voor het formuleren van de helpdesk vraag. Nathalie Steins wil ik bedanken voor de review van de eindversie.

## 2. Werkwijze

De studie bestaat uit twee delen: 1) een update van de relevante gegevens van de Oosterschelde als case study van draagkracht, als vervolg op Schellekens *et al.*, 2012 en Smaal *et al.*, 2013 en (2) een analyse van draagkracht voor schelpdierkweek in diverse kweekgebieden elders in de wereld, op basis van eenvoudige indices voor draagkracht (Smaal & Prins, 1993; Dame & Prins, 1998 en Filgueira *et al.*, 2015).

Voor de analyse van de Oosterschelde gegevens is uitgegaan van beschikbare data over primaire productie en de chlorofyl concentraties, de omvang van het schelpdierbestand, een schatting van de filtratiecapaciteit, het verloop in de kwaliteit van de geoogste mosselen op basis van het visgewicht. Daarbij is uitgegaan van een filtratiecapaciteit uitgedrukt in liters per gram asvrij drooggewicht per dag) van oesters van 100 l/dag, mosselen 48 l/dag, kokkels 24 l/dag en mesheften 36 l/dag (Smaal *et al.*, 2013).

Voor de update van de gegevens is uitgegaan van recente schattingen van de schelpdierbestanden (van den Ende *et al.*, 2014; Kamermans & van Asch, 2016). Wat betreft het bestand aan wilde oesters in de Oosterschelde is gebleken dat de toename en daarna de afname in het areaal goed in kaart is gebracht. Een meer nauwkeurige bemonstering van de biomassa sinds 2012 laat echter zien dat er in de voorgaande periode mogelijk sprake is geweest van een overschatting van de biomassa op de droogvallende platen als gevolg van een te gering aantal monsters voor een representatieve schatting. Er wordt nog gewerkt aan een reconstructie van het totale bestand, waarbij ook het oesterbestand op de harde substraten in de beschouwing wordt betrokken, hetgeen in het verleden mogelijk juist is onderschat. Voor onderhavige rapport heeft dit geen gevolgen voor de conclusies.

Voor de vergelijkende analyse van de draagkracht zijn de volgende definities en indices gebruikt:

Tabel 2.1. Definities en indices voor draagkracht vergelijking (Dame & Prins, 1998)

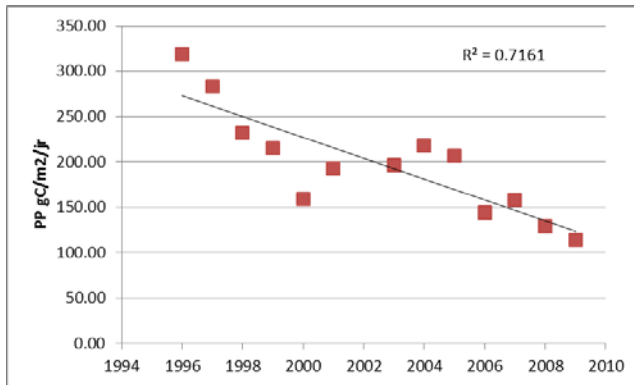
parameter	afkorting	omschrijving	berekening	eenheid
Primaire productie	PP	productiesnelheid van algen als voedsel voor de filter feeders	empirische metingen	gC m <sup>-2</sup> jaar
Productie Tijd	PT	tijd die het kost om de algenbiomassa te vernieuwen	hoeveelheid algen in het systeem / PP	dagen
Verblijftijd (Residence Time)	RT	verversingstijd van de watermassa	getijvolume / totaal volume bij laag water	dagen
Filtratiecapaciteit (Clearance Rate)	CR	capaciteit van de filter feeders om het water te filtreren in m <sup>3</sup> /dag, als fractie van het totale volume	CR (m <sup>3</sup> /d/gram filter feeder) * totale biomassa / totale watervolume	%/dag
Filtratietijd (Clearance Time)	CT	tijd die de filter feeders erover doen om het totale volume van het systeem te filtreren	filtratiecapaciteit van de filter feeders in m <sup>3</sup> * m <sup>-2</sup> * d <sup>-1</sup> / diepte in m	dagen
Clearance ratio		verhouding tussen filtratietijd en verblijftijd	CT/RT	
Grazing ratio		verhouding tussen filtratietijd en primaire productietijd	CT/PT	

### 3. Case study Oosterschelde

#### 3.1 Periode 1995 – 2009

Het onderwerp draagkracht voor schelpdieren is actueel in de Oosterschelde omdat de indruk bestaat dat het totale bestand aan schelpdieren dusdanig is toegenomen dat de ecologische draagkracht zou kunnen zijn bereikt. In diverse rapportages wordt melding gemaakt van afname van de primaire productie en verandering in algengrootteverdeling, toename van het oesterbestand en verminderde groei van schelpdieren (Geurts van Kessel *et al.*, 2007, Smaal *et al.*, 2013).

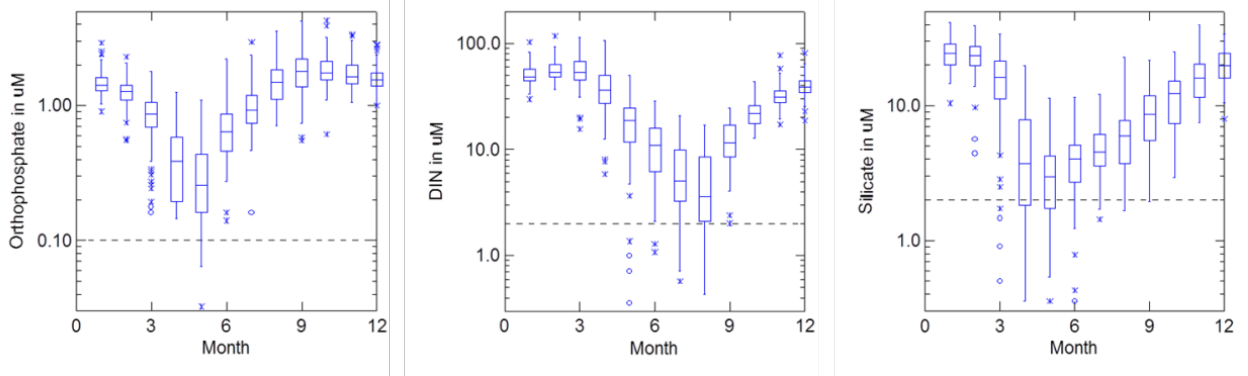
Sinds het gereedkomen van de stormvloedkering in 1987 en in het bijzonder de compartimenteringsdammen is er minder toevoer van zoetwater en daarin aanwezige nutriënten. Er is meer licht voor de primaire productie want het water is helderder geworden. In de periode tot 1995 is de primaire productie op peil gebleven (Smaal *et al.*, 2001). Dit wordt onder meer toegeschreven aan de invloed van de filter feeders die zorgden voor voldoende interne recycling van nutriënten (Prins & Smaal, 1994; Smaal *et al.*, 2001). In de periode 1996-2009 is de primaire productie ongeveer gehalveerd (Figuur 3.1).



Figuur 3.1 Primaire productie in de Oosterschelde gemiddeld per m2 over de periode 1996 – 2009

(NIOZ data; Kamermans *et al.*, 2014)

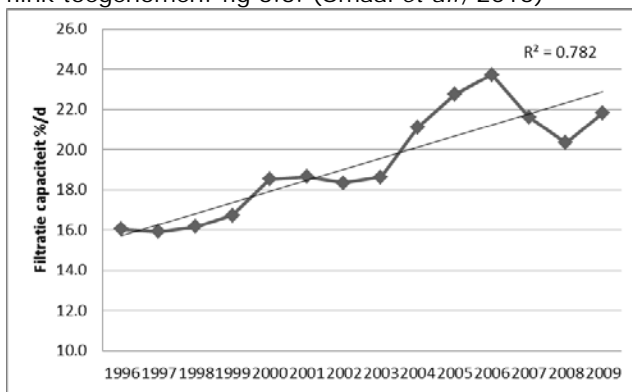
Dat was niet voorzien en er zijn diverse verklaringen mogelijk. Veelal wordt gedacht aan tekort aan nutriënten. Dit is op zichzelf logisch omdat de verminderde zoetwatertoevoer ook tot minder toevoer van nutriënten heeft geleid. Er heeft zich echter vrij snel een nieuw evenwicht ingesteld en er is geen dalende trend te zien in de nutriënten concentraties na begin jaren negentig (De Vries, 2015). De concentraties nitraat, fosfaat en silicaat variëren gedurende het jaar maar de minimum waarden zijn niet of nauwelijks beperkend voor de primaire productie (Figuur 3.2; zie ook de Vries, 2015). Dit wijst erop dat de afname in primaire productie niet aan een tekort aan nutriënten valt toe te schrijven. Extra toevoer van nutriënten heeft onder deze omstandigheden naar verwachting geen positief effect op de primaire productie omdat hiermee niet een beperkende factor wordt opgeheven.



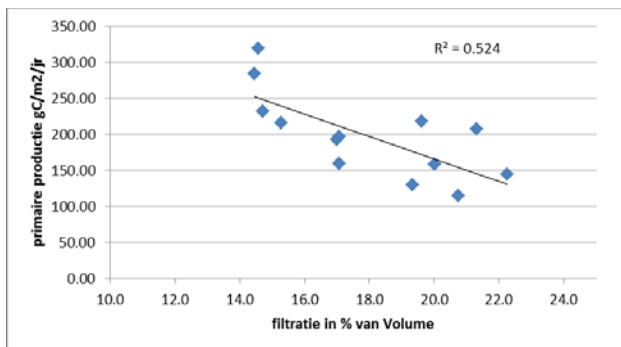
Figuur 3.2. Concentratie fosfaat, nitraat en silicaat per maand, gemiddeld voor de periode 1990 – 2011. De stippellijn geeft de minimaal benodigde concentratie aan voor algenproductie (Deltares data).

Een andere mogelijkheid is dat er een toename is opgetreden in de filtratie activiteit door de filterfeeders. Dit kan samenhangen met een toename in het bestand aan wilde oesters, dat zich inderdaad sterk heeft uitgebreid sinds de introductie in de jaren zeventig. Uit een reconstructie van het bestand aan de hand van luchtfoto's en bemonsteringen blijkt dat er een areaal is ontstaan van ca 775 ha met een biomassa van ca 87 mln kg in 2005 (Smaal *et al.*, 2009).

Dit kan worden vertaald in de filtratiedruk die de schelpdieren uitoefenen en die is van 1996 – 2009 flink toegenomen: fig 3.3. (Smaal *et al.*, 2013)



Figuur 3.3. Filtratiedruk door de filter feeders in % per dag

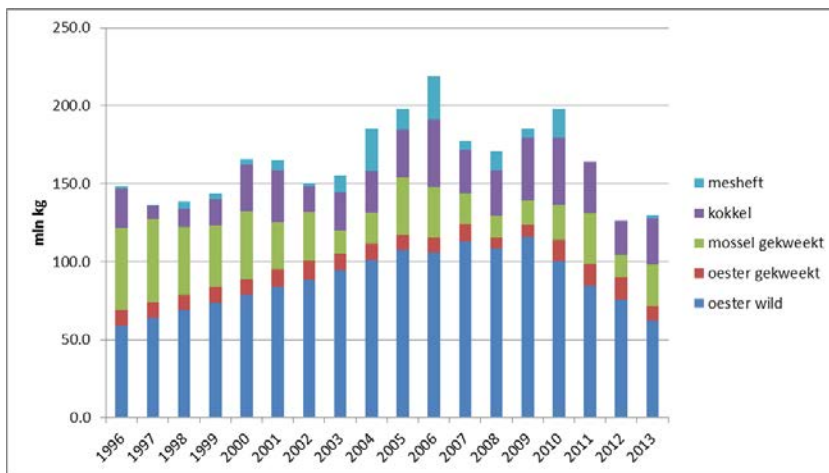


Figuur 3.4. Correlatie primaire productie en filtratiecapaciteit over de periode 1996 – 2009 ( $p < .005$ )

Er is een significant verband tussen de afname van de primaire productie en de toegenomen filtratie capaciteit (figuur 3.4). Dit leidt tot de hypothese dat de afname van de primaire productie in de periode 1995 – 2009 een gevolg is van toenemende graasdruk door de filter feeders.

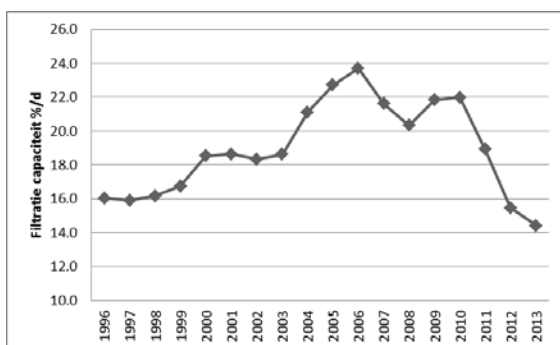
## 3.2 Periode na 2009

De totale voorraad van de belangrijkste filterfeeders is weergegeven in fig 3.5. Daaruit blijkt dat er eerst een toename is geweest en daarna weer een afname van het bestand. Dit hangt vooral samen met ontwikkelingen in het bestand aan wilde Japanse oesters. In 2006-2008 is ca 20 mln kg levende oesters opgevist in de Kom en het Middengebied, om voedselconcurrentie met gekweekte oesters te beperken (Smaal *et al.*, 2013). Sindsdien is er visserij op wilde bestanden om de kweek van oesters te voorzien, in reactie op schaarste als gevolg van het oester-herpes virus en predatie door de oesterboorder; het bestand aan wilde oesters wordt in 2013 geschat op ca 60 mln kg (Kamermans & van Asch, 2016). Het bestand aan gekweekte oesters is geschat op basis van de jaarlijkse productie en de daarvoor benodigde biomassa, uitgaande van een groeiperiode van minimaal 3 jaar. De oogst bedraagt ca 20 - 30 miljoen oesters per jaar, dit komt overeen met 2.5 - 3.75 mln kg. Het bestand wordt geschat op drie keer de productie per jaar: 7.5 – 11.25 mln kg. De voorraad mosselen op percelen is sinds 2009 toegenomen maar is nog steeds lager dan in de jaren negentig en bedraagt sinds 2000 gemiddeld ca 25 mln kg (de Mesel & Wijsman, 2011; Kamermans & van Asch, 2016). Het bestand aan jonge mosselen aan de MZI's is toegenomen, en bedraagt maximaal 3 mln kg (van Stralen, 2016). Het kokkelbestand varieerde in de periode 1995 – 2015 van 8 tot 45 mln kg versgewicht met een gemiddelde van 27 mln kg. De invasieve mesheft *Ensis directus* is in de Oosterschelde aangetroffen in aanzienlijke aantallen; de schattingen zijn geëxtrapoleerd uit data van deelgebieden en niet erg nauwkeurig (Kamermans & van Asch, 2016)



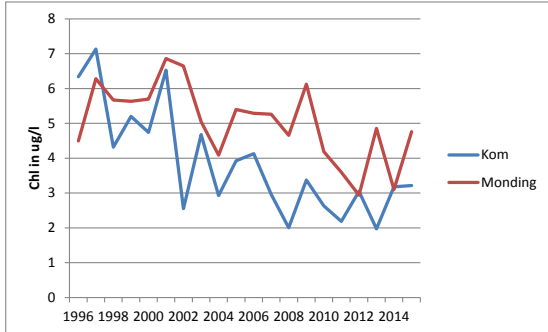
Figuur 3.5 Geschatte omvang schelpdierbestand in de Oosterschelde over de periode 1996 – 2013 in mln kg versgewicht.

De filtratie activiteit van de filterfeeders is berekend uit de bestandsgegevens en correspondeert met de ontwikkeling van het bestand, hoewel de oester vanwege de relatief grote filtratiecapaciteit het beeld domineert: figuur 3.6 (Smaal *et al.*, 2013). Er kan dus per dag maximaal 24 % van het totale volume worden gefiltreerd, oftewel een clearance time van  $100/24 = 4.17$  dagen. Bij 14 % per dag bedraagt clearance time 7 dagen.



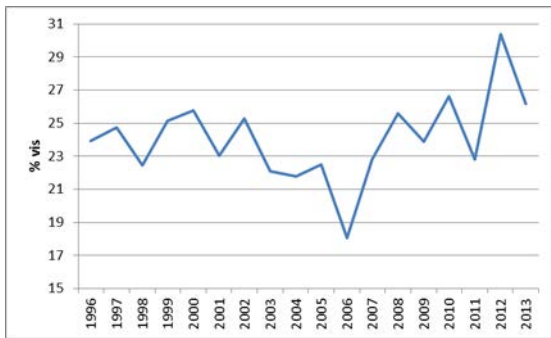
Figuur 3.6. Filtratiecapaciteit voor de periode 1996-2013

Helaas ontbreken sinds 2010 gegevens over de primaire productie. Er zijn wel gegevens over het chlorofylgehalte in de Kom en de Monding van de Oosterschelde, dit is een maat voor de hoeveelheid fytoplankton. In figuur 3.7 zijn de jaargemiddelde waarden weergegeven. De gehalten zijn al lang vrij laag en vertonen na 2000 geen duidelijke trend. Nu is het probleem dat de concentraties de resultante zijn van productie en consumptie, vandaar ook dat de afname in primaire productie (tot 2009; Figuur 3.1) niet direct terug te zien is in de hoeveelheid fytoplankton. Voor een meer zuivere schatting van de ontwikkeling in het voedselaanbod is primaire productie dan ook een betere maat.



Figuur 3.7. Jaargemiddelde chlorofylgehalten in µg/L in Kom en Monding van de Oosterschelde (RWS data)

Een aanwijzing voor verbetering van de voedselbeschikbaarheid is te vinden in de tijdreeks van de visgewichten van gekweekte mosselen (% vlees na koken t.o.v. het versgewicht). De laatste jaren is deze weer toegenomen (Fig 8).



Figuur 3.8. Visgewicht geleverde mosselen uit de Oosterschelde, gewogen gemiddelde monding en middengebied (data mosselveiling, Kamermans & van Asch, 2015).

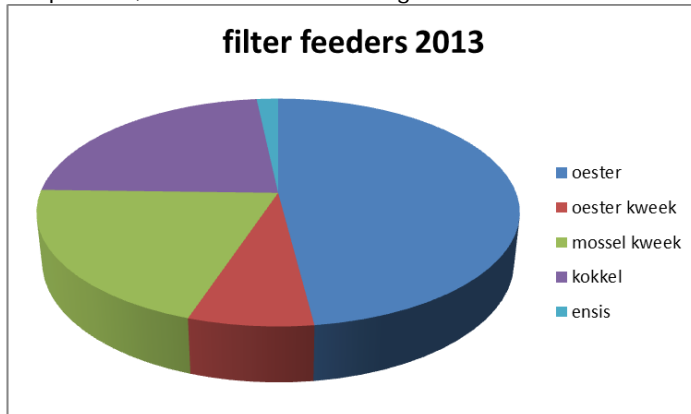
### 3.3 Rol nutriënten

Nu begrazing door schelpdieren minder waarschijnlijk is als beperkende factor voor de primaire productie, is de vraag aan de orde welke factoren dan wel beperkend zijn. In de nutriënten gehalten zijn geen duidelijke veranderingen opgetreden ten opzichte van de vorige periode (de Vries, 2015). De nutriënten gehalten in de Oosterschelde zijn relatief laag in vergelijking met de andere Deltawateren (Schellekens & Smaal, 2012). In het kader van de green deal biodiversiteit Oosterschelde (Wijsman *et al.*, 2013) is aan de orde geweest of extra toevoer nutriënten zinvol zou zijn voor verruiming van de draagkracht. Dit is toen niet gerealiseerd. Om na te gaan in hoeverre deze vraag nu weer actueel is, wordt aanbevolen om allereerst gegevens van de primaire productie te verzamelen om daaruit te kunnen afleiden wat thans de beperkende factoren zijn.

### 3.4 Ontwikkeling van de draagkracht

De ecologische draagkracht is gedefinieerd als de maximale productie van het gekweekte bestand – en de daarbij behorende omvang van dat bestand - die geen negatieve effecten heeft op het ecosysteem. Dit kan worden vertaald in de vraag naar de verdeling van de primaire productie over de verschillende gekweekte en wilde bestanden. In 2013 was het bestand aan filter feeders, die dus direct afhankelijk zijn van de primaire productie, verdeeld over de gekweekte mosselen en oesters (samen ca 25 %) en de wilde bestanden oesters, kokkels en mesheften (Figuur 3.9).

Er is tevens een categorie overige filter feeders. Dit zijn de populaties van het harde substraat (oesters, zakpijpen, sponzen, hydroidpoliepen, mosdiertjes), de overige schelpdieren (nonnetjes, slippers e.d.) en dierlijk plankton met inbegrip van de schelpdierlarven. De omvang van dit deel is niet bekend. Verder is er sterfte van fytoplankton dat niet wordt begraasd, doch bezinkt en/of door bacteriën wordt verteerd. Van de totale primaire productie valt er dus een deel toe aan filtrerende schelpdieren, een deel aan de overige filter feeders en er verdwijnt een deel door andere oorzaken.



Figuur 3.9. Verdeling van het bestand aan dominante schelpdieren in de OS in 2013 (zie voor de tijdreeks Fig 3.5).

Om na te gaan wat dit betekent voor de draagkracht wordt vaak van modellen gebruik gemaakt waarin de onderlinge afhankelijkheid van processen en de interne terugkoppelingen zijn ingebouwd. Onder andere voor analyse van de effecten van MZI's zijn dit soort modelsimulaties uitgevoerd (Kamermans *et al.*, 2014). Daarnaast wordt er gebruik gemaakt van indicatoren voor analyse van de draagkracht (zie tabel 2.1). De gemiddelde verblijftijd in de Oosterschelde is 40 dagen (RT=40) en dit is veel hoger dan de filtratietijd die varieert van 4 – 7 dagen, afhankelijk van het peiljaar. Het water wordt dus veel vaker gefiltreerd dan verversd, waarmee de interne primaire productie een belangrijke factor is die de draagkracht bepaalt.

Bij een waarde van 400 g C /m<sup>2</sup>/jaar (vòòr 1995) en een chlorofyl concentratie van 6 µg/l geldt een productie tijd PT = 2,14 dagen. Bij een primaire productie van 175 gC/m<sup>2</sup>/jaar en een chlorofyl concentratie van 4 µg/l, zoals in de periode 1996-2009 bedraagt PT = 3,26 dagen. Na 1995 is er naast een afname van de primaire productie een toename in de productietijd opgetreden. De filtratietijd is daarom afgenomen van 7 naar 5,3 dagen, en de grazing ratio is van 3,28 naar 1,63 gegaan. Dit laat zien dat het voedsel langzamer geproduceerd wordt maar sneller begraasd: de verhouding tussen productie en consumptie van voedsel is verschoven richting consumptie. Omdat er geen primaire productie data zijn na 2009, kan over de afgelopen periode (2009-2015) geen draagkracht indicatie berekend worden.

### 3.5 Conclusies

Er is in de Oosterschelde in de periode 1995 – 2009 een halvering van de primaire productie opgetreden. Sindsdien is er mogelijk sprake van een toename van de primaire productie, maar er zijn geen meetgegevens voorhanden. Aangezien nutriënten in de periode 1995-2009 niet beperkend waren lijkt het erop dat de afname van de primaire productie het gevolg is van begrazing door schelpdieren. Met name het oesterbestand is eerst toegenomen, maar dat neemt sinds 2009 weer af,



---

en daarmee de graasdruk. In de fytoplankton concentratie is er (nog) geen verandering zichtbaar, maar het visgewicht van de mosselen neemt de laatste jaren wel toe. Dit is een aanwijzing voor een toename in de voedselbeschikbaarheid c.q. primaire productie, in samenhang met de afname van het wilde oesterbestand. In hoeverre extra nutriënten toevoer dit nog verder kan stimuleren is een vraag waarvoor meetgegevens van de primaire productie nodig zijn voor een onderbouwd antwoord.

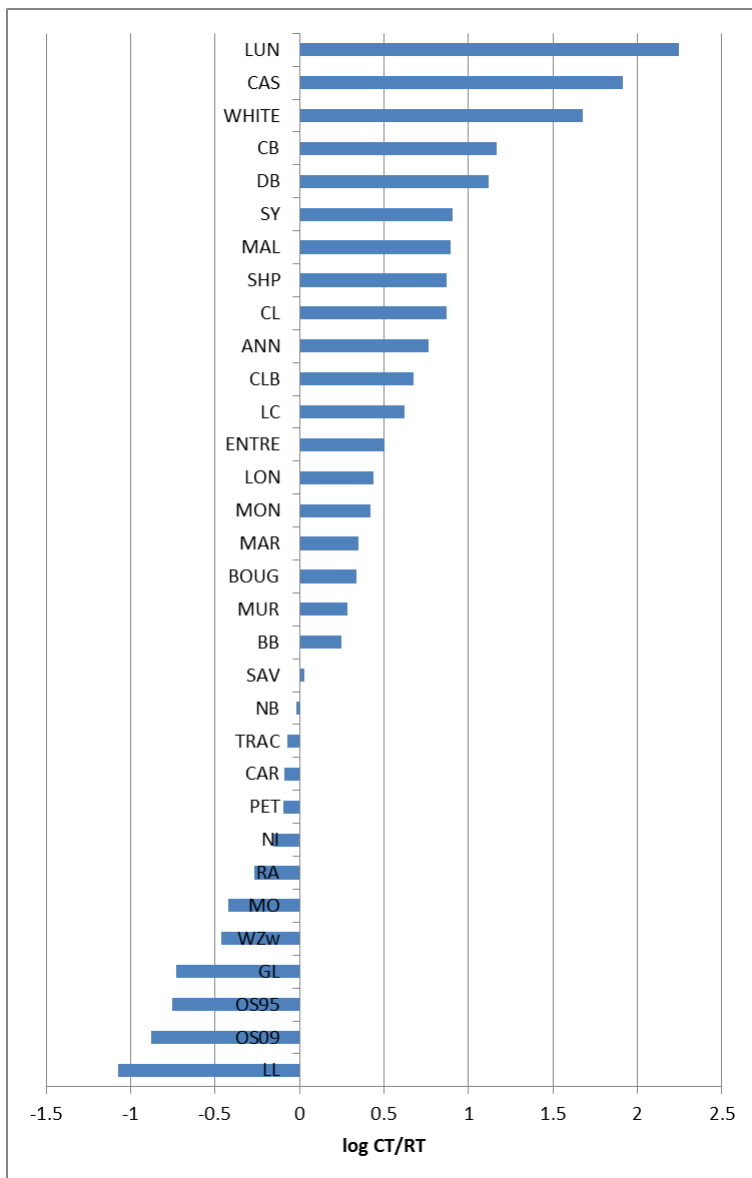
## 4. Internationale vergelijking van draagkracht indicatoren

Op basis van literatuur is een vergelijking gemaakt van de verblijftijd, primaire productie tijd en filtratietijd in verschillende gebieden waar schelpdieren voorkomen en worden gekweekt. Er zijn gegevens verzameld van Limfjord (DK), Sylt (D), Marennes-Oléron (FR), Ria de Arosa (SP), Clew Bay (IE), Carlingford Lough (IE), Loch Creran (UK), Beatrix Bay (Nw ZL), diverse baaien in de USA en in Canada (Tabel 4.1).

Tabel 4.1. Waterverblijftijd (RT), primaire productietijd (PT), filtratietijd (CT), clearance ratio (CT/RT) en grazing ratio (CT/PT) in diverse gebieden met dominante schelpdierpopulaties; tijd is in dagen weergegeven.

gebied	land	code	dominante soort	RT	PT	CT	CT/RT	CT/PT	ref
Beatrix Bay	NwZI	BB	mossel	13	2.12	22.83	1.76	10.79	Gibbs, 2007
Boughton	CAN	BOUG	mossel	1.87	1.7	4.07	2.18	2.39	Filgueira et al, 2015
Brudenell/ Montague	CAN	MON	mossel	2.2	1.7	5.78	2.63	3.40	Filgueira et al, 2015
Cardigan	CAN	CAR	mossel	2.24	1.7	1.83	0.82	1.08	Filgueira et al, 2015
Carlingford Lough	IERLAND	CL	mossel, oester	65.8	24.15	490.2	7.45	20.30	Ball et al., 1997
Cascumpeque	CAN	CAS	mossel	1.59	1.48	130.1	81.82	87.91	Filgueira et al, 2015
Chesapeake Bay	USA	CB	oester	22	1.57	325	14.77	207.65	Newell, 1988
Clew Bay	IERLAND	CLB	mossel, oester	10	1.71	47.18	4.72	27.57	keyzone project
Delaware Bay	USA	DB	oester	97	12.38	1278	13.18	103.27	Biggs & Howell,
Grand Entre'e	CAN	ENTRE	mossel	2.17	0.73	6.94	3.20	9.51	Filgueira et al, 2015
Grevelingen Lake	NL	GL	oester	60	1	11.2	0.19	11.20	Smaal & Wijsman, 20
Limfjord/Lögstör Broad	DK	LL	mossel	35	1.64	2.95	0.08	1.79	Dolmer 2002
Loch Creran	UK	LC	oester	10	1.83	41.94	4.19	22.98	keyzone project
Lunenburg	CAN	LUN	mossel	2.43	0.79	430.12	177.00	544.46	Filgueira et al, 2015
Malpeque	CAN	MAL	mossel	2.13	1.7	16.69	7.84	9.82	Filgueira et al, 2015
Marennes-Oléron	F	MO	mossel, oester	7.1	16.64	2.70	0.38	0.16	Bacher, 1989
Murray	CAN	MUR	mossel	1.25	1.48	2.41	1.93	1.63	Filgueira et al, 2015
Narragansett Bay	USA	NB	Mercenaria	26	1.68	25.00	0.96	14.85	Kremer & Nixon,
New London	CAN	LON	mossel	2.37	1.48	6.47	2.73	4.37	Filgueira et al, 2015
North Inlet	USA	NI	oester	1	1.23	0.70	0.70	0.57	Dame et al., 1980
Oosterschelde <1995	NL	OS95	mossel, kokkel	40	2.14	7.00	0.18	3.28	Smaal et al., 2001
Oosterschelde 1995-20	NL	OS09	mossel, kokkel, oe	40	3.26	5.30	0.13	1.63	Smaal et al., 2013
Ria de Arosa	SP	RA	mossel	23	0.63	12.40	0.54	19.68	Tenore et al., 1982
Savage	CAN	SAV	mossel	1.52	1.48	1.63	1.07	1.10	Filgueira et al, 2015
Ship	CAN	SHP	mossel	3.21	0.79	23.92	7.45	30.28	Filgueira et al, 2015
South San Francisco Bay	USA	SSB	diverse	11.1	1.66	0.70	0.06	0.42	Cloern, 1982
St. Ann's	CAN	ANN	mossel	5.7	1.79	33.25	5.83	18.58	Filgueira et al, 2015
St. Mary's	CAN	MAR	mossel	1.33	1.7	2.97	2.23	1.75	Filgueira et al, 2015
St. Peter's	CAN	PET	mossel	3.08	1.48	2.45	0.80	1.66	Filgueira et al, 2015
Sylt (Königshafen)	GER	SY	mossel, kokkel	0.5	0.77	4.00	8.00	5.16	Asmus et al., 1990
Tracadie	CAN	TRAC	mossel	2.19	1.48	1.84	0.84	1.24	Filgueira et al, 2015
Wadenzee-west	NL	WZw	mossel	17	1.62	5.80	0.34	3.59	Dame et al., 1991
Whitehead	CAN	WHITE	mossel	4.14	0.79	196.29	47.41	248.47	Filgueira et al, 2015

In figuur 4.1 is de clearance ratio weergegeven als log CT/RT. In gebieden met een positieve waarde is de filtratietijd langer dan de verblijftijd ( $CT/RT > 1$ ), en wordt het water sneller ververst dan gefiltreerd. In gebieden links van de Y-as is de verblijftijd langer dan de filtratietijd en filteren de schelpdieren het water dus sneller dan het wordt ververst. Dit betekent dat de schelpdieren in principe een regulerende functie uitoefenen over de nutriënten kringloop in het ecosysteem. Het betekent ook dat de draagkracht in de eerste plaats bepaald wordt door de primaire productie van het gebied zelf omdat import er minder toe doet. Voor de Oosterschelde vòòr 1995 was de clearance ratio 0.18 en in 2009 0.13 (Tabel 4.1).



Figuur 4.1. Clearance ratio uitgedrukt als  $\log CT/RT$ . De negatieve waarden geven aan dat het water in die gebieden sneller wordt gefiltreerd dan verversd.

In de volgende Figuur 4.2 wordt ingezoomd op de grazing ratio, voor de gebieden met clearance ratio < 1, dus het onderste deel van fig 4.1.

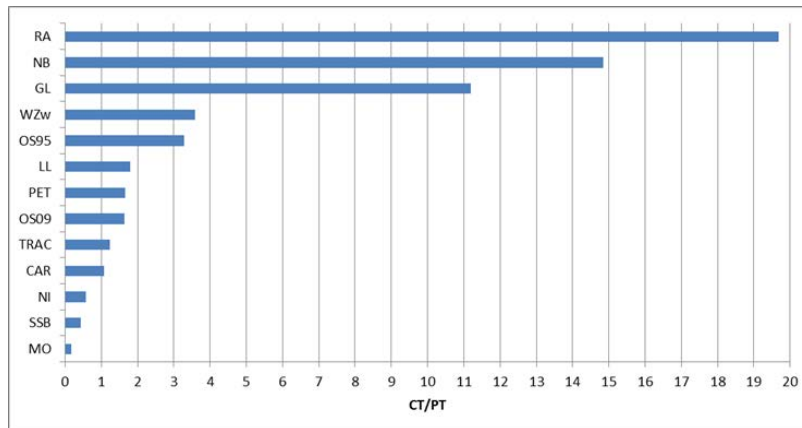
In de Ria de Arosa (SP), Narragansett Bay (USA) en het Greveluingenmeer (NL) is de primaire productie tijd veel korter dan de filtratie tijd. De voedselproductie is dus ruim voldoende voor de filter feeders. Dit betreft alleen de commerciële bestanden, over de wilde filter feeder bestanden zijn geen gegevens voorhanden. Voor de Grevelingen geldt dat bodem voor een beperkt deel is bevolkt met oesters vanwege zuurstofgebrek in de zone beneden 5 m (Smaal & Wijsman, 2014).

In de Waddenzee en de Oosterschelde vòòr 1995 is de primaire productie tijd ruim 3 x korter dan de filtratie, terwijl in de Oosterschelde 1995 – 2009, in het Limfjord(DK) en in diverse Canadese baaien de filtratietijd in de buurt komt van de primaire productie tijd, de grazing ratio is tussen 1 en 2. Voor Limfjord geldt dat er inderdaad een hoge graasdruk is, maar dat er soms gelaagdheid optreedt waardoor de waterkolom ontkoppeld is van de bodem, waar de mosselen liggen. Dan is de graasdruk tijdelijk minder en kunnen de algen weer groeien. Als de wind toeneemt worden de algen weer intensief begraaasd. Periodieke gelaagdheid voorkomt zodoende overbegrazing (Maar *et al.*, 2010).

De Canadese baaien met een lage grazing ratio – St Peters, Tracadie Bay, Cardigan – zijn alle gelegen bij Prins Edward Island, een belangrijk mosselkweekgebied in Canada. Daarvan is bekend dat er intensieve mosselhangcultuur plaats vindt en dat de systemen worden gedomineerd door de mosselpopulaties. In deze baaien wordt het fytoplankton gedomineerd door soorten met kleine cellen

(picoplankton) die niet worden gegeten door de mosselen omdat ze door de mazen van kieuwen heen gaan. Dominantie van picoplankton wordt gezien als een indicatie van overbegrazing (Cranford *et al.*, 2009).

Verder blijkt uit figuur 4.2 dat er gebieden zijn waar de filtratietijd korter is dan de productietijd. Dit betreft North Inlet (USA), South San Francisco Bay (USA) en Marennes-Oléron (FR). Dit betekent dat er voedseltoevoer moet zijn vanuit andere bronnen. North Inlet is een open systeem met import van voedsel uit de oceaan. In San Francisco Bay is er toevoer van algen uit de rivieren (Cloern, 1982). Marennes-Oléron is een troebel systeem met veel opwerveling van bodemmateriaal, inclusief bodemalgen. De bodemalgen zijn daar een belangrijke voedselbron die niet wordt meegenomen in de primaire productie metingen (Heral 1993).



Figuur 4.2. De grazing ratio (CT/PT) voor ecosystemen met een lage clearance ratio ( $CT/RT < 1$ )

## Grenswaarden voor draagkracht

Met behulp van de clearance en grazing ratio's kan worden nagegaan in welke mate de verschillende vormen van draagkracht in het ecosysteem wordt benut. Door Gibbs 2007 wordt gesteld dat een clearance ratio van 20 als ondergrens kan dienen voor de ecologische draagkracht: als een commerciële schelpdierpopulatie er 20 maal langer over doet om het water te filteren dan de verversingstijd is er volgens Gibbs (2007) geen effect te verwachten. Bij een clearance ratio van 1 zouden er wel effecten kunnen optreden. Hier gaat Gibbs voorbij aan het gegeven dat waterverversing niet perse nodig is voor een draagkrachtig ecosysteem. Er zijn immers veel ecosystemen met een clearance ratio  $< 1$  waar de interne voedselproductie toereikend is voor de voedselvoorziening van de filter feeders.

Voor de productie draagkracht hanteert Gibbs de regulation ratio, dit is de inverse van de grazing ratio. Hij stelt dat een cultuur bij een grazing ratio  $> 20$  weinig impact zal hebben, terwijl een waarde van nabij 1 betekent dat de kweek de primaire productie beheerst: het voedselweb is dan versimpeld tot de cyclus nutriënten – algen - schelpdieren. Enerzijds is een grazing ratio van 20 niet onderbouwd, en anderzijds is een grazing ratio van 1 een zuiver theoretische waarde. Een grazing ratio van 1 is de absolute ondergrens want de primaire productie moet altijd sneller verlopen dan de begrazing. Op theoretische gronden geldt dus dat de filtratietijd altijd langer moet duren dan de primaire productietijd, dus  $CT/PT > 1$ . In de praktijk zal er een zekere marge nodig zijn om het risico van overbegrazing te voorkomen en dient de grazing ratio dus duidelijk hoger te zijn dan 1.

De benadering dat de grazing ratio duidelijk hoger dan 1 moet zijn, is gevolgd in het kader van de Bivalve Aquaculture Dialogue, opgezet door het World Wildlife Fund (WWF) ten behoeve van het Aquaculture Stewardship Council (ASC) label voor verantwoorde kweek. Hier is een grenswaarde van 3 voorgesteld voor de grazing ratio. De primaire productie zou minimaal 3 x sneller moeten verlopen dan begrazing door een commerciële schelpdierpopulatie (ASC, 2012). Het ASC hanteert deze grens als een praktische vuistregel, die van geval tot geval nader bekeken dient te worden. Een belangrijke

---

vraag hierbij is hoe de gekweekte filter feeder populatie zich verhoudt tot de natuurlijke filter feeders, met ander woorden hoeveel ruimte is er in het systeem aanwezig voor gekweekte populaties. In een review over methodieken en definities over draagkracht gaan Filgueira *et al.*, 2015 in op modellen en indices. Zij geven aan dat er voor het stellen van grenswaarden voor ecologische draagkracht nog geen objectieve onderbouwing is te geven (zie ook Cranford *et al.*, 2012 over methoden voor de beoordeling van schelpdierkweek).

Niettemin kunnen de indices voor de praktijk van belang zijn om op een simpele en inzichtelijke manier een schatting te geven van de mogelijke effecten van schelpdierkweek op de draagkracht. In de Oosterschelde is de grazing ratio gehalveerd van 3,28 naar 1,63 in de periode 1995 – 2009. Dit correspondeert met een afname van de primaire productie, die samenhangt met de toename van de wilde oesters, met als gevolg risico op overbegrazing. De waarde 1.63 ligt inderdaad vrij dicht bij het theoretisch minimum van 1. Zoals in par 3.1 uiteengezet is het mogelijk dat de grazing ratio de laatste jaren weer toegenomen is.

De bijdrage van gekweekte populaties aan de grazing ratio wordt bepaald door de filtratiecapaciteit van deze populaties. In de Oosterschelde betreft dit de mosselen en de oesters. Het kweekbestand aan oesters en mosselen heeft een filtratiecapaciteit van ca 23 % over de periode 1995 - 2009. Deze bestanden hebben in deze periode een grazing ratio van 7. Dit is dus ruim boven de waarde van 3 die door ASC wordt gehanteerd. Zoals gesteld is er geen algemeen geaccepteerde norm voor ecologische draagkracht voor het beheer van schelpdierbestanden voor kweek of voor toepassingen zoals natuurherstel of eco-engineering. Wel kan als uitgangpunt dienen dat bij het beheer van schelpdierbestanden de grazing ratio duidelijk boven de 1 moet blijven. Indien de ASC benadering wordt gevolgd zou voor een grazing ratio > 3 moeten worden gekozen. Dit roept de vraag op in hoeverre uitbreiding van een geëxploiteerd bestand gepaard zou moeten gaan met actief beheer c.q. inperking van wilde bestanden. Dit is een beheersvraag die zowel raakt aan de ecologische als aan de sociale draagkracht.

---

## 5. Discussie en conclusies

In de Oosterschelde is de primaire productie afgenomen in de periode 1995 – 2009; in deze periode nam de filtratiecapaciteit toe, en de grazing ratio (de verhouding tussen filtratietijd en primaire productie tijd) nam af van ruim 3 tot ruim 1,5. Aangezien er geen duidelijke andere beperkende factoren voor de primaire productie zijn gevonden, is de afname waarschijnlijk toe te schrijven aan toenemende graasdruk door uitbreiding van het bestand aan wilde oesters. Sinds 2010 is er een afname in het totale schelpdierbestand en een toename in mosselgroei, afgemeten aan de visgewichten van de geogste mosselen; dit wijst erop dat de graasdruk sinds 2010 is afgenomen. Het ziet ernaar uit dat de primaire productie weer is toegenomen, maar daarover ontbreken de data.

Uit een internationale vergelijking van ecosystemen die worden gedomineerd door schelpdierkweek, komt naar voren dat de clearance en de grazing ratio bruikbare indicatoren zijn voor evaluatie van de ecologische draagkracht. De clearance ratio geeft aan in hoeverre de ecosystemen afhankelijk zijn van de eigen productie of van import van elders. Bij de waarde  $> 1$  is sprake van relatief open systemen waar de waterverversing groter is dan de filtratie. Bij een waarde kleiner dan 1 zijn de interne processen meer van belang, en is de eigen voedselproductie meer bepalend voor de draagkracht. De verhouding tussen filtratie en interne productie, de grazing ratio, moet op theoretische gronden altijd  $> 1$  zijn. In de praktijk is er geen algemeen geaccepteerde norm, maar voor het ASC label wordt uitgegaan van een grazing ratio  $> 3$  voor duurzame kweek. Er bestaan diverse ecosystemen waar de grazing ratio tussen 1 en 2 ligt. Dit was zo in de Oosterschelde in 2009, en dit is ook het geval in enkele mosselkweekgebieden op Prince Edward Island (Canada). In die baaien is er ook een relatieve dominantie van de picoplankton ten opzichte van mesoplankton, en dat bevestigt dat er sprake is van een hoge graasdruk.

De studie leidt tot de volgende conclusies:

- Het gebruik van indicatoren als clearance ratio en grazing ratio geeft inzicht in de mate van benutting van de ecologische draagkracht van verschillende ecosystemen door filter feeders.
- Uit de case studie van de Oosterschelde blijkt dat de clearance ratio kleiner is dan 1, en dat wijst erop dat de interne productie belangrijker is voor de voedselvoorziening dan uitwisseling met de Noordzee. De grazing ratio voor 1995 bedroeg 3,28 en in 2009 was deze 1,68; dit wijst op het risico op overbegrazing als gevolg van uitbreiding van het bestand aan wilde oesters. Sinds 2010 is er een afname van het totale schelpdierbestand en een toename in de mosselgroei, afgemeten aan de visgewichten van de geogste mosselen. Dit wijst erop dat de graasdruk sindsdien weer is afgenomen. Door gebrek aan data over de primaire productie na 2009 is er geen grazing ratio van na 2009 bekend.
- Er is in de literatuur geen consensus over grenswaarden voor de benutting van de ecologische draagkracht door geëxploiteerde schelpdierpopulaties. In bepaalde gevallen, zoals voor het ASC label, is de grenswaarde van 3 gehanteerd voor de grazing ratio van gekweekte bestanden.
- Indien voor het beheer van de Oosterschelde regulering van de ecologische en sociale draagkracht wenselijk wordt geacht, kan worden overwogen de grazing ratio van gekweekte versus wilde populaties als uitgangspunt te nemen, als simpele indicator voor de benutting van de ecologische draagkracht.
- Voor het gebruik van de grazing ratio is jaarlijkse monitoring van de primaire productie nodig, zoals dit is uitgevoerd tot 2010 maar daarna niet is voortgezet. De overige benodigde gegevens over de filtratiecapaciteit van de gekweekte en wilde filter feeder bestanden kunnen voor een deel worden ontleend aan bestaande survey programma's, maar er ontbreken wel gegevens over de filter feeders van het harde substraat en over begrazing door het zoöplankton.

---

# Referenties

ASC (2012) ASC bivalve standard. Aquaculture Stewardship Council, Utrecht

Asmus, H, Asmus R & Reise K (1990) Exchange processes in an intertidal mussel bed: a Syltflume study in the Wadden Sea. *Ber Biol Anst Helgoland* 6: 1–79

Bacher C (1989) Capacite trophique du bassin de Marennes-Oleron: couplage d'un modele de transport particulaire et d'un mod`ele de croissance de l'huitre *Crassostrea gigas*. *Aquat Living Res* 48: 199–214

Ball B, Raine R & Douglas D (1997) Phytoplankton and particulate matter in Carlingford Lough, Ireland: An assessment of food availability and the impact of bivalve culture. *Estuaries* 20: 430–440.

Byron C, Bengtson D, Costa-Pierce & B, Calanni J (2011) Integrating science into management: ecological carrying capacity of bivalve shellfish aquaculture. *Mar Policy* 35: 363–370

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

Cloern JE (1982) Does the benthos control phytoplankton biomass in south San Francisco Bay? *Mar Ecol Prog Ser* 9: 191–202

Cranford, P.J., Hargrave, B. & Li, W., 2009. No mussel is an island. *ICES insight* 46, 44-49

Cranford PJ, Kamermans P, Krause G, Mazurié J, Buck BH, Dolmer P, Fraser D, Van Nieuwenhove K, O'Beirn FX, Sanchez-Mata A, Thorarinsdóttir GG & Strand Ø (2012) An ecosystem-based approach and management framework for the integrated evaluation of bivalve aquaculture impacts. *Aquac Environ Interact* 2: 193–213

Dame R, Dankers N, Prins T, Jongasma H & Smaal A (1991) The influence of mussel beds on nutrients in the western Wadden Sea and eastern Scheldt Estuaries. *Estuaries* 14: 130–138

Dame RF & Prins TC (1998) Bivalve carrying capacity in coastal ecosystems. *Aquat Ecol* 31: 409–421  
Dolmer, P. 2002. Mussel dredging: Impact on epifauna in Limfjorden, Denmark. *JSR* 21(2): 529 - 537  
Ende D. van den, M. van Asch, E.B. Brummelhuis & K. Troost (2014b) Japanse oesterbanken op droogvallende platen in de Nederlandse kustwateren in 2014: bestand en arealen Rapport: C172/14 IMARES

Filgueira, R., L. A. Comeau, T. Guyonnet, C. W. McKindsey and C. J. Byron, 2015. Modelling Carrying Capacity of Bivalve Aquaculture: A Review of Definitions and Methods. *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology* Springer Science+Business Media New York .

Gibbs MT (2007) Sustainability performance indicators for suspended bivalve aquaculture activities. *Ecol Indic* 7: 94–107

Heral M (1993) Why carrying capacity models are useful tools for management of bivalve mollusc culture. In: Dame RF (ed) *Bivalve filter feeders in estuarine and coastal ecosystem processes*. Springer, Berlin/Heidelberg, pp 455–477

Herman P.M.J. (2012) The effect of partial spatial isolation between mussels and their algal food on carrying capacity. NIOZ-Yerseke report. Hoofdstuk 2

- 
- Inglis GJ, Hayden BJ & Ross AH (2000) An overview of factors affecting the carrying capacity of coastal embayments for mussel culture. NIWA, Christchurch. Client Report CHC00/69: vi + 31 p
- Jansen HM, Verdegem MCJ, Strand Ø & Smaal AC (2012) Seasonal variation in mineralization rates (C-N-P-Si) of mussel *Mytilus edulis* biodeposits. *Mar Biol* 159: 1567–1580
- Kamermans, 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
- Kamermans P & van Asch M. (2016). Monitoring draagkracht voor schelpdieren in relatie tot opschaling MZIs in de Waddenzee en Oosterschelde tot en met 2014. Imares rapport C06/16
- Kremer J and Nixon S (1978) A Coastal Marine Ecosystem. SpringerVerlag, New York
- Maar M, Timmermann K, Petersen JK, Gustafsson KE & Storm LM (2010) A model study of the regulation of the blue mussels by nutrient loadings and water column stability in a shallow estuary, the Limfjorden. *J Sea Res* 64: 322–333
- McKindsey CW, Thetmeyer H, Landry T & Silvert W (2006) Review of recent carrying capacity models for bivalve culture and recommendations for research and management. *Aquaculture* 261(2): 451–462
- 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
- Newell RIE (1988) Ecological changes in Chesapeake Bay: Are they the result of overharvesting the American oyster, *Crassostrea virginica*? In: Lynch, MP and Krome EC (eds.), *Understanding the Estuary: Advances in Chesapeake Bay Research* (pp. 536–546). Chesapeake Research Consortium, Solomon's, Maryland
- Prins TC & A C Smaal, 1994. The role of the blue mussel *Mytilus edulis* in the cycling of nutrients in the Oosterschelde estuary (The Netherlands). *Hydrobiologia*, 282/283: 413–429
- Schellekens T, M van Stralen, J Kesteloo-Hendrikse & A Smaal (2014) Analyse historische data Oosterschelde en Waddenzee. IMARES Rapport C189/13
- Smaal AC & Prins TC (1993) The uptake of organic matter and the release of inorganic nutrients by bivalve suspension feeder beds. In: Dame RF (ed) *Bivalve filter feeders in estuarine and coastal ecosystem processes*. Springer, Berlin, pp 271–298
- Smaal AC, Prins TC, Dankers N & Ball B (1998). Minimum requirements for modelling bivalve carrying capacity. *Aquat Ecol* 31: 423–428
- Smaal, A.C., Stralen, M.R. van & Schuiling, E. (2001). The interaction between shellfish culture and ecosystem processes. *Can. J. Fish Aquat Sci.* 58, 991 – 1002
- Smaal, A. C., B. J. Kater & 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 AC, Schellekens T, van Stralen MR & Kromkamp JC (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 AC & J Wijsman (2014). Kansen voor schelpdiercultuur in Grevelingen en Volkerak-Zoommeer bij ander waterbeheer. Imares rapport C054/14.

Spiterie C & AJ Nolte (2010). Validatie van het 3D model van het Grevelingenmeer voor hydrodynamica, waterkwaliteit en primaire productie. Deltares 1201650-000

Stralen, M.R. van (2016). Invang van mosselzaad in MZI's. Resultaten 2015

Tenore KR, Boyer LF, Cal RM, Corral J, Garcia-Fernandez C, Gonzalez N, Gonzalez-Gurriaran E, Hanson RB, Iglesias J, Krom M, Lopez-Jamar E, McClain J, Pamatmat MM, Perez A, Rhoads DC, de Santiago G, Tietjen J, Westrich J & Windom HL (1982) Coastal upwelling in the Rias Bajas, NW Spain: contrasting the benthic regimes of the Rias de Arosa and de Muros. *J Mar Res* 40: 701–772

Vries I. de (2015). Waterkwaliteiten Deltawateren; datarapport N P Si. Deltares.

Wijsman, J. W. M., M. Poelman, A. Blanco, T. Troost, T. Schellekens, W. J. Strietman & K. Hamon (2013) Verkenning van de effecten van toelaten nutriënten en verwijderen van wilde oesters op de productie van Kweekoesters in de Kom van de Oosterschelde. Wageningen IMARES, Rapport nummer: C010/13, 68 pagina's

---

# Verantwoording

Rapport C023/17

Projectnummer: 4318200005-01

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: Dr ir N. Steins  
Coördinator regiocentrum Yerseke

Handtekening:



Datum: 21-3-2017

Akkoord: Drs. J. Asjes  
Manager Integratie

Handtekening:



Datum: 21-3-2017

---

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

Visitors address

- Ankerpark 27 1781 AG Den Helder
- Korringaweg 5, 4401 NT Yerseke
- Haringkade 1, 1976 CP IJmuiden

---

Wageningen Marine Research is the Netherlands research institute established to provide the scientific support that is essential for developing policies and innovation in respect of the marine environment, fishery activities, aquaculture and the maritime sector.

**Wageningen University & Research** is specialised in the domain of healthy food and living environment.

**The Wageningen Marine Research vision:**

‘To explore the potential of marine nature to improve the quality of life.’

**The Wageningen Marine Research mission**

- To conduct research with the aim of acquiring knowledge and offering advice on the sustainable management and use of marine and coastal areas.
- Wageningen Marine Research is an independent, leading scientific research institute.

Wageningen Marine Research is part of the international knowledge organisation Wageningen UR (University & Research centre). Within Wageningen UR, nine specialised research institutes of Stichting Wageningen Research (a Foundation) have joined forces with Wageningen University to help answer the most important questions in the domain of healthy food and living environment.

---

