



Quick-scan mogelijkheden van medegebruik (schelpdierkweek en zeewierteelt) met een te realiseren drijvend zonnepark in het Hoogbekken van de Krammersluizen

Auteur(s): Jeroen W.M. Wijsman en Romy A. Lansbergen

Wageningen University &
Research rapport C030/21

Quick-scan mogelijkheden van medegebruik (schelpdierkweek en zeewierteelt) met een te realiseren drijvend zonnepark in het Hoogbekken van de Krammersluizen

Auteur(s): Jeroen W.M. Wijsman en Romy A. Lansbergen

Wageningen Marine Research

Wageningen Marine Research
Yerseke, maart 2021

Wageningen Marine Research rapport C030/21

Keywords: draagkracht, schelpdierweek, suikerwier

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat Zee en Delta
T.a.v.: Kees Jan Meeuse
Postbus 2232
3500 GE Utrecht

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/544218>
Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

Wageningen Marine Research is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

© Wageningen Marine Research

Wageningen Marine Research, instituut
binnen de rechtspersoon Stichting
Wageningen Research, hierbij
vertegenwoordigd door
Dr. ir. J.T. Dijkman, Managing director

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
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.
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 V31 (2021)

Inhoud

Samenvatting	4
1 Inleiding	5
1.1 Achtergrond	5
1.2 Kennisvraag	6
1.3 Aanpak	6
2 Mogelijkheden schelpdierkweek	7
2.1 Draagkracht schelpdierkweek	7
2.2 Gemiddelde verblijftijd	8
2.3 Productietijd	9
2.4 Graasdruk	9
2.5 Indicatoren draagkracht	10
3 Mogelijkheden zeewierteelt	11
3.1 Randvoorwaarden	11
3.2 Draagkracht Hoogbekken	12
3.3 Nutriënten Hoogbekken	13
3.4 Productie capaciteit	14
4 Conclusies en discussie	16
4.1 Mogelijkheden voor schelpdierkweek	16
4.2 Mogelijkheden voor zeewierteelt	16
4.3 Combinatie van schelpdierkweek en zeewierteelt	17
5 Kwaliteitsborging	18
Literatuur	19
Verantwoording	20

Samenvatting

Het Hoogbekken zal na de renovatie van het Krammersluizencomplex zijn huidige functie verliezen. Er zijn plannen om er een park van drijvende zonnepanelen aan te leggen. Het drijvend zonnepark in het Hoogbekken leent zich in potentie tot medegebruik door aquacultuur. In deze quick-scan is er onderzocht of er voldoende draagkracht is in het Hoogbekken in een situatie met een drijvend zonnepark (50% bedekking met een lichtdoorlatendheid van 15%) voor schelpdierkweek of zeewierteelt.

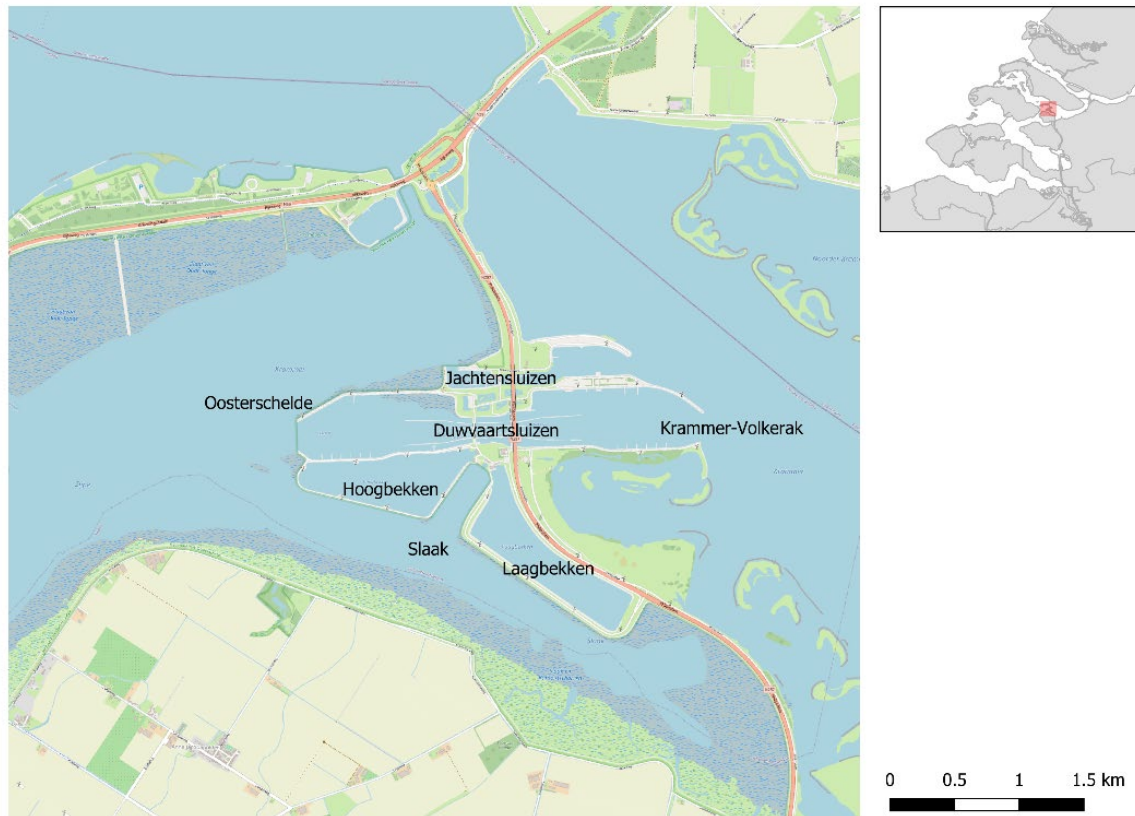
Op basis van de draagkrachtanalyse die in deze quick-scan uitgevoerd is kan er worden geconcludeerd dat er, ondanks de verwachte hoge primaire productie en algenconcentratie in het Hoogbekken, geen ruimte is voor aanvullende kweek van schelpdieren. De huidige inschatting van de graasdruk in het bekken is dusdanig hoog ($0.61 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) dat de draagkracht is bereikt door de van nature aanwezige schelpdieren in het Hoogbekken. Omdat er grote onzekerheid zit op de inschatting van de graasdruk in het Hoogbekken is een hypothetische analyse gedaan onder de aanname dat de graasdruk de helft is ($0.3 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) van wat is ingeschat. Onder deze aanname is een jaarlijkse productie van 33500 kg mosselen (*Mytilus edulis*) of 34 000 kg Japanse oesters (*Crassostrea gigas*) mogelijk in het Hoogbekken.

Tevens is er berekend wat de mogelijkheden zijn van zeewierkweek naast de zonnepanelen. De berekeningen zijn gedaan op basis van de nutriëntenbehoeften van suikerwier (*Saccharina latissima*). Op basis van de nutriëntenbeschikbaarheid is 0.04 ha zeewierkweek per seizoen het maximaal mogelijke. Dit zou 400 kg droog gewicht aan zeewier per seizoen opleveren. De beperkende factor is de beschikbaarheid aan nutriëntenaanvoer vanuit de Oosterschelde en de concurrentie om de beschikbare nutriënten tussen het zeewier en het fytoplankton. In deze quick-scan is tevens een eerste aanzet gedaan voor draagkrachtindicatoren voor zeewierkweek in analogie met de indicatoren die reeds worden gebruikt voor schelpdierkweek.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De Krammersluizen vormen de verbinding voor de scheepvaart tussen het zoute water van de Oosterschelde in het westen en het zoete water van het Krammer-Volkerak in het Oosten (Figuur 1).



Figuur 1: Overzichtskartaal van de Krammersluizen in de Phillipsdam tussen de zoute Oosterschelde en het zoete Krammer-Volkerak.

Het sluisencomplex is uitgerust met een vernuftig zout/zoet scheidingsstelsel om te voorkomen dat er tijdens het schutten grote hoeveelheden zout water vanuit de Oosterschelde in het Krammer-Volkerak terecht zou komen en omgekeerd, dat er te veel zoet water in de Oosterschelde komt (Dillingh et al., 2012). Onderdeel van dit systeem zijn twee bufferbekkens, het ca. 41 ha Hoogbekken en het ca. 45 ha Laagbekken. De bekkens zijn via een stelsel van riolen en doorlaatwerken zowel verbonden met het sluisencomplex als met het Slaak in de Oosterschelde.

Rijkswaterstaat is van plan om het sluisencomplex grondig te renoveren waarna de zoet/zout-scheiding voornamelijk zal worden gerealiseerd door middel van bellenschermen. De huidige functie van het Hoogbekken komt dan te vervallen (Kranenburg et al., 2016). Naast de renovatie van de Krammersluizen wordt er ook onderzocht of er in de bekkens een zonnepark kan worden gerealiseerd met behulp van drijvende zonnepanelen. In het Hoogbekken zou een drijvend zonnepark, na de renovatie van de krammersluizen, eventueel worden gecombineerd met aquacultuur (schelpdierkweek of zeewiarteelt).

1.2 Kennisvraag

Rijkswaterstaat heeft Wageningen Marine Research gevraagd om een quick-scan uit te voeren naar de haalbaarheid van schelpdierkweek of zeewierteelt in combinatie met een drijvend zonnepark in het Hoogbekken van de Krammersluizen. Omdat het Laagbekken na de renovatie ook nog een functie blijft behouden in de zoet/zout-scheiding is medegebruik door aquacultuur daar niet aan de orde.

1.3 Aanpak

Deze quick-scan die is uitgevoerd op basis van beschikbare gegevens, richt zich op de mogelijkheden van schelpdierkweek of zeewierteelt in het Hoogbekken in combinatie met een drijvend zonnepark. Een belangrijke bron van gegevens hierbij is de recente studie die door Deltares is uitgevoerd naar de haalbare bedekking van de beide bekkens met zonnepanelen (Loos en Van der Linden, 2020). In die studie wordt op basis van modelberekeningen de waterkwaliteit in het Hoog- en Laagbekken voorspeld voor een aantal varianten van het zonnepark (bedekkingsgraad en lichtdoorlatendheid) in de situatie van het gerenoveerde sluiscomplex. Voorliggende studie richt zich op het Hoogbekken waarbij is uitgegaan van de variant met een bedekkingsgraad van ca. 50% (21.2 ha) en een lichtdoorlatendheid van de zonnepanelen van 15%. Deze variant is de meest ongunstige voor medegebruik door schelpdierkweek en zeewierteelt omdat deze zal leiden tot de minst beschikbare hoeveelheid ruimte.

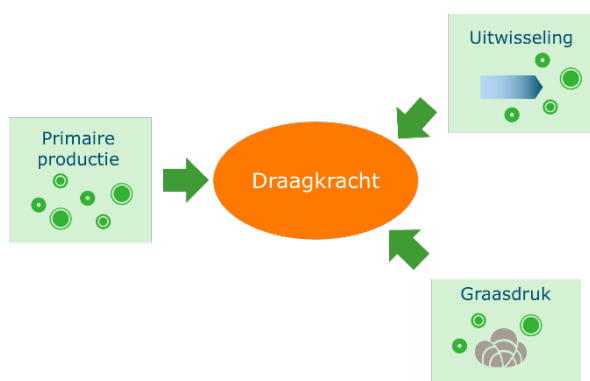
2 Mogelijkheden schelpdierkweek

De kweek van schelpdieren is in grote mate afhankelijk van de beschikbaarheid van voedsel (fytoplankton) dat de schelpdieren met behulp van hun kieuwen uit het water kunnen filteren. In het algemeen geldt: hoe meer voedsel er beschikbaar is, hoe meer schelpdieren er gekweekt kunnen worden. Het fytoplankton is ook een belangrijke voedselbron voor andere natuurlijk voorkomende diersoorten zoals schelpdieren, zakpijpen, sponzen, zoöplankton en vissen. Gekweekte schelpdieren concurreren dan ook om het beschikbare voedsel met de natuurlijke bestanden.

De mogelijkheden voor schelpdierkweek zijn uitgewerkt op basis van draagkracht indicatoren, gebaseerd op voedselbeschikbaarheid, die regelmatig worden gebruikt om een snelle indicatie te krijgen of ecosystemen worden over geëxploiteerd of dat er nog ruimte is voor schelpdierkweek (Smaal, 2017). Naast beschikbaarheid van voedsel is een rendabele kweek van schelpdieren en zeewier ook afhankelijk van de fysieke ruimte (e.g. diepte van het bekken, ruimte tussen en onder de panelen, bereikbaarheid). De huidige quick-scan richt zich uitsluitend op de ecosysteemprocessen. De praktische haalbaarheid van het kweken van schelpdieren tussen of onder de zonnecollectoren vormt géén onderdeel van dit onderzoek.

2.1 Draagkracht schelpdierkweek

Draagkracht voor schelpdierkweek kan worden gedefinieerd als de hoeveelheid schelpdieren die in een ecosysteem kunnen worden gekweekt waarbij er geen negatieve effecten zijn op het functioneren van het ecosysteem (e.g. primaire productie, algen biomassa)(Jansen et al., 2019; Smaal en Van Duren, 2019). De draagkracht voor schelpdierkweek (en ook die van zeewierteelt) is afhankelijk van een aantal ecosysteemprocessen zoals primaire productie (instraling, doorzicht), wateruitwisseling (aanvoer van voedsel en nutriënten) en graasdruk door filterfeeders zoals schelpdieren (Figuur 2).



Figuur 2: Factoren van invloed op de draagkracht voor schelpdierkweek.

Op basis van de genoemde processen zijn er diverse indices beschikbaar om de draagkracht te berekenen voor de genoemde ecosysteem processen. Twee veelgebruikte indices zijn de clearance ratio (CR) en de grazing ratio (GR) (Smaal en Van Duren, 2019).

$$CR = \frac{CT}{RT}$$

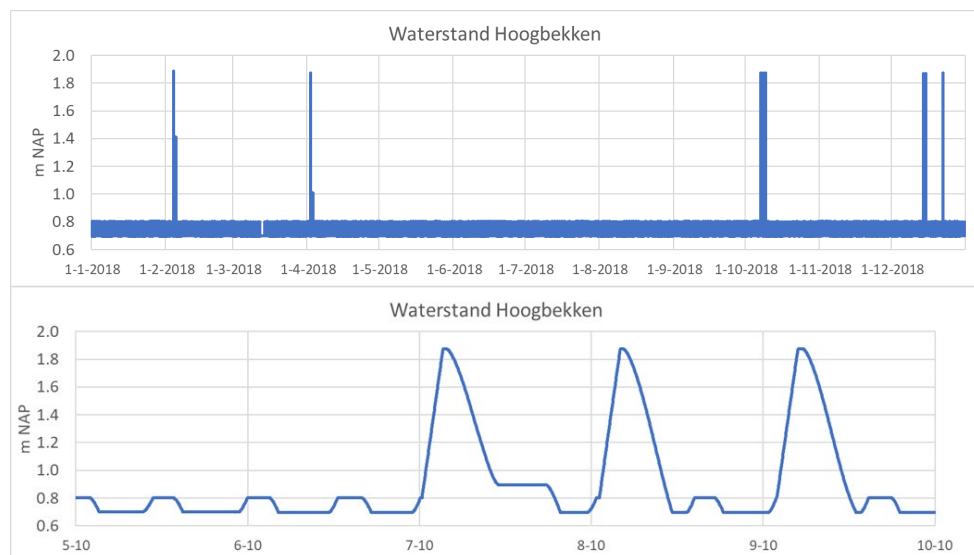
$$GR = \frac{CT}{\overline{PT}}$$

Waarbij CT (clearance time) het aantal dagen is dat de schelpdieren erover doen om het voedsel uit het totale watervolume van het ecosysteem (in dit geval het Hoogbekken) te filteren. RT (residence time) is de gemiddelde verblijftijd van het water in het ecosysteem in dagen. PT (production time) is de turnover tijd of productietijd (dagen) van het fytoplankton door middel van primaire productie.

De clearance ratio (CR) is een maat voor het belang van voedselaanvoer van buiten het systeem en grazing ratio (GR) geeft het belang aan van de lokale productie van fytoplankton voor de aanwezige grazers (schelpdieren).

2.2 Gemiddelde verblijftijd

De gemiddelde verblijftijd (residence time, RT) van het water in het Hoogbekken is berekend uit de dimensies van het bekken en de uitwisseling met het Oosterscheldewater. Het Hoogbekken heeft een oppervlakte van ca. 41 ha (Dillingh et al., 2012) en is ongeveer 5.5 meter diep (bij een streefpeil van +0.75 m NAP), waarmee het totale watervolume ongeveer 2.3 miljoen m^3 is. Als gevolg van de dagelijkse instroom van zoutwater vanuit de Oosterschelde via het kokercomplex van en naar het Hoogbekken zal er na renovatie een getijdenslag van ongeveer 10 cm in het Hoogbekken aanwezig zijn (Figuur 3). Daarnaast zal er tijdens hoogwater incidenteel water over de kruin van de dijk stromen waardoor de waterstand in het bekken stijgt (tot ± 15 keer per jaar) naar NAP +1.85 m. Het water wordt vervolgens weer afgevoerd via het riool (één koker) (Loos en Van der Linden, 2020).



Figuur 3: (Voorspelde) waterstand in de situatie na renovatie voor het Hoogbekken. Boven: jaarreeks; Onder: detail begin oktober. (Loos en Van der Linden, 2020).

De gemiddelde verblijftijd van het water in het Hoogbekken is afgeleid uit de modelberekeningen van Deltares (Tabel 1 in Loos en Van der Linden, 2020). In Figuur 4 zijn deze data uitgezet als fractie van het water dat op dag 0 aanwezig is in het Hoogbekken. Door de uitwisseling met het water van de Oosterschelde wordt het Hoogbekken water geleidelijk "verdund" met Oosterscheldewater. De verdunningscurve kan worden beschreven door middel van een exponentiele relatie:

$$f_{HB} = e^{-\lambda \cdot t}$$

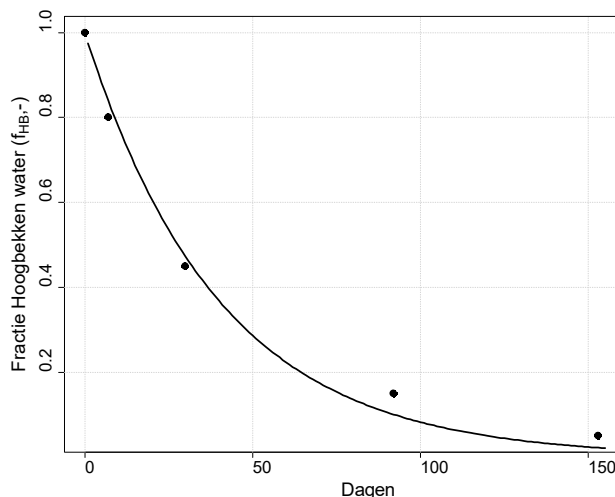
Hierbij is f_{HB} de fractie initieel Hoogbekkenwater (water dat initieel, op $t = 0$, in het Hoogbekken aanwezig was), t is de tijd in dagen en λ is de evenredigheidsfactor (d^{-1}). De waarde van λ is geschat door de hierboven genoemde exponentiele functie te fitten door de data uit Loos en Van der Linden (2020) met behulp van de kleinste kwadraten methode (Figuur 4). Dit leidt tot een waarde

van $\lambda = 0.025 \text{ d}^{-1}$. Dit houdt in dat iedere dag 2.5% (57 500 m³) van het totale watervolume in het Hoogbekken wordt vervangen door Oosterscheldewater.

De gemiddelde verblijftijd (τ) tenslotte is berekend uit de reciproke van λ :

$$\tau = 1/\lambda$$

Hieruit volgt dat de gemiddelde verblijftijd ($RT = \tau$) van het water in het Hoogbekken 40 dagen is.



Figuur 4: Verdunningscurve van het water in het Hoogbekken vanaf dag 0 met water uit de Oosterschelde. Punten zijn gebaseerd op de modelberekeningen van Deltares (Loos en Van der Linden, 2020) en de lijn geeft het gefitte model.

2.3 Productietijd

De productietijd (production time, PT) kan worden berekend door de gemiddelde algenconcentratie in het Hoogbekken te delen door de jaargemiddelde primaire productie. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van de resultaten van de studie van Deltares (Loos en Van der Linden, 2020), waarbij 50% van het oppervlak is bedekt met zonnepanelen met een lichtdoorlatendheid van 15%.

De voorspelde jaargemiddelde chlorofyl- a concentratie in het Hoogbekken is $16.64 \mu\text{g l}^{-1}$ of wel 1.68 g-C m^{-3} (Loos en Van der Linden, 2020). De voorspelde primaire productie is ongeveer $3.02 \text{ g-C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Loos en Van der Linden, 2020), wat overeenkomt met een jaarproductie van $1\,102 \text{ g-C m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$. Deze hoge productie wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de relatief hoge nutriëntconcentraties die worden aangevoerd vanuit het Krammer-Volkerak. In de Oosterschelde lag de primaire productie in de periode 2005 – 2010 tussen de 100 en $200 \text{ g-C m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$, met de hoogste waarden in de Noordelijke tak (Malkin et al., 2011). Recente metingen voor de primaire productie in de Oosterschelde zijn niet beschikbaar. Op basis van de modelberekeningen van Deltares in het Hoogbekken kan de productietijd (PT) worden vastgesteld op 3.1 dagen ($1.68 \text{ g-C m}^{-3} / 3.02 \text{ g-C m}^{-2} \text{ d}^{-1} * 5.5 \text{ m}$).

2.4 Graasdruk

De huidige graasdruk door filtrerende schelpdieren in het Hoogbekken is niet bekend. In Loos en Van der Linden (2020) wordt aangegeven dat er in het Hoogbekken onder andere muiltjes (*Crepidula fornicata*) en Japanse oesters (*Crassostrea gigas*) zijn aangetroffen. Er wordt aangenomen dat de graasdruk overeen komt met die in de Oosterschelde. De totale graasdruk (FR) in de Oosterschelde is ongeveer 187 miljoen $\text{m}^3 \text{ d}^{-1}$ (2011 - 2015)(Jansen et al., 2019). Bij een

totaal wateroppervlakte van de Oosterschelde van 304 km², komt dit overeen met 0.61 m³ m⁻² d⁻¹. Dit leidt tot een totale graasdruk (*FR*) in het Hoogbekken (41 ha, volume 2 255 000 m³) van ongeveer 0.25 miljoen m³ d⁻¹ en een filtratietijd (clearance time: $CT = Volume / FR$) van 9.02 dagen. Recentelijk is er door Wageningen Marine Research een inventarisatie uitgevoerd naar het onderwaterleven in zowel het Hoogbekken als het Laagbekken (Neitzel et al., in prep). De bemonsteringsmethodiek was echter niet geschikt voor een kwantitatieve inschatting van de schelpdieren in het bekken. Transecten met onderwatercamera's lieten echter zien dat er veel Japanse oesters in het Hoogbekken aanwezig zijn. In het Laagbekken waren er aanzienlijk minder Japanse oesters aanwezig. Ook waren er in het Hoogbekken opvallend veel kreeften aangetroffen.

2.5 Indicatoren draagkracht

In Tabel 1 zijn de verschillende voorspelde draagkrachtparameters in het Hoogbekken weergegeven en vergeleken met de Oosterschelde. Wegens het ontbreken van gegevens is aangenomen dat de graasdruk per m² in het Hoogbekken hetzelfde is als in de Oosterschelde. De filtratietijd is aanzienlijk lager in het Hoogbekken (9.02 dagen tegenover 17 dagen in de Oosterschelde). De reden hiervoor is de geringere gemiddelde diepte van het Hoogbekken (5.5 meter) ten opzichte van de Oosterschelde (9 meter) waardoor de schelpdieren minder tijd nodig hebben om het volledige volume te filteren. De gemiddelde verblijftijd van het water in het Hoogbekken is bijna de helft van de gemiddelde verblijftijd van het water in de Oosterschelde. Ondanks de zeer hoge berekende primaire productie in het Hoogbekken is de productietijd in het Hoogbekken bijna het dubbele van de productietijd in de Oosterschelde. Dit komt door de relatief hoge chlorofyl-*a* concentratie in het Hoogbekken dat door Deltares is berekend (16.64 µg l⁻¹). De clearance ratio in het Hoogbekken komt overeen met de clearance ratio in de Oosterschelde en zijn beiden laag. Dit is een indicatie dat de grazers voornamelijk afhankelijk zijn van lokale productie. In de Oosterschelde is er wel een afnemende gradiënt in de clearance ratio van west naar oost. De grazing ratio in het Hoogbekken is een stuk lager dan in de Oosterschelde en is in de buurt van de grenswaarde van 3 zoals voor het ASC label voor gekweekte bestanden wordt gehanteerd (TPC, Threshold for Potential Concern), wanneer blijkt dat de CR lager is van 1 (Jansen et al., 2019). Bij waarden lager dan 3 is er sprake van overexploitatie.

Tabel 1: Overzicht van de draagkracht parameters voor schelpdierkweek in het Hoogbekken en in de Oosterschelde (gebaseerd op Jansen et al., 2019).

	Eenheid	Hoogbekken	Oosterschelde
Filtratietijd (<i>CT</i>)	d	9.02	17
Gem verblijftijd (<i>RT</i>)	d	40	75
Productietijd (<i>PT</i>)	d	3.1	1.7
Clearance ratio (<i>CR</i>)	-	0.23	0.2
Grazing ratio (<i>GR</i>)	-	2.9	10

3 Mogelijkheden zeewierteelt

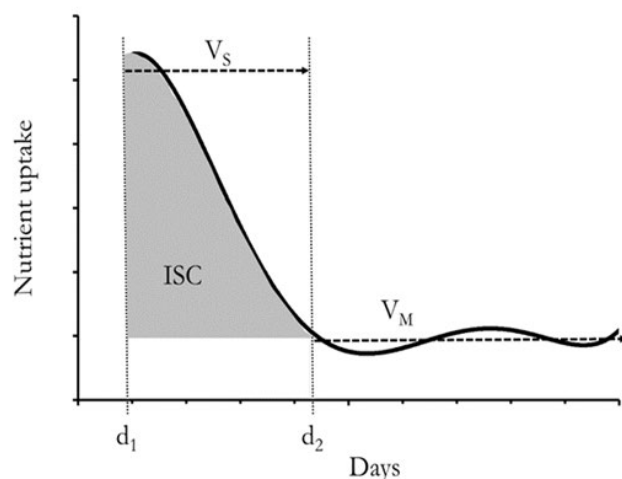
Een andere mogelijkheid voor mede gebruik in het Hoogbekken is de teelt van zeewier. Zeewier is een opkomend, duurzaam product dat wordt gezien als één van de mogelijkheden voor de ontwikkeling van een circulair voedselsysteem in Europa. Dit omdat zeewier geen gebruik maakt van kostbaar zoet water en er tevens geen extra voedingstoffen aan het water toegevoegd hoeft te worden. Echter staat de ontwikkeling van zeewier als maricultuur in Europa nog wel in de kinderschoenen en moet er nog veel kennis worden vergaard. In deze quick-scan zal gebruik worden gemaakt van de best beschikbare informatie van een bruinwiersoort, *Saccharina latissima*, ook wel suikerwier genoemd. Deze soort is gekozen omdat het een inheemse soort is die goed groeit in Nederlandse wateren, commerciële waarde heeft en reeds in verschillende pilotstudie wordt gebruikt.

3.1 Randvoorwaarden

Zeewieren zijn net als landplanten foto-autotroof wat betekent dat ze door middel van fotosynthese groeien, waarbij ze hun energie uit zonlicht halen. Het is daarom niet wenselijk om zeewier direct onder de drijvende Photo-Voltaïsche (PV) systemen te plaatsen. Hierdoor neemt de beschikbare ruimte voor de zeewier cultivatie met 50% af. Daarnaast wordt zeewier gecultiveerd op lijnen of netten die tot 3 meter diep in het water moeten steken, bovendien geeft het rapport van Loos en Van der Linden (2020) aan dat er 50 meter vrijgehouden moet worden in de oeverzone. Hiermee wordt de beschikbare ruimte voor zeewier verder beperkt. In deze quick-scan gaan we daarom uit van 1 hectare zeewierkweek in het Hoogbekken.

Verder is de groei van zeewier afhankelijk van de beschikbaarheid van nutriënten waarvan stikstof (in de vorm van NO_2 , NO_3 en NH_4) en fosfaat (PO_4) de belangrijkste zijn. Zoals eerder is beschreven komt er waarschijnlijk een hoge concentratie nutriënten vanuit het Krammer-Volkerak het Hoogbekken binnen wat er voor zorgt dat er een relatief hoge primaire productie is vergeleken met de Oosterschelde (Loos en Van der Linden, 2020).

Suikerwier is een zeewiersoort die vooral in de winter groeit. Het groeiseizoen loopt van de ter waterlating ("zaaien") in oktober/november tot het oogsten in mei/juni. Daarnaast hebben een aantal macroalgen, waaronder suikerwier, een voordeel op fytoplankton doordat ze een interne opslag capaciteit voor nutriënten hebben. Deze voorraad kan gebruikt worden tijdens de periode van sterke groei in het voorjaar wanneer er geconcurrereerd wordt om de beschikbare nutriënten met de natuurlijk voorkomende algen in het systeem. Hierdoor kan suikerwier een groeisput maken in het voorjaar ondanks de vaak lage nutriëntengehaltes in het water in die periode. Deze interne opslagcapaciteit wordt ook wel de ISC ('Internal Storage Capacity'), genoemd. Opname gebeurt cyclisch in 3 fases (Lubsch en Timmermans, 2019); de 'Surge'-opname (V_s) welke geschiedt na een tijd van nutriëntlimitatie om de ISC aan te vullen en is daarbij losgekoppeld van groei (Figuur 5). In korte tijd worden er veel nutriënten opgenomen, waarna de opnamesnelheid afneemt naarmate de ISC gevuld raakt zoals te zien in Figuur 5. Wanneer het punt bereikt is dat de ISC volledig gevuld is, is er sprake van 'Maintenance'-opname (V_m) hierbij is de opname lager en primair bedoeld voor het onderhoud en ontwikkeling van het wier. De opname kan tevens beïnvloed worden door externe factoren, zoals nutriënt- of lichtlimitatie waardoor een andere opnamefase zich aandoeft, de 'Externally controlled'-opname (V_e), deze is niet weergegeven in Figuur 5. De totale opname (V) kan daarbij generiek weergegeven worden in de grafiek van Figuur 5 (Lubsch en Timmermans, 2018; Nauta et al., in prep).



Figuur 5: De gefaseerde opname van nutriënten door zeewieren, generiek weergegeven (V_s = 'surge'-opname; V_m = 'maintenance'-opname; ISC = Internal Storage Capacity (Lubsch en Timmermans, 2018)).

Er moet rekening gehouden worden dat de opnamesnelheden en de interne opslagcapaciteit per zeewiersoort kan verschillen. De berekening voor de draagkracht van zeewier in het Hoogbekken zijn, zoals eerder beschreven, berekend voor suikerwier (*S. latissima*).

3.2 Draagkracht Hoogbekken

De hoeveelheid zeewier die in het Hoogbekken gecultiveerd kan worden is dus naast fysieke ruimte vooral afhankelijk van seizoensdynamiek en concurrentie met fytoplankton om de beschikbare nutriënten. Het onderzoek van Loos en Van der Linden (2020) laat zien dat er relatief hoge concentraties aan nutriënten aanwezig zullen zijn in het Hoogbekken en dat de fytoplanktonsamenvatting zal veranderen door de aanleg van een zonnepark. De toevoeging van zeewierkweek kan deze samenstelling opnieuw veranderen. Echter zal de meeste nutriëntopname door suikerwier plaatsvinden in de winterperiode, en kan de soort voor zijn laatste groeispurt gebruik maken van zijn interne opslagcapaciteit. Wat maakt dat de concurrentie met de andere algen in het Hoogbekken mogelijk minder in het geding is.

Het kweken van zeewier op grote schaal is voor West-Europa een nieuwe ontwikkeling. Het is daarom dat er, in tegenstelling tot de kweek van schelpdieren, tot op heden nog geen geaccepteerde draagkrachtindicatoren zijn ontwikkeld voor deze nieuwe vorm van aquacultuur. Voor het ontwikkelen van draagkrachtindicatoren voor zeewierteelt wordt onder andere gekeken naar de draagkrachtindicatoren voor schelpdierkweek. Ondanks het feit dat deze dieren een hoger trofisch niveau innemen in het ecosysteem, kan wel lering getrokken worden uit de ontwikkelde indicatoren uit deze sector. Daarom is er in deze quick-scan een poging gedaan om vergelijkbare formuleringen te gebruiken voor de zeewierteelt als hierboven is gedaan voor schelpdierkweek.

A. De verblijftijd (verversing) van de watermassa, beïnvloed door uitwisseling.

Dit is van invloed omdat zeewier en fytoplankton de nutriënten uit het water moeten opnemen. Door uitwisseling met de Oosterschelde worden de nutriënten opnieuw aangevuld. Hoe meer nutriënten er worden aangevoerd, hoe hoger de productie.

B. Regeneratietijd van nutriënten in een gebied

De productiecapaciteit van het gebied voor zeewier is afhankelijk van externe instroom van nutriënten en de interne regeneratietijd. De regeneratie van de nutriënten is afhankelijk van de filtratiesnelheid (Clearance time) van de schelpdieren die de nutriënten indirect via het fytoplankton tot zich nemen. Wanneer er wordt uitgegaan van een evenwichtssituatie in het

stelsel, is de filtratiesnelheid van de schelpdieren dus een maat waarmee de regeneratie tijd van het gebied kan worden benaderd.

C. De opnamecapaciteit van het (gekweekte) zeewier.

Dit is van belang om te bepalen hoeveel en hoe snel zeewier de nutriënten opneemt.

Tezamen met de hoeveelheid nutriënten die beschikbaar is en hoeveel er opgenomen wordt door het fytoplankton geeft dit een som waarmee gekeken kan worden in hoeverre het zeewier concurreert met de primaire producenten in het natuurlijk systeem (Nauta et al., in prep).

Op basis van de bovengenoemde processen zijn indices ontwikkeld om de draagkracht voor zeewierteelt te berekenen. De indices die voor schelpdieren zijn ontwikkeld (Smaal, 2017; Smaal en Van Duren, 2019) zijn na enige aanpassing ook te gebruiken voor zeewier. In analogie met de draagkrachtindicatoren voor schelpdieren zijn draagkrachtindicatoren voor zeewierweek opgesteld. De clearance ratio voor zeewier ($CR_{zw,i}$) is de ratio van de opname capaciteit van nutriënt i (N of P) door het zeewier ($CT_{zw,i}$) en de gemiddelde verblijftijd van het water in het Hoogbekken (RT).

$$CR_{zw,i} = \frac{CT_{zw,i}}{RT}$$

De "grazing" ratio die bij schelpdieren gebruikt wordt is voor zeewier vertaald naar het assimilatie ratio ($AR_{zw,i}$) dit is de verhouding tussen de opname capaciteit van het zeewier ($CT_{zw,i}$) en de regeneratietijd ($R_{zw,i}$) van nutriënt i in het bekken:

$$AR_{zw,i} = \frac{CT_{zw,i}}{R_{zw,i}}$$

De $R_{zw,i}$ is de tijd waarin de in het bekken aanwezige nutriënten kunnen worden vervangen door lokale regeneratie. Als er wordt aangenomen dat de regeneratie van nutriënten volledig wordt veroorzaakt door respiratie van de filterfeeders (of de organismen die de filterfeeders eten), is de regeneratietijd van de nutriënten gelijk aan de filtratietijd door de schelpdieren (CT), en is dus hetzelfde voor stikstof als voor fosfaat.

$$R_{zw,i} = CT$$

De voorgestelde berekening voor de draagkracht van zeewier is dus analoog aan die van de schelpdieren. Echter met een verschil, de opname tijd ($CT_{zw,i}$) is het aantal dagen dat zeewier er over doet om alle beschikbare nutriënten in water van het Hoogbekken op te nemen en is dus verschillend voor stikstof en fosfaat.

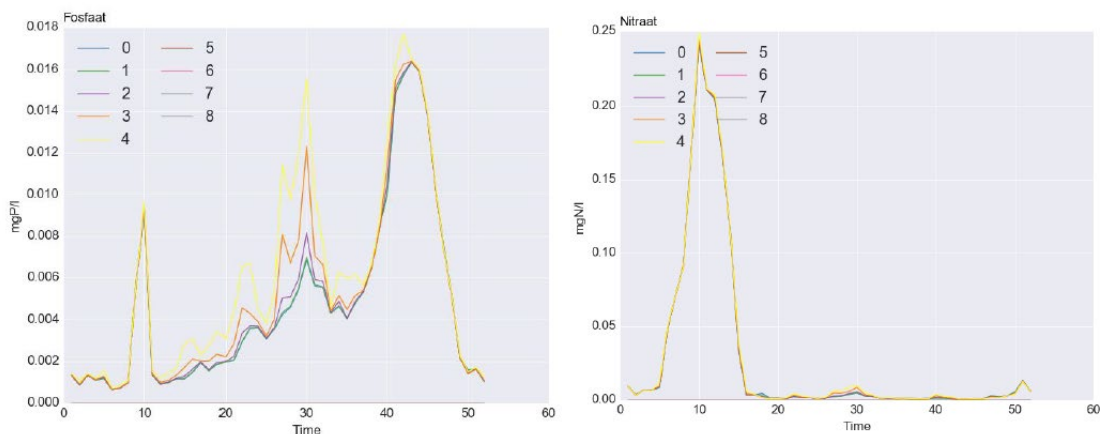
$$CT_{zw,i} = \frac{C_i}{P_i}$$

Hierbij is $CT_{zw,i}$ de clearance time van nutriënt i door zeewier, C_i is de gemiddelde concentratie van nutriënt i in het Hoogbekken en P_i is de productie van zeewier, uitgedrukt in eenheden van nutriënt i .

3.3 Nutriënten Hoogbekken

In Figuur 6 zijn de verwachte fosfaat (links) en nitraat (rechts) concentraties weergegeven die door het model van Deltares zijn gesimuleerd voor het Hoogbekken. De range voor de nutriënten concentraties zijn voor nitraat 0.01 mg l⁻¹ tot 0.25 mg l⁻¹ en voor fosfaat 0.001 mg l⁻¹ tot 0.017 mg l⁻¹. De opname snelheid voor het zeewier is gemeten in molaire eenheden, dus dit wordt eerst omgerekend door te delen met de atoom massa van het element (14.007 voor stikstof en 30.974 voor fosfor) en vervolgens te vermenigvuldigen met 1 000. Voor de opname tijd is de gemiddelde nutriënten concentratie van het groeiseizoen genomen. Het groeiseizoen van suikerwier is van week 44 tot week 22. Afgeleid van figuur 6 is dat 0.12 mg l⁻¹ voor nitraat en 0.009 mg l⁻¹ voor fosfaat hierdoor krijg je een concentratie van: 8.6 μmol-N l⁻¹ voor nitraat en 0.3 μmol-P l⁻¹ voor

fosfaat. Het volume van het Hoogbekken is ongeveer 2.3 miljoen m³. Hieruit volgt een seizoen gemiddelde van ongeveer 700 mol fosfaat en 20000 mol nitraat in het Hoogbekken.



Figuur 6: Gesimuleerde nutriënten concentraties voor fosfaat (links) en voor Nitraat (Rechts) voor het Hoogbekken door het jaar heen (x-as tijd in weeknummers) lijnen staan voor simulaties op verschillende dieptes in het Hoogbekken (uit Loos en Van der Linden, 2020).

3.4 Productie capaciteit

Er zijn een aantal aannames gedaan met betrekking tot de productie van zeewier in het Hoogbekken:

1. Voor het drooggewicht (DW) per bladoppervlak is een constante waarde aangenomen van 63.7 g·m⁻² (Jansen, unpubl. data).
2. Productie van zeewier in een commerciële zeewierweek is 10 ton·ha⁻¹ drooggewicht (dit komt overeen met 1 000 g·m⁻² DW)(Van Duren et al., 2019).

De opnamesnelheid van nutriënten door suikerwier per eenheid bladoppervlak zijn gebaseerd op de studie van Lubsch en Timmermans (2019). De opname van stikstof is bepaald op 3.9 μmol-N cm⁻² dag⁻¹, wat overeenkomt met 39 mmol-N m⁻² d⁻¹ en de opname van fosfaat is bepaald op 0.3 μmol-P cm⁻² dag⁻¹ wat overeenkomt met 3 mmol-P m⁻² d⁻¹. Het totale bladoppervlak van *S. latissima* per m² productie gebied is 1 000/63.7 = 15.7 m². Dit leidt tot een totale dagelijkse opnamesnelheid van 612 mmol-N en 47.1 mmol-P per m² productiegebied. Per ha productiegebied komt dit overeen met respectievelijk 6 120 mol-N ha⁻¹ d⁻¹ en 471 mol-P ha⁻¹ d⁻¹. Met de eerder berekende voorraad van nitraat en fosfaat in het Hoogbekken (respectievelijk 20 000 mol-N en 700 mol-P) duurt het 3.2 dagen (= $CT_{zw,N}$) voordat al het aanwezige nitraat in het Hoogbekken is opgebruikt door een zeewierweek van 1 ha en binnen 1.5 dag (= $CT_{zw,P}$) is het fosfaat opgebruikt (Tabel 2). Import van nutriënten van buiten of interne regeneratie van nutriënten is dus van groot belang.

Omdat de gemiddelde verblijftijd van het water in het Hoogbekken lang is (40 dagen), is de aanvoer van nutriënten vanuit de Oosterschelde beperkt. De hoeveelheid beschikbare nutriënten voor zeewierkreek is dus vooral afhankelijk van de interne regeneratie. Deze grootte is niet gemeten, waardoor we de aanname moeten doen dat de nutriënten volledig worden gerecycleerd in het Hoogbekken als gevolg van remineralisatie door schelpdieren. Hierdoor is de regeneratietijd gelijk is aan de filtratietijd (CT) van de schelpdieren in het gebied, uitgaande van een evenwichtssituatie in het gebied.

Tabel 2: Overzicht van de draagkracht parameters voor zeewierteelt in het Hoogbekken. Voor de clearance time, clearance ratio en het "assimilatie" ratio is onderscheid gemaakt tussen N en P.

	Eenheid	Hoogbekken
Clearance time ($CT_{zw,i}$)	d	3.3 (N) / 1.5 (P)
Gem verblijftijd (RT)	d	40
Filtratietijd schelpdieren (CT)	d	9.02
Clearance ratio ($CR_{zw,i}$)	-	0.08 (N) / 0.04 (P)
"Assimilatie" ratio ($AR_{zw,i}$)	-	0.37 (N) / 0.17 (P)

Uit de bovenstaande berekening komt naar voren dat een kweekinstallatie van één hectare suikerwier (*S. latissima*) ongeveer 6 120 mol-N per dag opneemt. Groeiseizoen is van oktober/november tot en met mei/juni. Wanneer we voor de berekening uitgaan van een te waterlating ('zaaien') op 1 november, en dat we het materiaal er 31 mei uithalen, hebben we een totale kweekperiode van 212 dagen. Door deze te vermenigvuldigen met elkaar ($6\ 120 \times 212$) komen we op een waarde van $\sim 1.3 \cdot 10^6$ mol-N wat een hectare suikerwier per groeiseizoen aan stikstof nodig heeft. Voor fosfaat is dit dan $471 \cdot 212 = 1 \cdot 10^5$ mol-P. Bekend is dat er in het Hoogbekken gedurende het groeiseizoen gemiddeld 20 000 mol-N en 700 mol-P aanwezig is. Daarnaast gaan we uit van een gemiddelde verblijftijd van het water van 40 dagen, wat ertoe leidt dat het water in het Hoogbekken gedurende het 212 dagen durende groeiseizoen ongeveer 5.3 keer wordt verversd. Dat maakt dat er gedurende het groeiseizoen een totale hoeveelheid stikstof beschikbaar zou zijn van $5.3 \cdot 20\ 000 = 106\ 000$ mol-N, en $5.3 \cdot 700 = 3\ 710$ mol-P. Hiermee hebben we dus de twee essentiële waarden om de maximale productie (productie draagkracht) van het Hoogbekken voor zeewierkweek te benaderen. Dit wordt benaderd door de waarden van beschikbare stikstof te delen door de benodigde hoeveelheid stikstof, wat de volgende formule geeft: $106\ 000 / 1.3 \cdot 10^6 = 0.08$ hectare, en voor fosfaat $3\ 710 / 100\ 000 = 0.04$ hectare. Hieruit kan mede geconcludeerd worden dat fosfaat het limiterende nutriënt in het Hoogbekken is.

Echter mist het referentiekader voor zeewieren, betreffende deze berekening. Het is dus onzeker of dit één-op-één te vergelijken valt met de schelpdierindicatoren waar deze berekening op gebaseerd is. Een eenvoudige manier om naar dezelfde getallen te kijken, is door te kijken naar wat er qua nutriënten aanwezig is in het Hoogbekken en wat er nodig is voor 1 ha zeewier kweek. Er is per hectare zeewierkweek 6 120 mol-N en 471 mol-P per dag nodig. In het Hoogbekken is er een concentratie van 20 000 mol-N en 700 mol-P beschikbaar. De kweek van 1 hectare zeewier zou alle beschikbare stikstof dus binnen 3.3 dagen en voor fosfaat binnen 1.5 dag volledig opnemen. Aangezien de verblijf tijd van het water in het Hoogbekken 40 dagen is, wordt dit dus niet op tijd van buitenaf aangevuld. De regeneratie tijd voor nutriënten binnen het Hoogbekken zelf door middel van regeneratie is 9.02 dagen. Uitgaande hiervan zal dus zowel de interne als externe aanvulling van nutriënten niet voldoende zijn om 1 ha zeewier kweek te kunnen cultiveren.

4 Conclusies en discussie

4.1 Mogelijkheden voor schelpdierkweek

Op basis van de uitgevoerde draagkrachtanalyse is er, ondanks de verwachte hoge primaire productie en algenconcentratie in het Hoogbekken, geen ruimte voor aanvullende kweek van schelpdieren. De lage clearance ratio geeft aan dat de filterfeeders in het Hoogbekken voornamelijk afhankelijk zijn van de lokale productie en dat de aanvoer van voedsel vanuit de Oosterschelde beperkt is. Ook de grazing ratio is laag (ca. 3) en komt overeen met de grenswaarde die wordt gebruikt in draagkrachtberekeningen (Smaal, 2017; Smaal en Van Duren, 2019).

Echter, er zit een grote onzekerheid in de schatting van de graasdruk in het Hoogbekken. In de studie van Loos en Van der Linden (2020) is aangenomen dat de graasdruk ($\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$) overeenkomt met de gemiddelde graasdruk in de Oosterschelde. In deze paragraaf wordt er een (hypothetische) berekening gemaakt van de mogelijke productie van schelpdierkweek in het Hoogbekken in het geval de huidige graasdruk in het Hoogbekken de helft is ($0.3 \text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$) van de graasdruk die is ingeschat in de studie van Loos en Van der Linden (2020) ($0.61 \text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$). Dan zou de andere helft in potentie beschikbaar kunnen komen voor schelpdierkweek. Dit komt overeen met een graasdruk van $125\,000 \text{m}^3 \text{d}^{-1}$. Een mossel van 9 gram versgewicht filtert ongeveer 0.7 l water per uur en een Japanse oester van 120 gram versgewicht filtert ongeveer 4.6 liter water per uur (Smaal et al., 1997). Een graasdruk van $125\,000 \text{m}^3 \text{d}^{-1}$ komt dus overeen met de totale graasdruk door een totale populatie van ongeveer 67 000 kg mosselen of 136 000 kg Japanse oesters. Uitgaande van een kweekcyclus van 2 jaar voor de mosselen en 4 jaar voor de oesters komt dit op een productie van respectievelijk 33 500 kg mosselen of 34 000 kg Japanse oesters. Voor de mosselen komt dit overeen met ongeveer 0.06% van de totale mosselproductie in Nederland (Capelle en Wijsman, 2019). Dit echter onder de aanname dat de graasdruk in de studie van Loos en Van der Linden (2020) is overschat met een factor 2, waar vooralsnog geen aanwijzingen voor zijn. Sterker nog, de recente (2020) inventarisatie van het onderwaterleven in het Hoogbekken die is uitgevoerd door Wageningen Marine Research (Neitzel et al., in prep) wijzen erop dat er veel Japanse oesters aanwezig zijn in het Hoogbekken. Het is daarom van belang om eerst een goede kwantitatieve monitoring uit te voeren naar de aanwezigheid van filtrerende schelpdieren in het Hoogbekken. Als uit de monitoring blijkt dat de graasdruk inderdaad lager is, heeft dit mogelijk ook consequenties voor de berekeningen van primaire productie en chlorofyl-*a* concentratie en dus de in deze studie berekende productie tijd.

De huidige quick-scan gaat ervan uit dat de microalgen in het Hoogbekken geschikt zijn als voedselbron voor schelpdieren. De studie van Loos en Van der Linden (2020) laat zien dat de samenstelling van het fytoplankton in het Hoogbekken zal variëren door het seizoen. Sommige fytoplankton soorten zullen minder geschikt zijn als voedsel omdat de algen te groot (*Phaeocystis globosa*) of juist te klein (picoplankton) zijn, of dat de voedingswaarde beperkt is. Dit zal ook een effect hebben op de mogelijkheden voor schelpdierkweek.

4.2 Mogelijkheden voor zeewierteelt

Op basis van de berekende nutriëntbeschikbaarheid in het Hoogbekken is de teelt van 0.04 hectare zeewier per groei seizoen het maximaal mogelijke. Dit zou 400 kg drooggewicht aan zeewier per seizoen opleveren, dit is een dermate kleine hoeveelheid dat dit niet rendabel zou zijn (Van Den Burg et al., 2013). Daarnaast is de clearance ratio erg laag $\ll 1$ wat inhoudt dat de ecologische draagkracht wordt overschreden bij een productie van 1 hectare zeewier. Bijkomstig is de lange verblijftijd van het water in het Hoogbekken: doordat de uitwisseling van water tussen het bekken en de Oosterschelde beperkt is, zal nieuwe nutriëntentoevoer dus ook erg langzaam gaan. Hiermee

wordt dus aangegeven dat er geen ruimte is voor een kweek van zeewier aanvullend op het zonnepark in het Hoogbekken.

De berekening in deze quick-scan is uitgevoerd uitgaande van de gemiddelde nutriëntconcentraties per groeiseizoen. Als deze hoeveelheid aan nutriënten uit het Hoogbekken wordt opgenomen door zeewiercultivatie zijn deze dus niet toegankelijk voor andere organismes (e.g. fytoplankton). Aangezien nutriënten de basis vormen voor alle hogere levensvormen, zal een depletie van deze voedingsstoffen betekenen dat er nauwelijks andere levensvormen in het Hoogbekken aanwezig zullen zijn.

Echter moet er wel vermeld worden dat er een grote onzekerheid zit de interpretatie van de clearance ratio voor zeewier. Grootschalige zeewierteelt wordt op dit moment nog niet gedaan in Nederland en de indicatoren die in deze studie zijn gebruikt zijn nog niet op grote schaal getest. Daarnaast komen de schattingen die gemaakt zijn door de simulaties van Loos en Van der Linden (2020), en zijn er een aantal aannames gedaan die nog niet in de praktijk getest zijn.

Daarnaast moet er worden bedacht dat primaire productie, en in het bijzonder fytoplankton, de concurrent is van zeewier als het gaat om N en P. De model simulaties van Loos en Van der Linden (2020) zijn berekend op de huidige situatie zonder zeewier, de nutriëntconcentratie is zo laag omdat volgens het rapport de algenproductie jaarrond hoog is. In het geval van zeewierkweek zal het zeewier dus met de fytoplankton gaan concurreren om de beschikbare nutriënten waarbij het nog onbekend is welke van deze twee de dominante groep zal zijn of dat er een evenwicht ontstaat. Aannemelijk is wel dat een deel van de nutriënten beschikbaar zouden zijn voor zeewier.

De totale nutriëntconcentratie voor stikstof zal ook hoger liggen dan in dit rapport is aangegeven aangezien de berekening in deze studie is gebaseerd op nitraat (NO_3^-). Andere anorganische fracties van stikstof, worden niet mee genomen en zullen wel beschikbaar zijn voor zeewier. Echter als er gekeken wordt naar de totale hoeveelheid stikstof in het Hoogbekken (zowel organisch als anorganisch) en met deze gegevens de berekening opnieuw wordt uitgevoerd, zal er nog niet meer dan 0.23 ha zeewier kunnen worden geteeld en zal de clearance ratio nog steeds net onder de 1 liggen waarmee je dus nog steeds de ecologische draagkracht overschrijdt.

4.3 Combinatie van schelpdierkweek en zeewierteelt

Deze quick-scan is uitgevoerd onder de aanname dat het medegebruik van het zonnepark zal bestaan uit óf zeewierteelt óf schelpdierkweek. Beiden kweeksystemen kunnen in theorie ook goed naast elkaar worden uitgevoerd. In dat geval zal er rekening moeten worden gehouden met de concurrentie om de beschikbare nutriënten die dan zal plaatsvinden tussen het zeewier en het fytoplankton, wat de voedselbron is voor de schelpdieren. Deze dynamiek is in de huidige quick-scan niet meegenomen. Suikerwier is een zeewiersoort die groeit in de winterperiode, als deze soort gekozen wordt voor cultivatie zal er in de periode van juni tot en met oktober geen zeewier in het Hoogbekken zitten. Om maximale productiviteit te behalen zou er overwogen kunnen worden om een additionele zomer soort te kweken zoals *Ulva sp.* Die een groeiseizoen heeft van grofweg april tot november. Berekeningen hiervoor zijn niet meegenomen in de huidige quick-scan.

5 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.

Het chemisch laboratorium te IJmuiden beschikt over een EN-ISO/IEC 17025:2017 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 1 april 2025 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie. Het chemisch laboratorium heeft hierdoor aangetoond in staat te zijn op technisch bekwaame wijze valide resultaten te leveren en te werken volgens de ISO17025 norm. De scope (L097) met de geaccrediteerde analysemethoden is te vinden op de website van de Raad voor Accreditatie (www.rva.nl).

Op grond van deze accreditatie is het kwaliteitskenmerk Q toegekend aan de resultaten van die componenten die op de scope staan vermeld, mits aan alle kwaliteitseisen is voldaan. Het kwaliteitskenmerk Q staat vermeld in de tabellen met de onderzoeksresultaten. Indien het kwaliteitskenmerk Q niet staat vermeld is de reden hiervan vermeld.

De kwaliteit van de analysemethoden wordt op verschillende manieren gewaarborgd. De juistheid van de analysemethoden wordt regelmatig getoetst door deelname aan ringonderzoeken waaronder die georganiseerd door QUASIMEME. Indien geen ringonderzoek voorhanden is, wordt een tweede lijnscontrole uitgevoerd. Tevens wordt bij iedere meetserie een eerstelijnscontrole uitgevoerd.

Naast de lijnscontroles wordende volgende algemene kwaliteitscontroles uitgevoerd:

- Blanco onderzoek.
- Terugvinding (recovery).
- Interne standaard voor borging opwerkmethode.
- Injectie standard.
- Gevoeligheid.

Bovenstaande controles staan beschreven in Wageningen Marine Research werkvoorschrift *ISW 2.10.2.105*.

Indien gewenst kunnen gegevens met betrekking tot de prestatiekenmerken van de analysemethoden bij het chemisch laboratorium worden opgevraagd.

Indien sprake is van onbeheerste kwaliteit worden passende maatregelen genomen.

Literatuur

- Capelle, J. J. en J. W. M. Wijsman (2019) Perceelgebruik en kweekrendement mosselkweek in de Waddenzee. Helpdeskvraag KD-2019-015 Wageningen Marine Research, Rapport nummer: C035/19, 26 pagina's.
- Dillingh, D., R. E. Uittenbogaard en G. H. Keetels (2012) Verkennend onderzoek haalbaarheid innovatief zout/zoet-scheidingsstelsel Krammersluizen. Deltares, Rapport, 55 pagina's.
- Jansen, H., P. Kamermans, S. Glorius en M. Van Asch (2019) Draagkracht van de Oosterschelde en de 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, Rapport nummer: C096/19, 46 pagina's.
- Kranenburg, W. M., M. R. Schueder, D. J. Vreeken, T. Van Der Kaaij en O. Weiler (2016) Onderzoek Zoetwaterlast Oosterschelde. Modelstudie naar het effect van het Innovatieve Zoet-Zout Scheidingsstelsel in de Krammersluizen op chlorideconcentraties in de Oosterschelde. Deltares, Rapport nummer: 1221409-000-ZKS-0005, 83 pagina's.
- Loos, S. en A. Van der Linden (2020) Haalbare bedekking zonnepanelen vanuit perspectief waterkwaliteit voor bekkens Krammersluizen. Deltares, Rapport, 51 pagina's.
- Lubsch, A. en K. R. Timmermans (2018) Uptake kinetics and storage capacity of dissolved inorganic phosphorus and corresponding N:P dynamics in *Ulva lactuca* (Chlorophyta). *Journal of Phycology* 54: 215-223.
- Lubsch, A. en K. R. Timmermans (2019) Uptake kinetics and storage capacity of dissolved inorganic phosphorus and corresponding dissolved inorganic nitrate uptake in *Saccharina latissima* and *Laminaria digitata* (Phaeophyceae). *Journal of Phycology* 55: 637-650.
- Malkin, S. Y., J. C. Kromkamp en P. M. J. Herman (2011) Primary production in the Oosterschelde: an analysis of historical data, size distribution and effect of grazing pressure. NIOO-CEME, Rapport, 24 pagina's.
- Nauta, R., R. Lansbergen, M. Poelman en H. M. Jansen (in prep) Nutriënt behoefte en draagkracht van de Noordzee t.b.v. zeewierkweek en mogelijke indicatoren om dit te bepalen. Wageningen Marine Research, Rapport.
- Neitzel, S., R. G. Jak en I. Mulder (in prep) Onderwaterleven waterbekkens Krammersluizencomplex. Ecologische Quickscan van de biodiversiteit van bodemdieren en vissen. Wageningen Marine Research, Rapport.
- Smaal, A. C., A. P. M. A. Vonck en M. Bakker (1997) Seasonal variation in physiological energetics of *Mytilus edulis* and *Cerastoderma edule* of different size classes. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 77: 817-838.
- Smaal, A. C. (2017) Draagkracht voor schelpdieren: definities, indices en case studies. Wageningen Marine Research, Rapport nummer: C023/17, 26 pagina's.
- Smaal, A. C. en L. A. Van Duren (2019) Bivalve aquaculture carrying capacity: concepts and assessment tools, Pages 451-483 in A. C. Smaal, J. G. Ferreira, J. Grant, J. K. Petersen, en Ø. Strand, eds. *Goods and services of marine bivalves*, Springer.
- Van Den Burg, S., M. Stuiver, F. A. Veenstra, P. Bikker, A. López-Contreras, A. Palstra, J. Broeze, H. M. Jansen, R. G. Jak, A. Gerritsen, P. Harmsen, J. Kals, A. Blanco-Garcia, W. A. Brandenburg, M. M. Van Krimpen, A. P. Van Duijn, W. J. Mulder en L. Van Raamsdonk (2013) A Triple P review of the feasibility of sustainable offshore seaweed production in the North Sea. LEI, Rapport, 77 pagina's.
- Van Duren, L., M. Poelman, H. M. Jansen en K. R. Timmermans (2019) Een realistische kijk op zeewierproductie in de Noordzee. Gezamenlijk memo vanuit Wageningen Marine Research, Deltares en Koninklijk NIOZ, Rapport, 11 pagina's.

Verantwoording

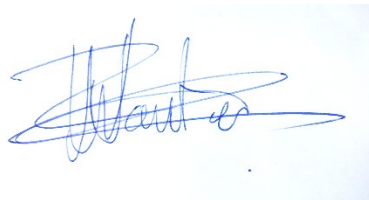
Rapport C030/21

Projectnummer: 4313100148

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: R. W. Nauta
Onderzoeker


Handtekening:



Datum: 24 maart 2021

Akkoord: Dr. Ir. T.P. Bult
Director

Handtekening:



Datum: 24 maart 2021

Wageningen Marine Research
T: +31 (0)317 48 70 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'