



Meten van primaire productie in de Oosterschelde, Grevelingenmeer en het Veerse Meer

Overzicht van methodieken en plan van aanpak voor monitoring

Auteur: Jeroen Wijsman

Wageningen University &
Research rapport

Meten van primaire productie in de Oosterschelde, Grevelingenmeer en het Veerse Meer

Overzicht van methodieken en plan van aanpak voor monitoring

Auteur: Jeroen Wijsman

Wageningen Marine Research
Yerseke, 8 maart 2019

Wageningen Marine Research rapport C022/19

Keywords: Primaire productie, draagkracht, pelagische en benthische productie, Fast Repetition Rate Fluorometrie.

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat WVL
T.a.v.: Silvana Ciarelli (RWS Zee en Delta)
Postbus 2231
2500GE Utrecht

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/472107>
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
vertegenwoordigt door Dr. M.C.Th.
Scholten, Algemeen directeur

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

Wageningen Marine Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor
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 V28 (2018)

Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding	7
1.1 Achtergrond	7
1.2 Probleemstelling	9
1.3 Doel	9
1.4 Leeswijzer	9
1.5 Dankwoord	10
2 Primaire productie	11
2.1 Wat is primaire productie?	11
2.2 Benthische primaire productie	12
2.3 Meten van primaire productie	12
2.4 Van individuele metingen naar systeemproductie	12
2.4.1 Integratie over de diepte	13
2.4.2 Integratie over het jaar	14
2.4.3 Integratie over de ruimte	14
3 Overzicht relevante monitoring	15
3.1 MWTL	15
3.2 NIOZ data	16
3.3 KNMI data	16
3.4 Herleiden primaire productie	16
4 Primaire productiemetingen in de Oosterschelde	18
4.1 Pelagische primaire productie	18
4.2 Benthische primaire productie	20
5 Draagkracht voor schelpdieren	21
5.1 Wat is draagkracht?	21
5.2 Belang van primaire productie voor draagkracht	22
5.3 Indices en indicatoren voor draagkracht	22
5.4 Doorvertaling hogere trofische niveaus	24
6 Methodieken voor meten primaire productie	25
6.1 Incubatie methoden	25
6.1.1 CO ₂ incubatie	25
6.1.2 ¹⁴ C fixatie	25
6.1.3 ¹³ C fixatie	26
6.1.4 O ₂ incubatie	26
6.1.5 ¹⁸ O incubatie	27
6.2 <i>In situ</i> methoden	27
6.2.1 CO ₂ -eddy correlatie	28
6.2.2 O ₂ /Ar ratio bepaling	28
6.2.3 O ₂ -fourier methode	28
6.2.4 Licht absorptie (PSICAM)	29
6.2.5 Variabele fluorescentie (FRRF-PAM)	30
6.3 Resumé	32

7	Plan van aanpak meten primaire productie	33
7.1	FRRF methode	33
7.2	Kalibratie	34
7.3	Reconstructie primaire productie	34
7.4	Databeheer en -analyse	34
7.5	Onderzoeksgebieden	36
7.5.1	Grevelingenmeer	36
7.5.2	Oosterschelde	36
7.5.3	Veerse Meer	37
7.6	Tijdsplanning	37
7.7	Kosten	38
7.8	Resultaat	38
8	Conclusies en aanbevelingen	39
8.1	Conclusies	39
8.2	Aanbevelingen	39
9	Kwaliteitsborging	42
	Literatuur	43
	Verantwoording	45
Bijlage 1	Fast Repetition Rate Fluorometrie (FRRF)	46
Bijlage 2	MWTL metingen op relevante stations in de onderzoeksgebieden	48

Samenvatting

Algen (fytoplankton) kunnen net als planten op het land kooldioxide (CO_2) met behulp van de energie uit zonlicht omzetten in biomassa. Hierbij wordt zuurstof (O_2) geproduceerd. De toename in algenbiomassa wordt ook wel primaire productie genoemd. De algen vormen de basis van de voedselketen. Veranderingen in de primaire productie vertalen zich door naar de hogere trofische niveaus zoals schelpdieren, vis, vogels en zeezoogdieren. De primaire productie is daarom een belangrijke indicator voor het ecologisch functioneren van het systeem.

De algen zijn een belangrijke voedselbron voor schelpdieren die de algen met behulp van hun kieuwen uit het water kunnen filteren. Hoe meer voedsel (algen) er voor de schelpdieren beschikbaar zijn, hoe groter de "draagkracht" van het systeem voor deze schelpdieren. Primaire productie is daarmee een belangrijke, maar niet de enige factor van belang voor de draagkracht. Andere belangrijke processen zijn de aanvoer van de algen door de waterbeweging en de concurrentie met andere organismen die de algen uit het water filteren.

Naast fytoplankton zijn ook benthische diatomeeën in staat om kooldioxide om te zetten in biomassa. Dit proces heet benthische primaire productie. In de Oosterschelde is het aandeel van de benthische primaire productie geschat op 20 tot 25% van de totale primaire productie. Voor de (semi) stagnante bekkens Grevelingenmeer en Veerse meer wordt ingeschat dat het aandeel van de benthische primaire productie minder is. Waarschijnlijk gaat de benthische primaire productie toenemen als getij gedeeltelijk wordt teruggebracht in het Grevelingenmeer middels een doorlaat in de Brouwersdam. Omdat de pelagische primaire productie in de drie bekkens aanzienlijk belangrijker is dan de benthische primaire productie wordt aanbevolen om prioriteit te geven aan het monitoren van pelagische primaire productie. Middels een pilot kan worden onderzocht of het opportuun is om ook benthische primaire productie te gaan meten in een of meerdere bekkens.

In de Oosterschelde, Grevelingenmeer en het Veerse meer vindt commerciële schelpdierkweek plaats. Regelmatig wordt er gevraagd wat de draagkracht is van deze gebieden voor schelpdierkweek. Om deze vragen goed te kunnen beantwoorden is kennis van de primaire productie van belang. In het verleden (1991 tot 2012) is de primaire productie op een aantal locaties in de Oosterschelde gemeten middels de ^{14}C incubatie methode. De gegevens lieten een afnemende trend zien van $319 \text{ g-C m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$ in 1995 tot $155 \text{ g-C m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$ in 2009 die mogelijk was veroorzaakt door overbegrazing door schelpdieren. Wegens het ontbreken van gegevens na 2012 is niet duidelijk of deze trend zich verder heeft doorgezet.

Vanwege het belang van de primaire productie voor het functioneren van het systeem is binnen het Visserij Initiatief Zeeland (VIZ) het initiatief genomen om te onderzoeken of de monitoring van primaire productie in de Oosterschelde, Grevelingenmeer en het Veerse Meer kan worden opgepakt. Hiertoe is een inventarisatie uitgevoerd naar de verschillende methoden die in potentie beschikbaar zijn om de primaire productie te meten in deze gebieden. De Fast Repetition Rate Fluorometrie (FRRF) methode lijkt op dit moment de meest geschikte methode om primaire productie in betreffende gebieden te meten. Deze methode wordt ook reeds gebruikt in de Westerschelde en kan continu en *in situ* worden uitgevoerd tijdens het varen van het meetschip in het kader de MWTL monitoring in de Oosterschelde, Grevelingenmeer en Veerse Meer. De methode maakt gebruik van de fluorescentie van een deel van het geabsorbeerde licht tijdens de fotosynthese. Om de resultaten te valideren is het wel van belang om, in ieder geval de eerste jaren, nog aanvullende primaire productie metingen uit te voeren met een traditionele ^{14}C (of ^{13}C) incubatie methode.

Het voorstel is om de primaire productie metingen zoveel mogelijk te laten samenvallen met de reguliere MWTL metingen die door Rijkswaterstaat regelmatig (tweewekelijks tot maandelijks) worden uitgevoerd op totaal 7 locaties binnen de drie bekkens. Tijdens deze MWTL metingen worden aanvullende gegevens gemeten zoals de algen- en nutriëntenconcentraties, de hoeveelheid zwevend

stof en doorzicht die van nut kunnen zijn voor de berekening van de totale primaire productie op basis van de FRRF metingen. Er wordt voorgesteld om het Grevelingenmeer voor de primaire productie berekeningen op te delen in drie deelgebieden en de Oosterschelde in vier deelgebieden. Het kleinere Veerse Meer kan worden beschouwd als één systeem.

De data-analyse en verwerking is complex en vereist specifieke expertise. Deze expertise is aanwezig bij het NIOZ, maar zit voornamelijk bij één persoon. Daarom is het van belang dat er ondersteuning komt bij de analyse en rapportage van de gegevens. Tevens is het van belang dat er vooraf duidelijke protocollen komen voor de uitvoering van de metingen.

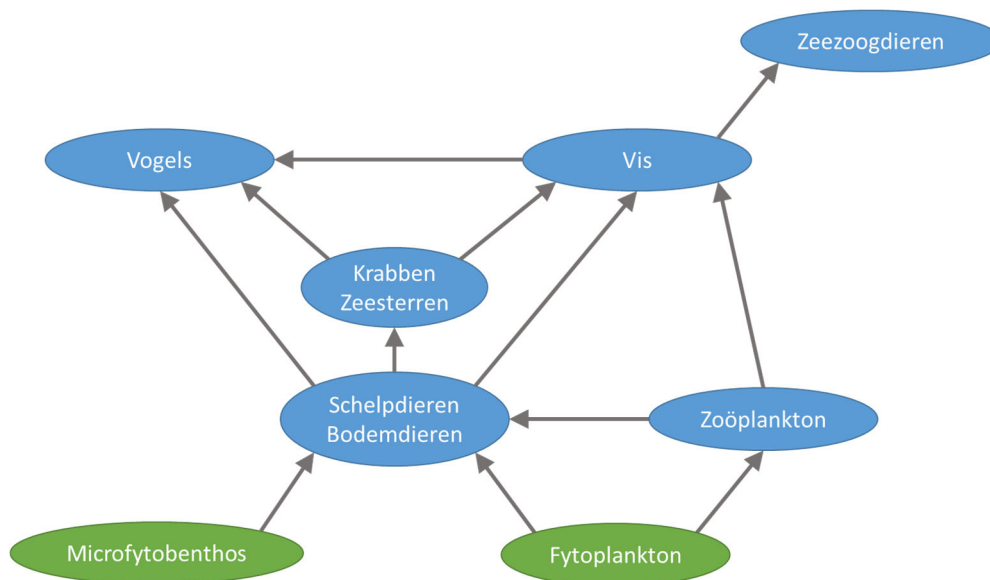
Het resultaat van de voorgestelde monitoring is inzicht in het verloop van de primaire productie binnen de voorgestelde deelgebieden door het seizoen en een schatting van de totale primaire productie over het jaar. Deze gegevens kunnen worden gebruikt om een beter beeld te krijgen van de draagkracht van het systeem voor schelpdieren. Tevens kunnen deze metingen inzicht geven in het (ecologisch) functioneren van de bekkens en kunnen worden gebruikt om modellen mee te kalibreren of te valideren.

Het voorjaar is de belangrijkste periode voor de primaire productie. Een volledig meetjaar is niet meer mogelijk voor 2019. Het is aan te bevelen om in 2019 wel alvast te beginnen met pilot metingen in de Oosterschelde zodat er in 2020 over het hele jaar kan worden gemeten.

1 Inleiding

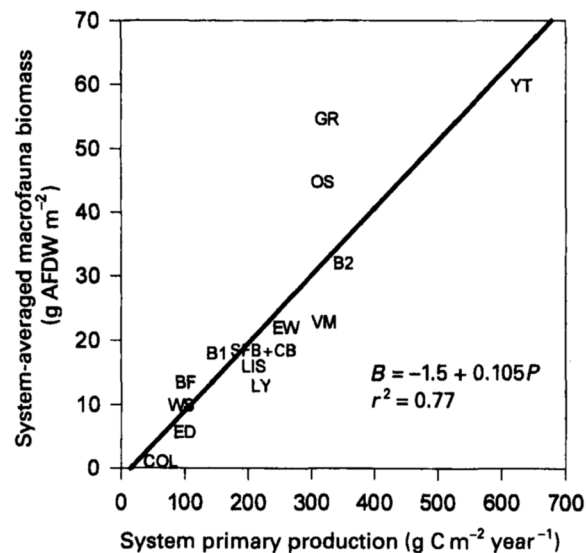
1.1 Achtergrond

Eencellige algen (fytoplankton en microfytobenthos, Figuur 1) vormen de basis van het voedselweb van (marine) ecosystemen zoals de Oosterschelde, Veerse Meer en het Grevelingenmeer. Onder invloed van licht zetten deze algen CO_2 en nutriënten (N, P en Si) om in biomassa. Dit proces heet primaire productie. Het fytoplankton is de belangrijkste voedselbron voor primaire consumenten zoals zoöplankton (in het water zwevende of drijvende dierlijke organismen) en filtrerende bodemdieren als schelpdieren die de algen uit de waterkolom halen met behulp van hun kieuwen. Deze schelpdieren zijn op hun beurt weer een belangrijke voedselbron voor hogere trofische niveaus zoals krabben, zeesterren, vissen en vogels. Primaire productie is daarmee een belangrijk proces in het ecosysteem, hoe groter de primaire productie, hoe meer energie er in potentie kan doorstromen naar de hogere trofische niveaus. Primaire productie is daarom ook een belangrijke maat voor de draagkracht (vermogen om een bepaalde populatie van organismen in stand te houden) van een systeem.



Figuur 1: Schematisch overzicht van de belangrijkste onderdelen van het voedselweb in marine ecosystemen. In groen zijn de belangrijkste primaire producenten: fytoplankton (eencellige algen in het water) en microfytobenthos (eencellige algen op het sediment).

Door Herman et al. (1999) is voor diverse estuariene en mariene systemen een sterke relatie aangetoond tussen de primaire productie en de aanwezige biomassa bodemdieren (Figuur 2). Systemen met een relatief hoge primaire productie zoals de Oosterschelde en het Grevelingenmeer hadden een hogere biomassa aan macrozoöbenthos dan systemen met een lage primaire productie zoals de Westerschelde en de Dollard. Veranderingen in primaire productie in een systeem kunnen dus direct of indirect effect hebben op de hogere trofische niveaus.



Figuur 2: Relatie tussen de gemiddelde biomassa van het macrozoöbenthos en de jaarlijkse primaire productie voor verschillende estuaria (Herman et al., 1999). YT: Ythan, GR: Grevelingenmeer, OS: Oosterschelde, B1, B2: Balgzand, VM: Veerse Meer, EW: Eems estuarium, ED: Dollard, SFB: San Francisco Bay, LY: Lynher, WS: Westerschelde, BF: Bay of Fundy, COL: Columbia River, LIS: Long Island Sound, CB: Chesapeake Bay

In de Oosterschelde, Grevelingenmeer en het Veerse Meer vindt commerciële schelpdierkweek plaats. Tevens zijn deze gebieden beschermde natuurgebieden (onderdeel van Natura-2000), ondermeer vanwege de belangrijke rol voor watervogels die in deze gebieden foerageren op de aanwezige schelpdieren. Vanuit het beleid komen er regelmatig vragen met betrekking tot de draagkracht (letterlijk hoeveel schelpdieren kan het systeem dragen) voor schelpdieren. Dit omdat de gekweekte schelpdieren concurreren om het beschikbare voedsel met de van nature aanwezige schelpdieren, zoals bijvoorbeeld kokkels, die op hun beurt weer een belangrijke voedselbron zijn voor vogels. De totale hoeveelheid voedsel die beschikbaar is voor de schelpdieren is afhankelijk van diverse processen zoals primaire productie, import van algen, kwaliteit van de algen, filtratiesnelheid (graasdruk), waterbeweging, etc.

De fytoplankton (algen) biomassa wordt vaak gemeten in de vorm van de concentratie bladgroen (Chl_a-concentratie, µg-Chl_a l⁻¹) te meten, waarbij de Chl_a:koolstof ratio (Cloern et al., 1995) kan worden gebruikt om de fytoplankton biomassa (concentratie aan aanwezige algen) uit te drukken in g-C l⁻¹. De Chl_a-concentratie is echter het resultaat van transport, primaire productie en graas, voornamelijk door schelpdieren. In systemen met een hoge graasdruk bijvoorbeeld kan de algenbiomassa laag zijn terwijl de primaire productie juist hoog is. Omgekeerd kan het voorkomen dat er systemen zijn met een lage graasdruk door schelpdieren waardoor de fytoplanktonbiomassa hoog is terwijl de primaire productie juist laag is. In draagkrachtonderzoek is het dan ook beter om systemen met elkaar te vergelijken op basis van primaire productie (g-C m⁻² d⁻¹) dan op basis van fytoplanktonbiomassa (µg-Chl_a l⁻¹).

Primaire productie is een goede indicator voor het functioneren van een systeem en in het bijzonder de draagkracht van het systeem voor hogere trofische niveaus. In de Oosterschelde zijn er in het verleden (1991 tot en met 2012) metingen uitgevoerd naar de primaire productie (zie ook hoofdstuk 2). De resultaten lieten zien dat primaire productie over deze periode aanzienlijk is afgenomen. Omdat de primaire productiemetingen in de Oosterschelde na 2012 zijn gestopt en er in het Veerse Meer en het Grevelingenmeer geen reguliere metingen zijn verricht, is het niet eenvoudig om actuele vragen omtrent draagkracht van het systeem voor schelpdieren en de ontwikkeling van de primaire productie te kunnen adresseren.

1.2 Probleemstelling

Rijkswaterstaat Zee & Delta is als beheerder van de Natura-2000 gebieden Oosterschelde, Veerse Meer en Grevelingenmeer o.a. verantwoordelijk voor het behalen van de waterkwaliteits- en ecologische doelen van de verschillende watersystemen. Uit de langjarige monitoring blijkt dat de ecologische kwaliteit van vooral de Oosterschelde en het Grevelingenmeer niet optimaal is en de vraag is of dit (mede) het gevolg is van een draagkrachtprobleem in deze systemen. Omdat primaire productiemetingen, die een belangrijke driver zijn voor draagkracht, in de Oosterschelde sinds 2012 niet meer worden uitgevoerd is de wens uitgesproken door meerdere partijen om de monitoring van primaire productie in de Oosterschelde, Grevelingenmeer en het Veerse Meer op te pakken. De resultaten van deze monitoring kunnen ondermeer worden gebruikt voor de volgende doelen:

- Beter inzicht in de draagkracht van de verschillende bekkens voor schelpdierkweek;
- Beter inzicht in de 'gezondheid' en het ecologisch functioneren van de Oosterschelde, Grevelingenmeer en Veerse Meer;
- Kwantificering van de effecten van ingrepen (e.g. zandsuppleties, Flakkeese spuisluis, doorlaatmiddel Brouwersdam, Innovatieve Zoet-Zout scheiding Krammersluizen);
- Beter kalibratie en validatie van de waterkwaliteitsmodellen.

1.3 Doel

Het doel van dit onderzoek is te komen tot een plan van aanpak voor de monitoring van primaire productie in de Oosterschelde, Grevelingenmeer en het Veerse Meer. Met dit plan kan vervolgens een afgewogen beslissing worden genomen om de monitoring van primaire productie al dan niet op te pakken in één of meer van de genoemde bekkens.

1.4 Leeswijzer

Allereerst wordt er in hoofdstuk 2 uitgelegd wat primaire productie is en hoe individuele metingen van primaire productie kunnen worden geïntegreerd over de diepte, tijd en ruimte. Hiervoor zijn een aantal aanvullende gegevens nodig zoals instraling, doorzicht, algensamenstelling en –biomassa. In hoofdstuk 3 wordt een overzicht gegeven van de beschikbaarheid van deze aanvullende data die gebruikt kunnen worden om de primaire productie te berekenen en eventueel om primaire productie te reconstrueren voor jaren dat er geen metingen beschikbaar zijn. In hoofdstuk 4 is een overzicht gegeven van primaire productie metingen die in het verleden zijn uitgevoerd in de Oosterschelde. Ook is er aangegeven wat het belang is van bentische primaire productie.

Primaire productie is een sturende parameter voor de draagkracht van een systeem voor schelpdieren maar ook de hogere trofische niveaus. Omdat het begrip draagkracht vaak tot spraakverwarring leidt is in hoofdstuk 5 uitgelegd wat draagkracht is en waarom metingen van primaire productie van belang zijn voor om de draagkracht te kunnen bepalen. In dit hoofdstuk wordt ook aangegeven dat primaire productie een belangrijke maar zeker niet de enige factor die de draagkracht van het systeem bepaald. Zo zijn variabelen als graasdruk en verblijftijden ook van groot belang voor het inschatten van de draagkracht van een systeem. Tevens worden er een aantal indicatoren gegeven die kunnen worden gebruikt om een inschatting te maken van de draagkracht.

In hoofdstuk 6) is op basis van de bestaande literatuur een overzicht gemaakt van de methoden die beschikbaar zijn om primaire productie te meten en in te passen in de reguliere monitoringsprogramma's. Hierbij is gebruikt gemaakt van de overzichten die al eerder zijn gemaakt door Jacco Kromkamp van het NIOZ (Kromkamp en Philippart, 2015; Kromkamp et al., 2017). De methoden zijn semi-kwantitatief beoordeeld op diverse criteria zoals nauwkeurigheid, toepasbaarheid en kosten.

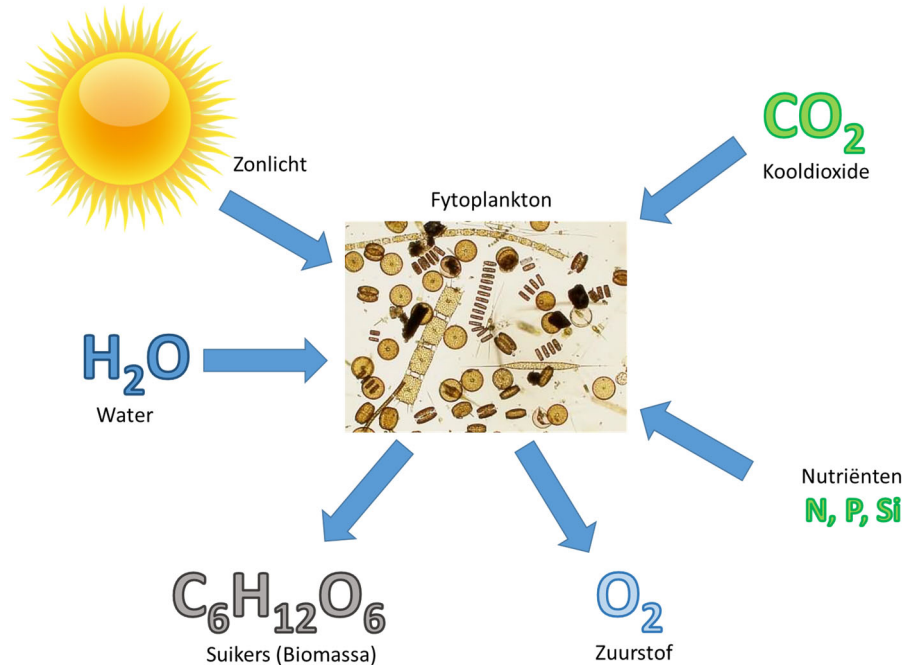
Het plan van aanpak voor het meten van primaire productie in de Oosterschelde, Grevelingenmeer en het Veerse Meer is uitgewerkt in hoofdstuk 7. De belangrijkste conclusies en aanbevelingen die zijn gemaakt op basis van deze studie zijn ten slotte vermeld in hoofdstuk 8.

1.5 Dankwoord

Hierbij wil ik Dr. Jacco Kromkamp van het Koninklijk Nederlands Instituut voor Zee Onderzoek danken voor zijn deskundig advies tijdens de totstandkoming van dit rapport. Silvana Ciarelli (Rijkswaterstaat Zee en Delta) heeft het project begeleidt vanuit Rijkswaterstaat. Jacco Kromkamp (NIOZ), Silvana Ciarelli, Erik van Zanten, Yuri de Nooijer, Arnold Veen (Rijkswaterstaat), Jaap Broodman, Miranda Braspenninx en Ineke Zuiderhoudt (Provincie Zeeland) hebben waardevolle suggesties voor verbeteringen geleverd op eerdere versies van dit rapport.

2 Primaire productie

2.1 Wat is primaire productie?



Figuur 3: Schematisch overzicht van primaire productie. Algen (fytoplankton) zetten met behulp van zonlicht kooldioxide en water om in biomassa (suiker). Hierbij wordt zuurstof geproduceerd. Om aminozuren en vetzuren te produceren zijn ook nutriënten zoals stikstof, fosfaat en kiezelzuur nodig.

Autotrofe organismen zoals bijna alle planten, algen en sommige bacteriën kunnen met behulp van licht kooldioxide (CO₂) omzetten in biomassa (primaire productie, Figuur 3). Dit fysiologische proces heet fotosynthese. Naast biomassa ((CH₂O)_n) wordt er ook zuurstof (O₂) geproduceerd.

Fotosynthese (PP): $6CO_2 + 6H_2O + \text{lichtenergie} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$

Voor de primaire productie zijn naast licht en CO₂ ook nutriënten (als stikstof (N), fosfaat (P) en kiezelzuur (Si)) nodig. Als stikstofbron kan ammonium en nitraat worden gebruikt. Bij groei op ammonium is de fotosynthetische coëfficiënt (PQ, mol O₂ geproduceerd / mol CO₂ gebruikt) gelijk aan ~1.1. Bij de groei op nitraat wordt een deel van de energie gebruikt voor het omzetten van nitraat in ammonium is de PQ ~ 1.3 (Kromkamp en Philippart, 2015).

Het geproduceerde organisch materiaal kan ook weer worden afgebroken. Hierbij komt de energie weer vrij in de vorm van ATP (adenosinetriofosfaat) en wordt zuurstof gebruikt. Dit proces heet respiratie (R) en is de omgekeerde reactie van fotosynthese. Ook autotrofe algen zijn voor hun energievoorziening afhankelijk van (autotrofe) respiratie (R_a). Heterotrofe organismen kunnen geen CO₂ vastleggen en zijn voor hun energiehuishouding volledig afhankelijk van de afbraak van organisch materiaal door middel van respiratie (R_h).

Respiratie (R): $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{energie}$

Om te corrigeren voor autotrofe en heterotrofe respiratie wordt er onderscheid gemaakt tussen Bruto, Netto en Community primaire productie:

- Bruto primaire productie (GPP)
- Netto primaire productie (NPP) = $GPP - R_a$
- Netto community productie (NCP) = $GPP - R_a - R_h$

2.2 Benthische primaire productie

Naast primaire productie in de waterkolom (pelagische primaire productie) door het fytoplankton kan er ook primaire productie plaatsvinden door eencellige bodemalgen of microfytobenthos (benthische primaire productie), voornamelijk bestaande uit benthische diatomeeën in ondiepe gebieden en op de droogvallende slikken en platen. Deze benthische diatomeeën zijn een belangrijke voedselbron voor sedimenteters (deposit feeders zoals wadpieren en surface-depositfeeders zoals wadslakjes). Als de benthische diatomeeën in suspensie komen door golven of stroming kunnen ze ook een voedselbron zijn voor filterfeeders .

Het aandeel van benthische primaire productie in de totale primaire productie is afhankelijk van een aantal factoren (Underwood en Kromkamp, 1999):

- **Instraling:** Net als de pelagische primaire productie is de benthische primaire productie afhankelijk van de hoeveelheid in straling (PAR). In de bodem wordt het licht al snel uitgedoofd, en de eufotische diepte is veelal minder dan 2 mm (Underwood en Kromkamp, 1999). Benthische diatomeeën kunnen verticaal door de bovenste laag van het sediment migreren om optimaal gebruik te kunnen maken van het beschikbare licht en geen schade te ondervinden van teveel licht.
- **Droogvalduur:** Als de plaat droogvalt is er geen effect van vertroebeling door het bovenstaande water en komt het meeste licht bij het microfytobenthos. De primaire productie van het microfytobenthos vertoont veelal een positieve relatie met de droogvalduur (De Jong en De Jonge, 1995).
- **Helderheid:** Als het water helder is kan de benthische primaire productie doorgaan terwijl de plaat onder water staat.
- **Sedimentsamenstelling:** Slibgehalte wordt ook gezien als een belangrijke factor voor de benthische primaire productie. De Jong en De Jonge (1995) hebben een positieve relatie aangetoond tussen het Chl_a-gehalte in de bodem en het de sedimentfractie < 40 µm.

2.3 Meten van primaire productie

Primaire productie is de toename in algenbiomassa per tijdseenheid. Dit kan worden gemeten aan de veranderingen in de algenbiomassa in het water ($(CH_2O)_n$) of aan de veranderingen in de concentraties van CO_2 of O_2 in het water. Omdat de concentraties van deze stoffen relatief hoog zijn in vergelijking tot de relatief kleine veranderingen dient de meting gevoelig genoeg te zijn om de primaire productie te kunnen meten. In hoofdstuk 6 wordt een overzicht gegeven van verschillende methoden die kunnen worden gebruikt om de primaire productie te meten.

Net als voor het meten van pelagische primaire productie zijn er verschillende methoden om benthische primaire productie te meten zoals ^{14}C -incubatiemetingen, metingen met zuurstof micro-elektrodes, benthische incubatiekamers en fluorescentie technieken (e.g. PAM fluorescentie) (Consalvey et al., 2005). Een complicerende factor bij het meten van benthische primaire productie is dat de bodemstructuur bij voorkeur zo min mogelijk dient te worden verstoord.

2.4 Van individuele metingen naar systeemproductie

Bij veel van de methoden voor het meten van primaire productie wordt gemeten op een bepaalde locatie, diepte en moment. De eenheden zijn typisch in de vorm van mg-C mg-Chl_a⁻¹ h⁻¹. Voor de beschrijving van een systeem of voor draagkrachtberekeningen dienen deze metingen te worden

geïntegreerd over de diepte (waterkolom), tijd (jaar) en de ruimte (bekken of deelgebied) om te komen tot een schatting van de primaire productie in eenheden van g-C m⁻² jaar⁻¹.

2.4.1 Integratie over de diepte

In de waterkolom dooft het licht uit door de aanwezige deeltjes (slib, organisch gesuspendeerd materiaal, algen) en opgeloste stoffen. De hoeveelheid licht (E_z) op een bepaalde diepte kan worden beschreven met de wet van Lambert-Beer (Figuur 4).

$$E_z = E_0^{-k_d \cdot z}$$

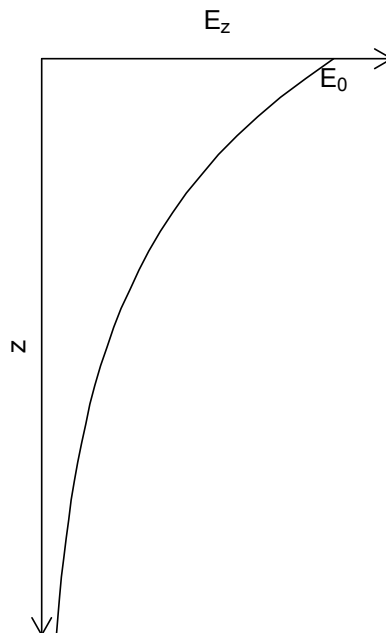
E_z = lichtintensiteit (W m⁻²) op diepte z

E_0 = lichtintensiteit aan wateroppervlak (W m⁻²)

k_d = extinctie coëfficiënt (m⁻¹)

z = diepte (m)

De extinctie coëfficiënt (k_d) is een maat voor de troebelheid van het water. Hoe troebeler het water, hoe hoger de extinctie coëfficiënt en hoe minder diep de lichtindringing.



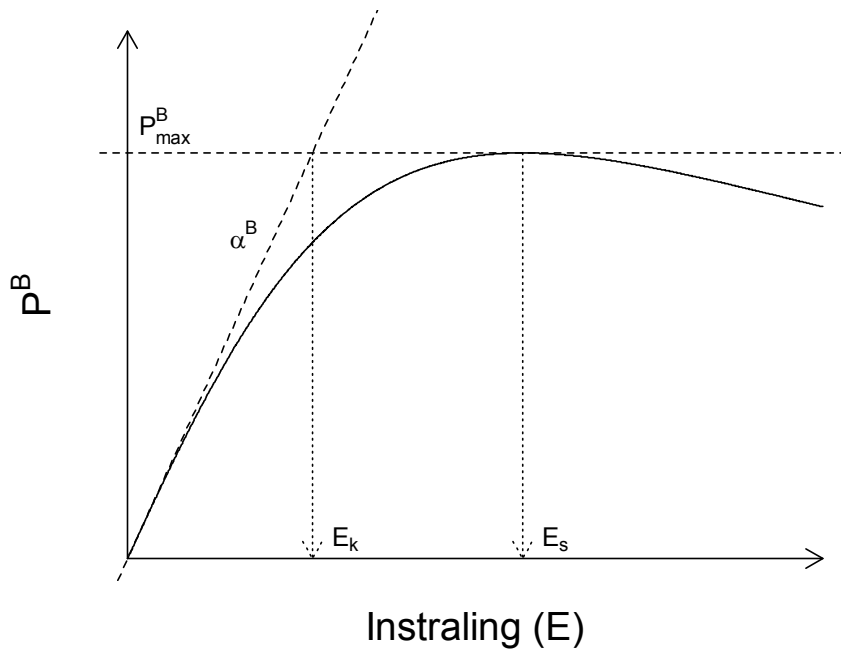
Figuur 4: Uitdoving van licht (E_z) in het water als functie van de waterdiepte (z).

Omdat de lichtindringing in het zeewater afneemt met de waterdiepte zal ook de productie van de algen variëren met de diepte in het water. Om de primaire productie geïntegreerd over de waterkolom te kunnen berekenen wordt de productie vaak gemeten bij verschillende lichtintensiteiten, bijvoorbeeld variërend tussen 0 en 800 $\mu\text{mol fotonen m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. De relatie tussen de productie (P^B , mg-C mg-Chl-a⁻¹ h⁻¹) en de instraling is te beschrijven met een P/E curve (e.g. Eilers en Peeters, 1988)(zie Figuur 5).

$$P^B = \frac{E}{aE^2 + bE + c}$$

Door dit model te fitten aan de gemeten data zijn de regressieparameters a , b en c te schatten. Met deze regressieparameters zijn vervolgens een aantal productieparameters af te leiden zoals de maximale productie: $P^B_{max} = \frac{1}{(b + 2\sqrt{ac})}$ en de fotosynthese efficiëntie ($\alpha^B = \frac{1}{c}$). De

lichtverzadigingsparameter ($E_k = P^B_{max}/\alpha^B$) geeft aan bij welke lichtintensiteit de productie overgaat van een licht-gelimiteerde situatie naar een situatie waar de fotosynthese snelheid wordt gelimiteerd door de enzymatische reacties van de donkerreactie (Calvin cyclus, Kromkamp, in prep).



Figuur 5: Theoretische P/E curve.

Aan de hand van de gemeten instraling binnen het PAR (photosynthetically active radiation) spectrum, de extinctie coëfficiënt (k_d), de P/E curve en de concentratie Chla in het water is de dieptegeïntegreerde primaire productie ($\text{mg-C m}^{-2} \text{d}^{-1}$) te berekenen.

2.4.2 Integratie over het jaar

Chla en k_d variëren door het jaar heen en worden gemeten (of zijn af te leiden van parameters die worden gemeten) binnen het reguliere monitoringprogramma van Rijkswaterstaat (MWTl). De instraling (PAR) varieert ook sterk over de dag en over de seizoenen en kan worden afgeleid uit de totale instraling (gemeten door KNMI) of kan direct worden gemeten met een LI-COR kwantum PAR sensor. Door gebruik te maken van deze metingen is de primaire productie over het hele jaar te berekenen en de integraal levert de jaarproductie ($\text{g-C m}^{-2} \text{jaar}^{-1}$).

2.4.3 Integratie over de ruimte

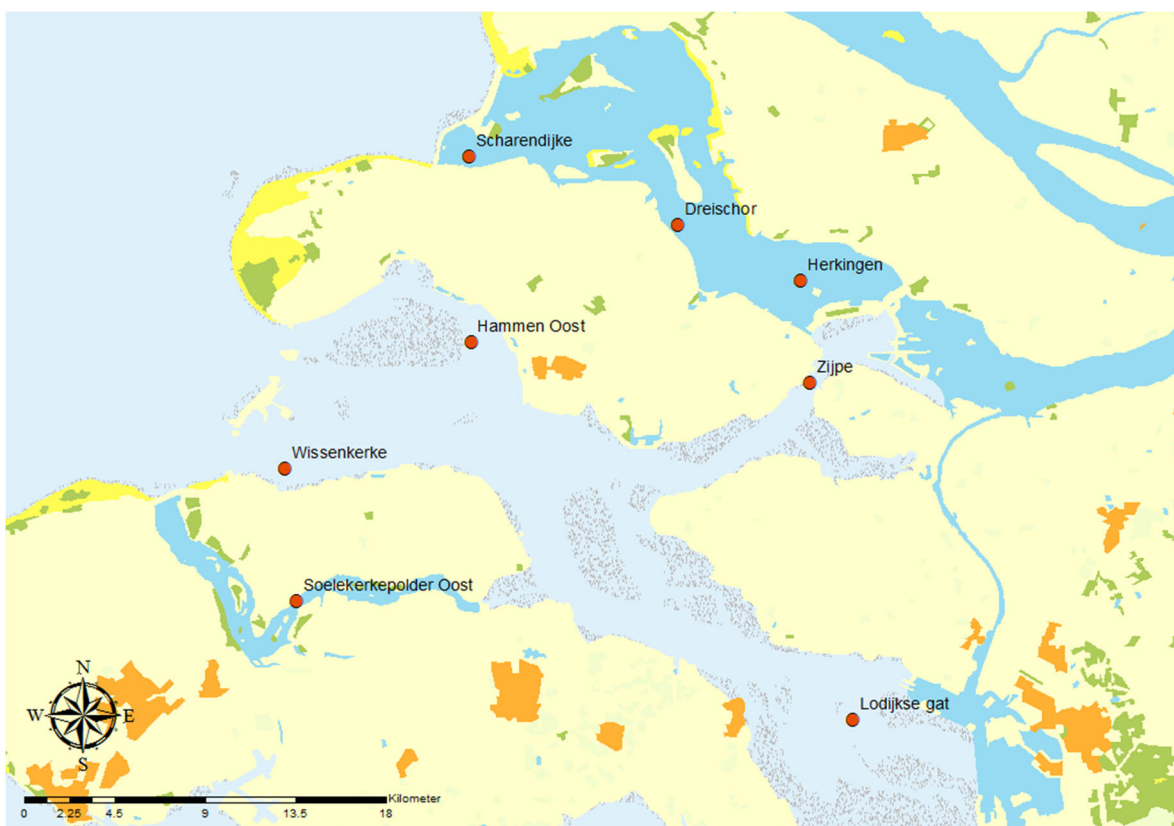
Omdat er naast temporele variatie soms ook een ruimtelijke variatie kan zijn in de parameters en dus de primaire productie, kan het noodzakelijk zijn om op meerdere locaties in een watersysteem de primaire productie te bepalen. Het aantal benodigde locaties hangt af van de ruimtelijke variatie en de gewenste nauwkeurigheid. Door een gemiddelde te nemen van de productiemetingen binnen een (deel)gebied kan een schatting worden gemaakt van de totale primaire productie binnen het betreffende (deel)gebied.

3 Overzicht relevante monitoring

Zoals aangegeven in paragraaf 2.4 is additionele informatie nodig om een primaire productie meting te kunnen integreren over de waterkolom, een seizoen en over een bekken. Ook is deze additionele informatie nodig om de primaire productie te berekenen voor jaren waar geen directe primaire productiemetingen zijn uitgevoerd. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de relevante monitoringsprogramma's die mogelijk gebruikt kunnen worden om de primaire productie in de Oosterschelde, het Grevelingenmeer of het Veerse Meer van af te leiden.

3.1 MWTL

Door Rijkswaterstaat is er in het kader van het programma Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands (MWTL) (e.g. Rijkswaterstaat, 2015), een monitoringprogramma opgesteld waarbinnen diverse fysische, chemische en biologische parameters worden gemeten. Onderdeel van dit programma is een regelmatige bemonstering van het oppervlakte water op een aantal vaste locaties (Figuur 6) waarbij een aantal parameters worden gemeten die van belang kunnen zijn voor primaire productie (Chla-concentratie, zwevend stof, nutriënten, doorzicht). De gegevens zijn op te vragen via de site waterinfo.rws.nl.



Figuur 6: Overzicht van de relevante meetlocaties binnen het MWTL programma van Rijkswaterstaat.

In totaal liggen er 8 monitoringslocaties in het Grevelingenmeer, Oosterschelde en het Veerse Meer (Figuur 6) die regelmatig worden of zijn bemonsterd. De locaties Scharendijke en Herkingen in het Grevelingenmeer worden sinds 2010 meegenomen in de bemonstering. De locatie Hammen Oost daarentegen is na 2009 niet meer meegenomen in de bemonstering. In het Veerse Meer ligt 1 locatie (Soelekerkepolder Oost) die tijdens de MWTL wordt meegenomen.

In Bijlage 2, Figuur 2-1 tot en met Figuur 2-8, is een overzicht gegeven van een selectie van de beschikbare variabelen op de MWTL monitoringslocaties vanaf 1 januari 2000 tot en met 31 december 2017.

De metingen van bovengenoemde parameters worden ongeveer 13 tot 19 keer per jaar gemeten (afhankelijk van de locatie). In het zomerhalfjaar (april tot en met september) is de bemonstering tweewekelijks. In de winterperiode (oktober tot en met maart) is de bemonstering maandelijks.

Voor de primaire productiemetingen zijn vooral de parameters Chl_a , secchi diepte (doorzicht) en extinctie coëfficiënt interessant. Eventueel zijn ook de parameters zwevend Stof (ZS) en Total Organisch Koolstof (TOC) interessant voor het berekenen van het onderwater lichtklimaat. Ook worden opgeloste en particulier-gebonden nutriënten concentraties (N en P) gemeten op deze locaties.

3.2 NIOZ data

Het NIOZ in Yerseke (voorheen NIOO-CEME) heeft in de periode 1991 tot en met 2013 voor eigen rekening vrijwel maandelijks waterkwaliteitsmetingen uitgevoerd op 8 stations in de Oosterschelde. Naast nutriënten is ook zwevend stof en Chl_a -concentratie gemeten. Deze gegevens zijn ook gebruikt voor het herleiden van de primaire productie in de periode 1991 tot 2010 (Malkin et al., 2011).

Op het dak van het NIOZ in Yerseke is ook een LI-COR kwantum PAR sensor geplaatst die continu de instraling (PAR) meet.

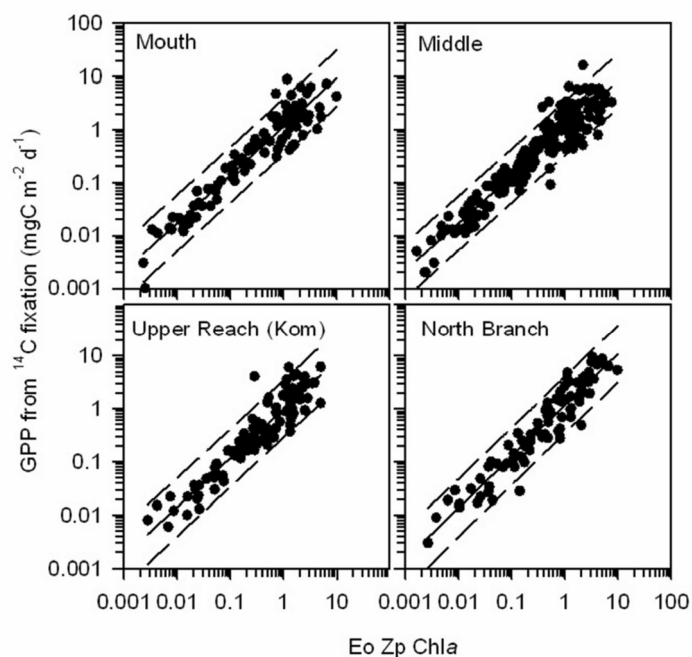
In 2018 is het NIOZ ook gestart met het uitvoeren van primaire productiemetingen in de Oosterschelde met behulp van de O_2 -fourier methode op de Yerseke bank. Hiertoe is een CTD (conductiviteit, temperatuur en diepte) geïnstalleerd met een pO_2 sensor. Tevens is er een OBS (optical backscatter sensor) geplaatst om het zwevend stof te meten en fluorescentie meter om het Chl_a te meten. Er wordt continu gemeten en de data wordt opgeslagen. De primaire productie wordt afgeleid uit de zuurstofmetingen door middel van fourier analyse (zie paragraaf 6.2.3). Tijdens het onderhoud van de meetinstrumenten worden ook monsters genomen waarin nutriënten, zwevend stof en pigmenten worden geanalyseerd. Tevens wordt er op het lab een P/E curve gemaakt met behulp van de ^{14}C methode.

3.3 KNMI data

Als alternatief voor de instraling van de zon aan het wateroppervlak kan ook gebruik worden gemaakt van de instralingsgegevens van het KNMI. Hier wordt echter de totale instraling gemeten. Om tot PAR te komen zou er een conversiefactor kunnen worden gebruikt.

3.4 Herleiden primaire productie

Als de primaire productiemetingen binnenkort worden hervat zijn er nog wel een aantal ontbrekende jaren (2012 - heden) waarvoor een schatting van de primaire productie voor de Oosterschelde ontbreekt. Voor het Veerse Meer en het Grevelingenmeer zijn helemaal geen primaire productiemetingen beschikbaar. Malkin et al. (2011) hebben een relatie opgesteld tussen de bruto primaire productie en de variabelen instraling (E_0), fotsche diepte ($Z_p \sim 4.6/k_d$) en de Chl_a -concentratie voor de vier deelgebieden van de Oosterschelde (Figuur 7). Deze relaties zouden eventueel kunnen worden gebruikt om een schatting te maken van de primaire productie in de Oosterschelde tussen 2010 en heden. Echter Malkin et al. (2011) geven ook aan dat er een mogelijk jaareffect zit in de relatie, waarbij het niet duidelijk is of dit jaareffect zich na 2010 heeft doorgezet. Dit zou kunnen worden onderzocht door de regressieanalyse nogmaals uit te voeren als in de toekomst voldoende nieuwe metingen van primaire productie in de Oosterschelde beschikbaar komen.

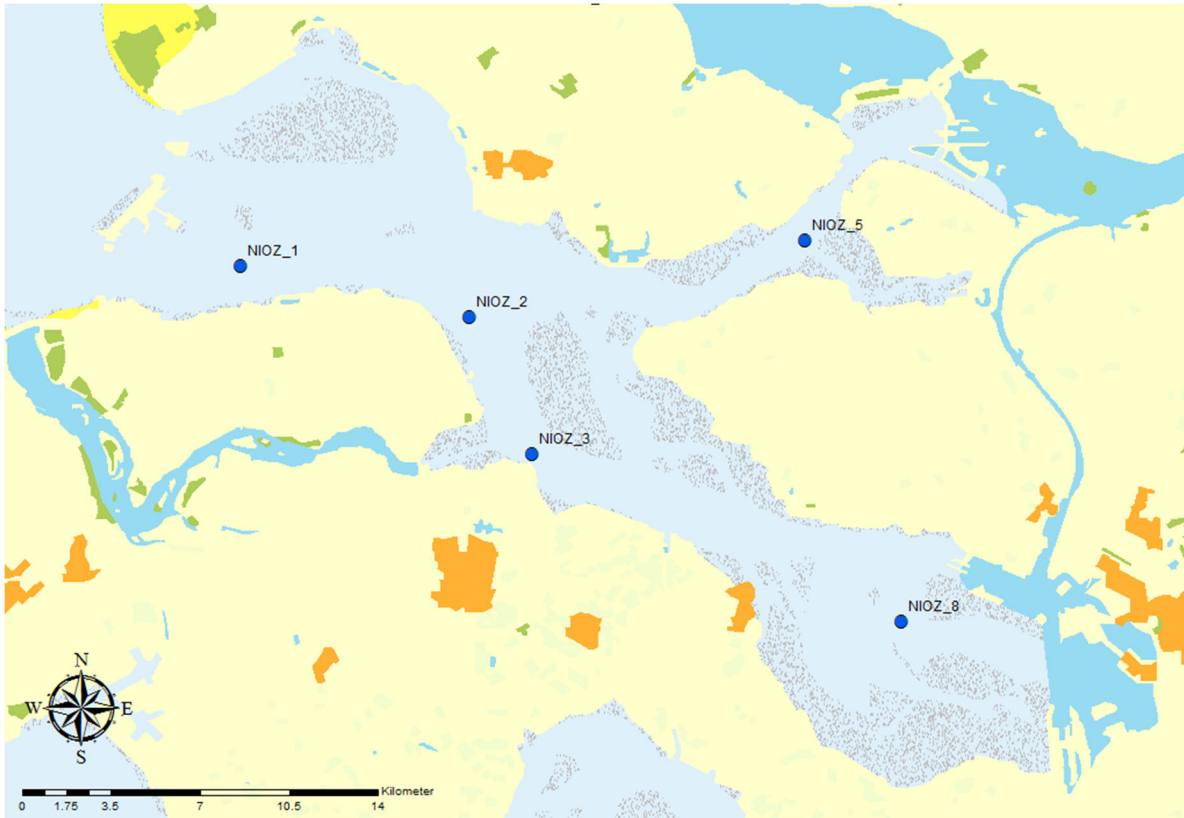


Figuur 7: Bruto primaire productie als een functie van $E_0 \cdot Z_p \cdot Chla$ voor de verschillende deelgebieden in de Oosterschelde. Data zijn gebaseerd op de metingen tussen 1991 en 2010 (Malkin et al., 2011). De regressielijn is geplot samen met de 95% betrouwbaarheidsintervallen (gebroken lijnen).

Voor het Veerse Meer en het Grevelingenmeer zijn er nog geen primaire productiemetingen beschikbaar. Hierdoor is het niet mogelijk om de primaire productie af te leiden uit de variabelen instraling, fotische diepte en Chla-concentratie. De relaties die voor de Oosterschelde zijn opgesteld kunnen niet zondermeer worden gebruikt voor deze bekkens. Voor het Veerse Meer en het Grevelingenmeer zou eerst onderzocht moeten worden of er een dergelijke relatie ook voor deze bekkens kan worden opgesteld. Hiervoor zijn eerst meerdere jaren van metingen nodig en dan nog is het aan te bevelen om niet te ver terug in de tijd (max 5 jaar) de primaire productie te herleiden.

4 Primaire productiemetingen in de Oosterschelde

4.1 Pelagische primaire productie



Figuur 8: Meetlocaties van het monitoringprogramma van het NIOO-CEME (thans NIOZ) waar primaire productie is gemeten.

In de Oosterschelde is de pelagische primaire productie op een aantal locaties (Figuur 8) gemeten door NIOO-CEME (thans NIOZ) tussen 1991 en 2012 (Malkin et al., 2011). De metingen zijn gedaan middels ^{14}C -incubaties (zie paragraaf 6.1.2 in dit rapport). De gemiddelde gemeten primaire productie in de Oosterschelde was $240 \text{ g-C m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$. Metingen variëren tussen de $50 \text{ g-C m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$ (OS8, 2006) en de $500 \text{ g-C m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$ (OS5, 1996) (zie Tabel 1). Uit deze metingen komt duidelijk naar voren dat de primaire productie sinds de start van de metingen sterk is afgenomen (Figuur 9) (zie ook Smaal et al., 2013). Omdat de het niet aannemelijk is dat de afname in primaire productie is veroorzaakt door een afname in nutriëntenconcentraties is de suggestie gedaan dat de afname in primaire productie is veroorzaakt door overbegrazing door schelpdieren (Smaal et al., 2013).

Tabel 1: Overzicht van metingen van bruto primaire productie (GPP¹, g-C m⁻² jaar⁻¹) op een aantal locaties in de Oosterschelde (Malkin et al., 2011). Voor de ligging van de locaties zie Figuur 8. NIOZ heeft metingen tot en met 2012 beschikbaar.

Jaar	OS1	OS2	OS3	OS5	OS8
1991	452	444	-	-	306
1992	-	-	-	-	-
1993	321	428		369	200
1994	-	-	-	-	-
1995	-	-	-	-	-
1996	333	298	281	501	180
1997	-	-	-	-	-
1998	221	198	157	388	164
1999	-	-	-	-	-
2000	259	176	195	198	188
2001	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-
2003	-	-	-	-	-
2004	-	-	-	-	-
2005	199	243	252	233	132
2006	118	111	83	292	50
2007	-	246	-	-	-
2008	-	229	-	-	-
2009	-	181	-	-	-
2010	222	258	153	-	132

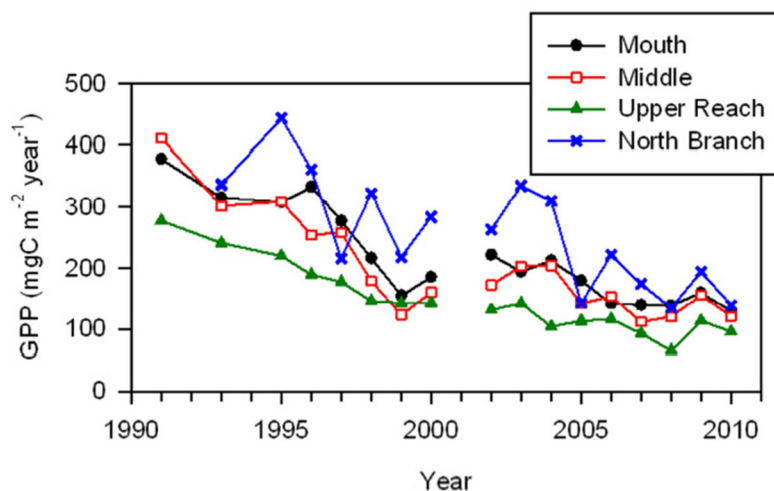
-: geen meting beschikbaar

Omdat de primaire productie niet in ieder jaar is gemeten is deze voor de tussenliggende jaren berekend uit de instraling (E_0 , gemeten bij NIOZ in Yerseke), de extinctiecoëfficiënt (k_d) en de algenconcentratie ($\mu\text{g Chl}a \text{ l}^{-1}$) (Malkin et al., 2011). Hiervoor is de volgende relatie gebruikt (zie Figuur 7):

$$\log(GPP) = a \cdot \log(E_0 \cdot k_d \cdot Chla) + b$$

Waarbij de regressieparameters a en b zijn geschat voor de verschillende deelgebieden. In Figuur 9 is de ontwikkeling van de primaire productie in de verschillende deelgebieden van de Oosterschelde uitgezet (uit Malkin et al., 2011). NIOZ heeft ook nog data voor de jaren 2011 en 2012, die niet zijn gerapporteerd in Malkin et al. (2011). Voor 2001 ontbreken de schattingen omdat er geen waarde voor de extinctie coëfficiënt (k_d) beschikbaar was. Uit deze figuur blijkt dat in alle deelgebieden de bruto primaire productie is afgenomen tussen 1991 en 2010. Ook is te zien dat de primaire productie doorgaans het hoogst was in de Noordelijke tak en het laagst in de kom. Het is op dit moment onduidelijk of de afnemende trend zich na 2010 heeft doorgezet of tot stand is gekomen.

¹ GPP is bruto primaire productie. Dit is de primaire productie zonder te corrigeren voor respiratie door algen (zie par. 2.1).



Figuur 9: Gereconstrueerde jaarlijkse primaire productie in de Oosterschelde tussen 1996 en 2010 (uit Malkin et al., 2011).

Voor het Veerse Meer en het Grevelingenmeer zijn geen meerjarige monitoringsgegevens van primaire productie beschikbaar. Hierdoor is het niet duidelijk óf en hoe de productie zich in deze bekkens heeft ontwikkeld. Voor het Grevelingenmeer wordt verwacht dat het geplande doorlaatmiddel in de Brouwersdam zal leiden tot een verhoogde productiviteit van het systeem (Witteveen en Bos, 2012; Smaal en Wijsman, 2014). Om dit te kunnen verifiëren is het van belang dat er vóór en ná de ingebruikname, in ieder geval gedurende een aantal jaren, metingen aan primaire productie worden uitgevoerd.

4.2 Benthische primaire productie

Stapel en De Jong (1998) hebben tussen 1981 en 1995 de Chl_a-concentratie van het microfytobenthos in de bovenste cm gemeten op 4 locaties in de Oosterschelde (Roggenplaat, Galgenplaat, Verdrongen land van Zuid Beveland en Rattekaai). In de periode na 1985 varieerde de Chl_a-concentratie tussen de 93 en 255 mg-Chl_a m⁻². De totale primaire productie van benthische diatomeeën is geschat op 26 milj kg C jaar⁻¹ (Stapel en De Jong, 1998). Zij berekenen dat de benthische diatomeeën een aanzienlijk aandeel (20 tot 25%) hebben in de totale primaire productie in de Oosterschelde. Voor de Westerschelde wordt dit aandeel lager ingeschat (15% van de totale primaire productie). In een eerdere studie (De Jong et al., 1994) is het aandeel van microfytobenthos aan de totale primaire productie van de Oosterschelde geschat op 30%. Door de afname van het areaal intergetijdengebied in de Oosterschelde als gevolg van de zandhonger (Van Zanten en Adriaanse, 2008) kan worden verwacht dat het relatief belang van benthische primaire productie in de Oosterschelde is afgenomen.

In het Veerse meer en het Grevelingenmeer is er (vrijwel) geen getij. Hierdoor is het areaal intergetijdengebieden beperkt. De verwachting is dat het relatieve belang van benthische primaire productie in deze gebieden veel minder is dan in de Oosterschelde, en zich voornamelijk beperkt tot de ondiepe gebieden waar voldoende licht de bodem bereikt. Met de plannen die er zijn om getij toe te laten in het Grevelingenmeer door middel van een doorlaat in de Brouwersdam zal het areaal intergetijdengebieden waarschijnlijk gaan toenemen (Tangelder et al., 2018) en daarmee waarschijnlijk ook het relatief belang van benthische primaire productie.

5 Draagkracht voor schelpdieren

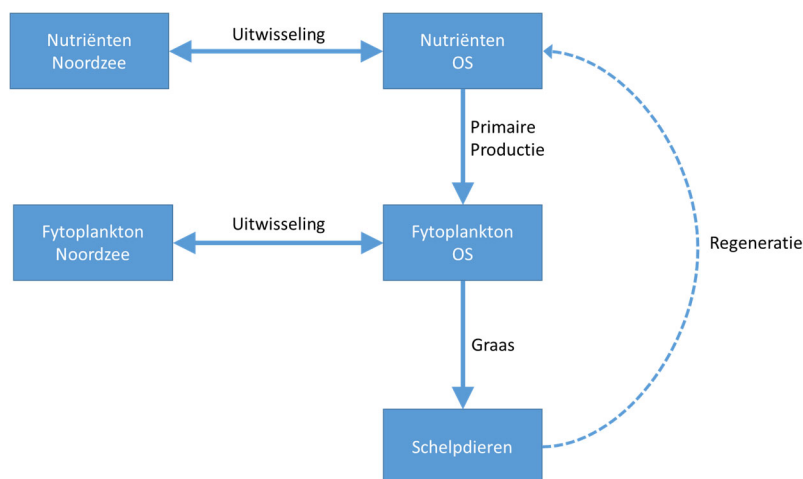
5.1 Wat is draagkracht?

De term draagkracht is een veelgebruikte term binnen de schelpdier aquacultuur. Letterlijk geeft het aan hoeveel schelpdieren het systeem kan dragen. Het begrip kan echter op verschillende manieren worden geïnterpreteerd. Inglis et al. (2000) maken een onderscheid in vier verschillende categorieën:

1. **Fysieke draagkracht:** Hierbij gaat het om het areaal aan geschikte ruimte die er beschikbaar is in een gebied om schelpdieren te kweken. Hierbij zijn de randvoorwaarden om schelpdieren te kunnen kweken, zoals zoutgehalte, diepte, hydrodynamiek maar ook gebruik van het gebied voor andere functies (visserij, natuur, scheepvaart, enz.) van belang.
2. **Productie draagkracht:** Hierbij gaat het om hoeveel schelpdieren kunnen er in een systeem worden gekweekt zonder dat de kwaliteit van deze schelpdieren verminderd. De hoeveelheid voedsel dat beschikbaar is hiervoor een belangrijke randvoorwaarde.
3. **Ecologische draagkracht:** Hierbij gaat het om de hoeveelheden schelpdieren die kunnen worden gekweekt in een systeem zonder dat er negatieve effecten op het ecosysteem optreden. Er wordt dus niet alleen naar de hoeveelheid en kwaliteit van de gekweekte schelpdieren gekeken, maar ook naar de andere componenten van het ecosysteem zoals overige schelpdieren, vissen en vogels.
4. **Sociale draagkracht:** Hierbij gaat de impact door schelpdierkweek die door de samenleving wordt geaccepteerd.

In de praktijk zijn deze draagkracht typen niet altijd los van elkaar te zien.

De meeste studies naar draagkracht richten zich op de productie draagkracht waarbij wordt gekeken naar de maximale hoeveelheid schelpdieren die duurzaam kunnen worden gekweekt in een gebied. In de praktijk blijkt vaak dat het moeilijk is om dit te vatten in één getal, mede door de ruimtelijke heterogeniteit en temporele dynamiek van de natuurlijke processen. De draagkracht wordt bepaald door een aantal processen zoals de waterversing, de primaire productie en de filtratiedruk door schelpdieren die onderling ook sterk aan elkaar gerelateerd zijn. Zo regenereren schelpdieren stikstof en fosfaat middels afvalproducten wat weer kan leiden tot meer algenproductie (zie ook Figuur 10).



Figuur 10: Eenvoudige schematisatie van de relatie tussen nutriënten, fytoplankton en schelpdieren in de Oosterschelde. Nutriënten (N en P) en fytoplankton worden door getij uitgewisseld tussen Oosterschelde (rechts) en Noordzee (links). In de Oosterschelde neemt de fytoplankton biomassa toe door primaire productie en af door begrazing. Schelpdieren leveren nutriënten versneld terug waarmee de primaire productie wordt gestimuleerd.

Uit Figuur 10 blijkt dat niet alleen lokale productie van fytoplankton van belang is voor de draagkracht van een systeem, ook de import van buiten het systeem kan een belangrijke voedselbron zijn voor schelpdieren. Voor de mosselkweek in de Oosterschelde is bijvoorbeeld bekend dat de percelen in de buurt van de Oosterscheldekering over het algemeen leiden tot relatief goede opbrengsten. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de aanvoer van voedselrijk water vanuit de Noordzee. De draagkracht van een gebied is het resultaat van de interactie tussen graasdruk, primaire productie en externe aanvoer.

Doordat de bovengenoemde processen dynamisch zijn en ook ruimtelijk gedifferentieerd zal ook de draagkracht (welke biomassa aan schelpdieren kan het systeem aan) variëren in de ruimte en tijd. Modellen zijn daarom van belang om draagkracht van een systeem te kunnen kwantificeren.

5.2 Belang van primaire productie voor draagkracht

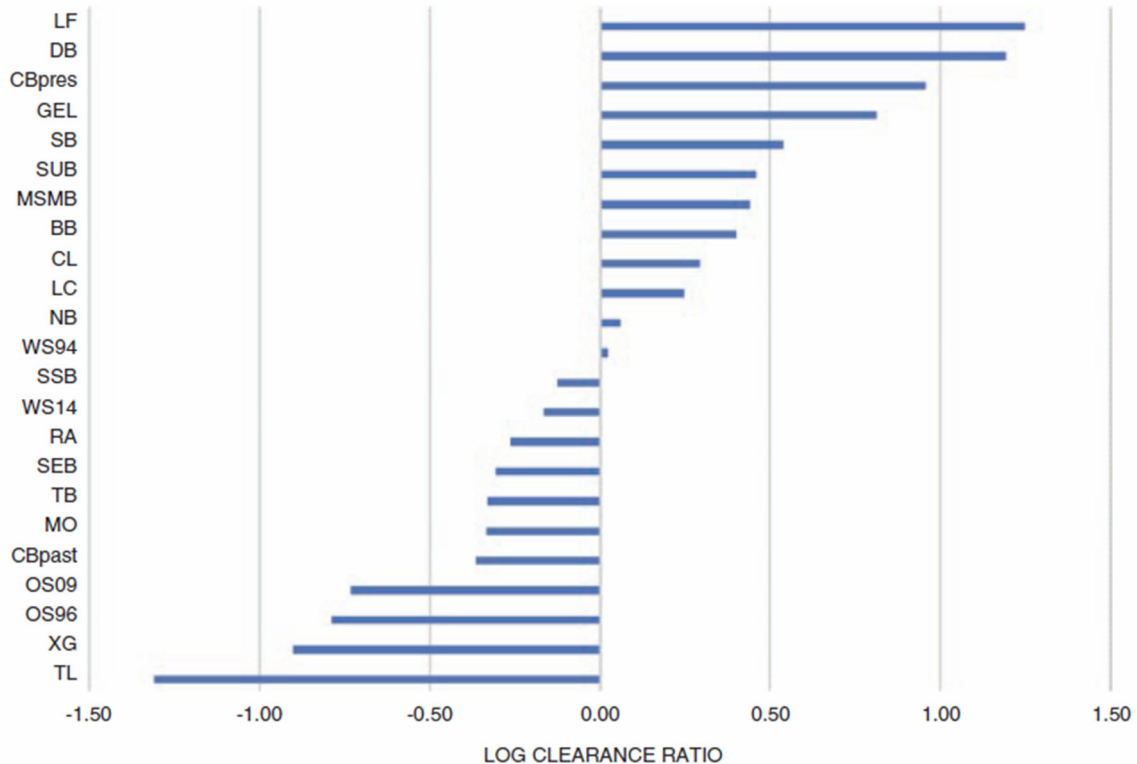
Het fytoplankton kan op verschillende manieren worden beschreven, als toestandsvariabele (biomassa, $\mu\text{g-Chl}a\ \text{l}^{-1}$) of als proces (primaire productie, $\text{g-C m}^{-2}\ \text{d}^{-1}$). Deze hoeven niet altijd met elkaar gerelateerd te zijn. In systemen met een hoge graasdruk bijvoorbeeld kan de algenbiomassa laag zijn terwijl de primaire productie juist hoog is. Omgekeerd kan het voorkomen dat er systemen zijn met een lage graasdruk door schelpdieren waardoor de fytoplanktonbiomassa hoog is terwijl de primaire productie juist laag is. In draagkrachtonderzoek is het dan ook beter om systemen met elkaar te vergelijken op basis van (pelagische) primaire productie dan op basis van fytoplanktonbiomassa.

5.3 Indices en indicatoren voor draagkracht

Omdat modelontwikkeling niet altijd eenvoudig is zijn er een aantal parameters ontwikkeld die kunnen worden gebruikt om draagkracht van systemen met elkaar te vergelijken. Smaal (2017) heeft, gebaseerd op Dame en Prins (1998), de draagkracht uitgedrukt in een aantal eenvoudige generieke indices: de clearance ratio (CR) en de grazing ratio (GR). Deze ratio's worden berekend uit een aantal kenmerken van het systeem zoals de gemiddelde primaire productie (PP , $\text{g-C m}^{-2}\ \text{dag}^{-1}$), de gemiddelde fytoplanktonbiomassa ($Fyto$, g-C m^{-2}), de gemiddelde verblijftijd van het water (RT , d) en de filtratiecapaciteit (clearance rate) door de filterfeeders (CR , $\text{m}^3\ \text{d}^{-1}$).

Uit de gemiddelde primaire productie en de gemiddelde fytoplanktonbiomassa kan de productietijd (PT , d) worden berekend ($PT = PP/Fyto$). Deze parameter geeft aan hoeveel tijd het kost om de algenbiomassa in het systeem te vernieuwen. Analoot hieraan is de filtratietijd of clearance time (CT , d) de tijd die de filterfeeders er over doen om het hele watervolume van het systeem te filtreren. Deze kan worden berekend door $CT = Volume/CR$. De gemiddelde verblijftijd van het water in het systeem kan worden berekend uit het getijvolume en de verversingssnelheid ($RT = Volume/Exchange$).

De clearance ratio (CR) is de verhouding tussen de filtratietijd en de verblijftijd ($CR = CT/RT$). Bij waarden groter dan 1 is de verversing door uitwisseling groter dan de filtratie. Bij waarden kleiner dan 1 filteren de schelpdieren het water sneller dan dat het wordt verversd. Hoe lager de clearance ratio, hoe belangrijker de interne primaire productie van het systeem. Smaal (2017) heeft voor de Oosterschelde over de periode 1995 tot en met 2009 een CR van 0.13 berekend. Dit was op Xiangang Bay en Tau Lagoon na de laagste CR van de 23 onderzochte gebieden met schelpdier aquacultuur (Figuur 11). De grazing ratio (GR) is de verhouding tussen de filtratietijd en de productietijd ($GR = CT/PT$). Lage waarden van de grazing ratio zijn een indicatie van overexploitatie. Voor de Oosterschelde is een grazing ratio van 1.63 berekend (Smaal, 2017). Bij een waarde van de grazing ratio tussen de 1 en de 3 is er het risico op overbegrazing (Smaal en Van Duren, 2019).



Figuur 11: Log Clearance Ratio ($CR = CT/RT$) voor een aantal gebieden met schelpdier aquacultuur. Lysefjord (LF, Noorwegen), Delaware Bay (DB, VS), Chesapeake Bay present (CBpres, VS), Grand Entrée Lagoon (GEL, Canada), Saldanha Bay (SB, Z-Afrika), Sungo Bay (SUB, China), Mont St Michel Bay (MSMB, Frankrijk), Beatrix Bay (BB, Nieuw Zeeland), Loch Creran (LC, VK), Narragansett Bay (NB, VS), Waddenzee 1994 (WS94), South San Francisco Bay (SSB, VS), Westelijke Waddenzee 2014 (WS14), Ria de Arosa (RA, Spanje), Sechura Bay (SEB, Peru), Tracadie Bay (TB, Canada), Marennes-Oleron Bay (MO, Frankrijk), Chesapeake Bay past (CBpast, VS), Oosterschelde in 1996 en 2009 (OS09, OS96), Xiangang Bay (XG, China) en Thau Lagoon (TL, Frankrijk). Uit Smaal en Van Duren (2019)

Naast de hierboven genoemde indices zijn er ook een aantal indicatoren die een beeld geven van de draagkracht van een systeem. Zo zijn er in het verleden een aantal indicatoren voor de ontwikkeling van de draagkracht gebruikt (Smaal en Van Stralen, 1990; Smaal et al., 2010; Smaal et al., 2013; Kamermans en Van Asch, 2018)

- Primaire productie: afname in de primaire productie kan een indicatie zijn voor overbegrazing;
- Waterkwaliteitsparameters: veranderingen in primaire productie kunnen mogelijk worden verklaard door veranderingen in waterkwaliteit (algenconcentratie, nutriënten, lichtklimaat);
- Aandeel picoplankton: bij hoge graasdruk kan het aandeel van het picoplankton (algen die te klein zijn om door schelpdieren te worden gegeten) aan de totale algenbiomassa toenemen;
- Veranderingen in de groei van schelpdieren als kokkels kan een indicatie zijn voor veranderingen in draagkracht. In het verleden is de groei van kokkels gemeten op een aantal vaste locaties in de Oosterschelde (Kesteloo, 2006). Als alternatief kan de groei worden afgeleid uit het gemiddelde gewicht van een en tweejarige kokkels (Kamermans en Van Asch, 2018).
- Het vleespercentage van de mosselen aan de veiling: Als er onvoldoende voedsel beschikbaar is zal het gemiddelde vleespercentage afnemen;
- Totaal bestand aan schelpdieren en filtratiecapaciteit. Voor sommige groepen zoals de bestanden aan sublitorale oesters en hardsubstraatorganismen dienen aannames te worden gemaakt;

Door het volgen van de ontwikkeling van de clearance ratio (*CR*) en de grazing ratio (*GR*) over de tijd samen met de veranderingen van de overige indicatoren kan inzicht worden verkregen in de veranderingen in de draagkracht van het systeem. De uitdaging is om dergelijke analyses ook ruimtelijk uit te voeren. Primaire productie is een belangrijke, maar zeker niet de enige factor die nodig is om inzicht te verkrijgen in de draagkracht van een systeem voor schelpdieren. Graasdruk, ook door natuurlijke schelpdierpopulaties, verversingstijd en overige bovengenoemde parameters zijn minstens net zo belangrijk.

5.4 Doorvertaling hogere trofische niveaus

Voor ecologische en sociale draagkracht is het van belang dat draagkracht voor schelpdieren kan worden doorvertaald naar de effecten op hogere trofische niveaus zoals vogels, vissen en zoogdieren. Deze doorvertaling is niet eenvoudig en vereist kennis van de trofische relaties en het functioneren van het ecosysteem als geheel. Modellen kunnen behulpzaam zijn bij het vertalen van schelpdierbestanden (bijvoorbeeld kokkels) naar schelpdieretende vogels zoals scholeksters (Rappoldt et al., 2006). Voor andere soorten kan dat complexer zijn. Zo kunnen grote bestanden schelpdieren een negatief effect hebben op de zoöplanktonpopulatie waardoor er minder voedsel beschikbaar is voor bijvoorbeeld pelagische vissen die foerageren op dit zoöplankton.

6 Methodieken voor meten primaire productie

Grofweg kunnen de methoden voor het meten van primaire productie worden ingedeeld in (1) incubatie methoden en (2) *in situ* methoden. In de volgende paragrafen worden de verschillende methoden kort beschreven. Hierbij is dankbaar gebruik gemaakt van overzichten die in eerdere studies zijn gemaakt (Kromkamp en Philippart, 2015; Kromkamp et al., 2017).

6.1 Incubatie methoden

Bij een incubatie wordt een volume water in een afgesloten ruimte gebracht (incubator) en daarin wordt de verandering in $(CH_2O)_n$, CO_2 of O_2 over de tijd gemeten. De incubatiemethode kan zowel in het lab, waarbij het lichtklimaat wordt geregeld met lampen en filters als in het veld worden toegepast waarbij de incubator gedurende een bepaalde periode op een bepaalde diepte in het water, bij het *in situ* lichtklimaat en temperatuur, wordt gehangen. De periode van incubatie varieert tussen de 30 minuten en 24 uur. Om onderscheid te kunnen maken tussen netto (NPP) en bruto (GPP) primaire productie wordt er ook vaak gebruik gemaakt van incubaties in het donker om de community respiratie ($R_a + R_n$) te kwantificeren.

6.1.1 CO_2 incubatie

CO_2 neemt af in licht door primaire productie en neemt toe in het donker als gevolg van respiratie. Door het verschil in de CO_2 concentratie tussen het begin en het eind van de incubatie is de netto primaire productie (NPP) te meten. Door een incubator in het donker te plaatsen is ook de community respiratie (CR) te meten (toename van CO_2). De bruto primaire productie (GPP) kan worden berekend middels $NPP + CR$, onder de aanname dat de respiratie door algen overdag en 's nachts hetzelfde is.

In de praktijk wordt deze methode vrijwel niet toegepast omdat het moeilijk is om de relatief kleine concentratieverschillen te meten. Tevens zijn er allerlei chemische processen die invloed hebben op de CO_2 concentratie in het water. Zo dient ook de alkaliniteit te worden gemeten om te corrigeren voor het evenwicht en de opname van bicarbonaat door de algen.

Voor het meten van benthische primaire productie door microfytobenthos wordt wel gebruik gemaakt van een incubatieklok (bell-jar) die bij droogstand over het sediment wordt geplaatst. De CO_2 flux naar de bodem wordt gemeten door de afname in CO_2 concentratie van de lucht in de incubatieklok.

	Beschrijving	Score
Parameters	GPP, NPP en CR.	☺
Nauwkeurigheid	Geen nauwkeurige methode. De concentratieverschillen zijn klein ten opzichte van de achtergrond. Er dient te worden gecorrigeerd voor alkaliniteit.	☹
Toepasbaarheid	Arbeidsintensieve methode.	☹
Kosten	Geen dure apparatuur nodig maar wel arbeidsintensief.	☺

6.1.2 ^{14}C fixatie

Omdat het moeilijk is om veranderingen in CO_2 concentratie te meten wordt regelmatig gebruik gemaakt van radioactieve en stabiele isotopen. In de natuur bestaat 99% van de CO_2 uit ^{12}C en 1% uit het stabiele isotoop ^{13}C . Het radioactieve isotoop ^{14}C komt in de natuur nauwelijks voor. Bij de ^{14}C fixatiemethode wordt een bekende hoeveelheid ^{14}C in de vorm van bicarbonaat aan een watermonster

toegevoegd. Na incubatie wordt de primaire productie gemeten aan de inbouw van ^{14}C in het organisch materiaal ($^{14}\text{C}\text{H}_2\text{O}$)_n.

De ^{14}C methode kan in theorie ook worden gebruikt om de productie van het microfytobenthos te meten. Dit kan door de oppervlaktelaag van het sediment in suspensie te brengen, radioactief gelabeld $^{14}\text{C}\text{O}_2$ (in de vorm van $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$) toe te voegen en dan de opname van het radioactieve $^{14}\text{C}\text{O}_2$ te meten (analoog met de methode voor fytoplankton) (Kromkamp en Philippart, 2015; Kromkamp et al., 2017).

Het is niet altijd duidelijk of er met de ^{14}C methode netto (NPP) of bruto (GPP) primaire productie wordt gemeten. Dit is o.a. afhankelijk van de incubatieduur. Bij korte incubaties (< 2 uur) wordt veelal aangenomen dat het gefixeerde CO_2 niet wordt gerespireerd en wordt de GPP gemeten. Bij langere incubaties echter zal een deel van het gefixeerde CO_2 weer worden gerespireerd (en eventueel weer opnieuw worden gefixeerd) en zal meer de netto primaire productie (NPP) worden gemeten. Ook de specifieke groeisnelheid van de algen heeft hier invloed op. Bij lagere groeisnelheden van de algen wordt eerder netto primaire productie (NPP) gemeten, zelfs bij relatief korte incubaties (Kromkamp et al., 2017). Omdat ^{14}C radioactief is, is de ^{14}C -fixatiemethode onderhevig aan strenge veiligheidsregels.

	Beschrijving	Score
Parameters	NPP en GPP afhankelijk van duur incubatie en groeisnelheid van de algen.	☺
Nauwkeurigheid	Zeer gevoelige methode	☺
Toepasbaarheid	Methode is uitgebreid beschreven en in het verleden toegepast in reguliere monitoring, ook in Nederlandse wateren. Maakt gebruik van radioactief ^{14}C en is daarom gebonden aan wettelijke voorzorgsmaatregelen. Er wordt radioactief afval geproduceerd. Het is een ingewikkelde methode en arbeidsintensief. Metingen dienen te worden uitgevoerd op het lab. Monsters dienen na monsternamen snel naar lab te worden gebracht zodat incubaties kunnen worden uitgevoerd.	☹
Kosten	Er is een specifiek lab nodig met gekwalificeerd personeel.	☹

6.1.3 ^{13}C fixatie

Het stabiele isotoop ^{13}C is niet radioactief en kan daardoor eenvoudiger worden toegepast dan de ^{14}C methode. De ^{13}C -fixatie methode komt overeen met de ^{14}C fixatie methode alleen de analyse van de monsters is anders. Voor de ^{13}C -methode is relatief dure infrastructuur nodig (isotopen ratio massa spectrometer).

	Beschrijving	Score
Parameters	NPP en GPP afhankelijk van duur incubatie en groeisnelheid van de algen.	☺
Nauwkeurigheid	Gevoelige methode maar minder gevoelig dan ^{14}C .	☺
Toepasbaarheid	^{13}C is niet radioactief dus is eenvoudiger toe te passen. Interpretatie is gecompliceerd omdat de natuurlijke verhouding $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ verandert tijdens de incubatie in zowel organisch als anorganisch C. Incubaties kunnen direct aan boord worden uitgevoerd. Lange doorloopduur analyses.	☹
Kosten	Er is een dure infrastructuur nodig voor analyse. Gekwalificeerd personeel moet mee aan boord tijdens monsternamen.	☹

6.1.4 O_2 incubatie

De O_2 incubatie methode komt overeen met de CO_2 incubatie methode. Het verschil is dat er onder invloed van licht de concentratie O_2 zal toenemen (NPP) en in het donker zal deze afnemen (CR). Van belang is dat er een omrekenfactor nodig is (Photosynthetic Quotient, PQ) om de zuurstofproductie ($\text{mmol O}_2 \text{ dag}^{-1}$) om te zetten in biomassa productie (mmol C d^{-1}), zie paragraaf 2.1.

Bij de zuurstof incubatie methode wordt primaire productie gemeten aan de toename van de zuurstofconcentratie in het water. De zuurstofconcentratie kan met diverse methoden worden gemeten. Klassiek wordt de zuurstof gemeten door middel van de relatief nauwkeurige Winkler titratie (Winkler, 1888), maar er worden ook wel zuurstof (micro) elektrodes of optodes gebruikt.

Incubatiemethodes kunnen ook worden gebruikt om de productie van het microfytobenthos te meten. Door een afgesloten transparante kamer (bell-jar) over het sediment te plaatsen kan een incubatie worden uitgevoerd. Met een zuurstofelektrode kan de verandering in de zuurstofconcentratie worden gemeten waarmee de netto community productie (NCP) kan worden berekend. Door hetzelfde experiment in een donkere kamer uit te voeren is eventueel ook de CR te meten. Het verschil met de CO_2 bell-jar methode zoals beschreven in paragraaf 6.1.1, wordt bij de O_2 -methode de concentratie O_2 in het water gemeten terwijl bij de CO_2 -methode de concentratie CO_2 in de lucht wordt gemeten.

De netto community productie (NCP) van microfytobenthos is ook af te leiden uit de zuurstofprofielen in de bodem. Deze zijn te meten met micro-elektrodes en planaire O_2 -optodes (Glud et al., 1999). De bruto primaire productie (GPP) is te berekenen door afwisselend in het licht en in het donker te meten of door het fitten van de zuurstofconcentratie profielen over de diepte door middel van modellen. De metingen van benthische primaire productie met behulp van zuurstof elektrodes zijn vooral geschikt voor onderzoek en niet voor reguliere monitoring omdat het zeer tijdrovend is en de meting sterk wordt beïnvloed door de ruimtelijke heterogeniteit.

	Beschrijving	Score
Parameters	NPP en GPP	😊
Nauwkeurigheid	Geen gevoelige methode, vooral bij lage fytoplanktonconcentraties omdat de veranderingen in zuurstofconcentratie klein zijn ten opzichte van de achtergrond.	😞
Toepasbaarheid	Het is een eenvoudige methode.	😊
Kosten	Er is geen extreem dure apparatuur nodig	😊

6.1.5 ^{18}O incubatie

Bij de ^{18}O incubatie wordt het water in de incubatie verrijkt met het stabiele isotoop ^{18}O in de vorm van $H_2^{18}O$. De primaire productie wordt gemeten aan de toename van ^{18}O -verrijkt O_2 . Omdat maar een zeer beperkt deel van de gelabelde $^{18}O_2$ wordt verbruikt door respiratie tijdens de incubatie wordt met deze methode in principe de bruto primaire productie (GPP) gemeten, hoewel het ook mogelijk is om de netto primaire productie te meten (NPP) (Bender et al., 1987).

	Beschrijving	Score
Parameters	GPP (en NPP)	😊
Nauwkeurigheid	Methode is gevoeliger dan de normale zuurstof incubatie.	😊
Toepasbaarheid	Het is een gecompliceerde methode omdat ^{18}O moet worden omgezet in $C^{18}O_2$ in massaspectrometer. Weinig ervaring met toepassing van deze methode.	😞
Kosten	Dure apparatuur vereist	😞

6.2 *In situ* methoden

Bij *in situ* wordt er vaak gebruik gemaakt van specifieke probes die in het veld worden geplaatst. Het voordeel van deze methoden is dat er gebruik wordt gemaakt van de lokale omstandigheden inclusief het *in-situ* lichtklimaat. De meeste *in-situ* methoden richten zich op het meten van het geconsumeerde CO_2 of het geproduceerde O_2 als gevolg van de primaire productie. Andere richten zich meer op de fysiologie en meten het geabsorbeerde licht of het of de fluorescentie als gevolg van de fotosynthese.

6.2.1 CO₂-eddy correlatie

Deze techniek wordt wel gebruikt om de productie te meten van bossen, gewassen, wetlands etc. Hierbij worden CO₂-fluxen in de atmosfeer gemeten met behulp van micrometeorologische technieken (3D windrichting) en gas-analyzers. Deze techniek is in het verleden al eens toegepast om CO₂-fluxen te meten in de Waddenzee (Zemmelink et al., 2009).

	Beschrijving	Score
Parameters	NPP	☹
Nauwkeurigheid	Waarschijnlijk niet erg nauwkeurig	☹
Toepasbaarheid	Het is een relatief nieuwe methode waar nog weinig ervaring mee is in estuaria. Geeft wel een geïntegreerd beeld.	☹
Kosten	Zeker in begin kostbare methode	☹

6.2.2 O₂/Ar ratio bepaling

Argon (Ar) is een inert gas met vergelijkbare fysisch-chemische karakteristieken (oplosbaarheid, diffusieconstante) als zuurstof als het gaat om gevoeligheid voor saliniteit en temperatuur. Veranderingen in de ratio O₂/Ar in het oppervlaktewater zijn daardoor het gevolg van productie en consumptie van zuurstof en zijn daarmee een maat voor de netto primaire productie. De meting kan *in situ* worden gedaan door middel van "Membrane Inlet Mass Spectrometry" waarbij de netto community production (NCP) kan worden afgeleid uit de verandering in de O₂/Ar ratio. Belangrijke aanname in deze bepaling is dat de verticale en laterale menging van het water constant is en dat in dezelfde watermassa wordt gemeten. Daarom is deze methode minder geschikt in wateren met een complexe hydrodynamiek zoals estuaria.

Een aanvulling op deze methode is de triple zuurstof isotopen methode waarbij naast de O₂/Ar ratio ook wordt gekeken naar de ratio's van de stabiele isotopen ¹⁷O/¹⁶O en ¹⁸O/¹⁶O¹⁸ (Luz en Barkan, 2009). Hiermee is ook de bruto primaire productie (GPP) te bepalen. Net als de O₂/Ar ratio methode is ook deze methode vooral geschikt voor stagnante wateren.

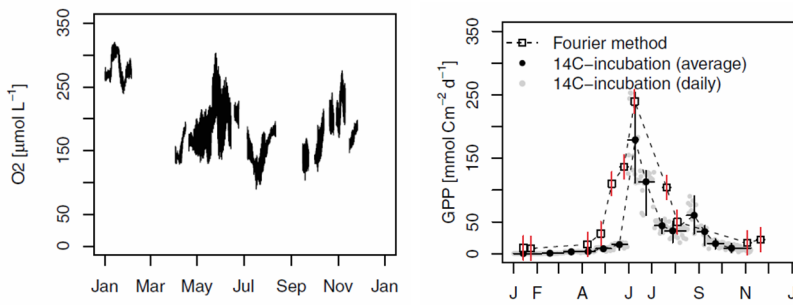
	Beschrijving	Score
Parameters	NPP (evt GPP)	☹
Nauwkeurigheid	Geen hele grote nauwkeurigheid	☹
Toepasbaarheid	Gecompliceerde meetmethode vooral geschikt voor stagnante wateren. Grote ruimtelijke spreiding door mogelijkheid om continu te kunnen meten.	☹
Kosten	Dure apparatuur nodig	☹

6.2.3 O₂-fourier methode

Een klassieke manier om productie (GPP) en respiratie (CR) te schatten aan de hand van de veranderingen in zuurstofconcentratie in het water (Odum, 1956). Een probleem bij deze methode is dat de zuurstofconcentratie niet alleen wordt bepaald door productie en respiratie maar ook door advectioneel watertransport, lucht-water uitwisseling en turbulente menging. Hierdoor is deze methode voornamelijk geschikt voor afgesloten stagnante wateren waar advectioneel watertransport, lucht-water uitwisseling en turbulente menging constant zijn.

In Cox et al. (2015) is een methode ontwikkeld om de bruto primaire productie en de respiratie af te leiden uit frequente zuurstofmetingen door middel van Fourier-analyse. Het idee hierbij is dat de data wordt gecorrigeerd voor de effecten van getij, turbulente menging en lucht-water uitwisseling. Cox et al. (2015) hebben de methode getest met een drietal artificiële datasets die met behulp van modellen zijn gegenereerd en ook met gemeten zuurstofconcentraties in de Schelde (Kruikeke) (Figuur 12). Er is in 2018 door het NIOZ een zuurstofmeter uitgezet bij de Yerseke Bank in de Oosterschelde om te onderzoeken of hieruit de primaire productie kan worden herleid met de behulp van Fourier analyse. Het lijkt nog te vroeg om deze methode op dit moment al te implementeren in de reguliere monitoring, maar is zeker de moeite waard om de ontwikkelingen hiervan te volgen. Het is een relatief

goedkope manier om primaire productie continu te meten op een bepaalde locatie. De data-analyse is specialistisch werk waarmee nog ervaring dient te worden opgedaan.



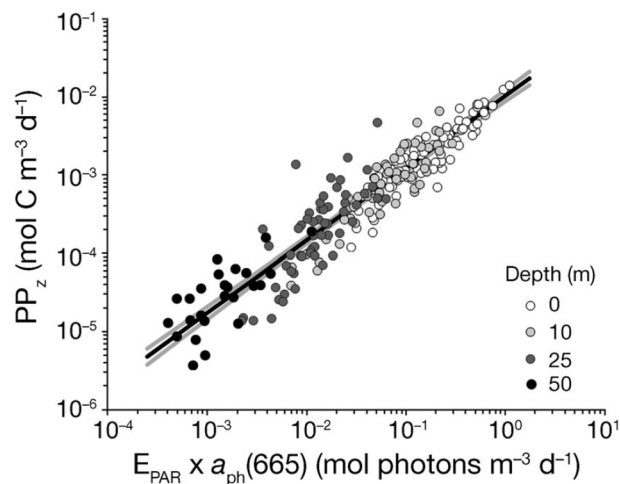
Figuur 12: Gemeten zuurstofconcentraties bij Kruibeke in 2010 (links) en de hieruit gereconstrueerde bruto primaire productie (rechts). De zwarte en grijze punten geven de gemeten primaire productie op basis van ¹⁴C metingen (uit: Cox et al., 2015).

Deze meting geeft dus een gedetailleerd beeld over de verandering in de productie in de tijd op een vaste locatie. Voor de methode is het essentieel dat de mengdiepte bekend is, omdat het signaal representatief is voor de mengdiepte. Dus (tijdelijke) stratificatie kunnen de resultaten beïnvloeden.

	Beschrijving	Score
Parameters	GPP en CR	😊
Nauwkeurigheid	De nauwkeurigheid van de metingen moeten nog blijken uit de praktijk, maar de eerste resultaten zien er goed uit	😐
Toepasbaarheid	Metingen worden continu <i>in situ</i> uitgevoerd. Analyse en interpretatie van de gegevens is niet eenvoudig. Methode is veelbelovend maar is nog in ontwikkeling. Op dit moment eerder voor onderzoek dan voor reguliere monitoring, maar de ontwikkelingen dienen zeker nauwlettend te worden gevolgd. Vooral een puntmeting.	😐
Kosten	Kosten van de monitoring zijn beperkt. Wel vraagt het nog een aanzienlijke inspanning in de na-verwerking en interpretatie van de gegevens	😐

6.2.4 Licht absorptie (PSICAM)

Fotosynthese is een direct gevolg van de absorptie van licht. Op basis van de licht absorptie en de absorptie efficiëntie kan de productie worden berekend (Figuur 13). De absorptie van licht kan worden gemeten met de Point Source Integrating Cavity (PSICAM). Deze methode is echter zeer gevoelig voor fouling van de meetunit en verdere ontwikkeling is nodig voordat deze methode operationeel kan zijn.



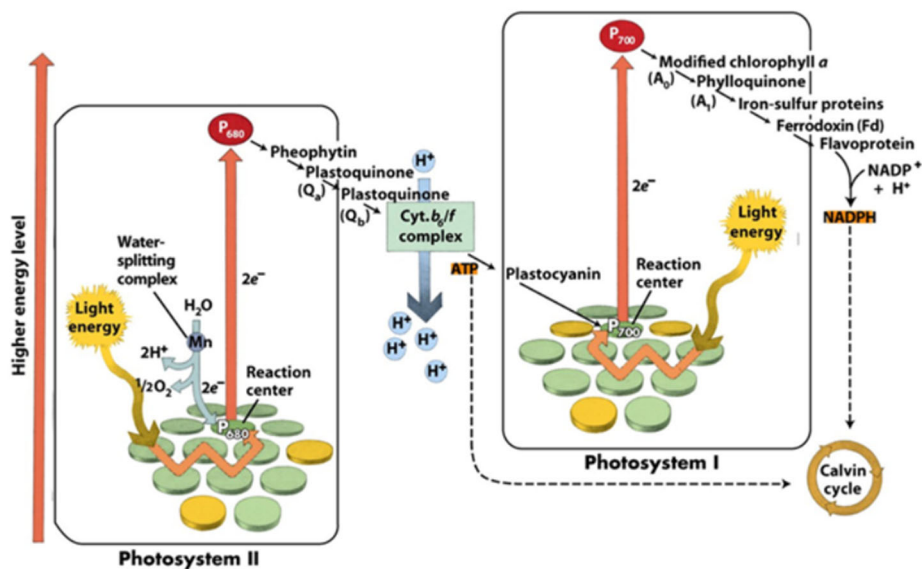
Figuur 13: Relatie tussen primaire productie (y-as, ^{14}C methode) en absorptie door algen (x-as) voor monsters verzameld op verschillende dieptes in het Kanaal. De absorptie is het product van de absorptiecoëfficiënt (a_{ph} bij 665 nm) en de instraling van het photosynthetisch actieve straling (E_{PAR}). Uit (Barnes et al., 2014).

Beschrijving		Score
Parameters	GPP	☹
Nauwkeurigheid	Directe methode, gevoelig voor fouling.	☹
Toepasbaarheid	Kennis van de C/Chla ratio nodig. Methode dient eerst verder te worden uitgetest voordat het toe te passen is in reguliere monitoring.	☹
Kosten	Eerst nog onderzoek nodig	☹

6.2.5 Variabele fluorescentie (FRRF-PAM)

Bij Fast Repetition Rate Fluorometrie (FRRF) en Pulse Amplitude Modulation (PAM) wordt gebruik gemaakt van fluorescentie van het geabsorbeerde licht tijdens het proces van fotosynthese. In de afgelopen jaren is er veel onderzoek gedaan om de FRRF methode verder te ontwikkelen zodat primaire productie vrijwel continu kan worden gemeten. De methode is inmiddels zo ver ontwikkeld dat het niet alleen meer in het kader van onderzoek wordt toegepast, maar ook voor operationele monitoring (Kromkamp et al., 2014; Kromkamp, in prep).

Het Chla dat in algen voorkomt absorbeert voornamelijk het blauwe en rode deel van het kleurenspectrum. Het geabsorbeerde licht levert de energie voor de primaire productie. Een deel (<5%) van de geabsorbeerde energie wordt weer uitgezonden als fluorescentie bij een karakteristieke rode golflengte. Deze fluorescentie is afkomstig van pigmenten die zijn geassocieerd met het fotosysteem-II (PSII) van het fotosynthese proces (Figuur 14). In PSII wordt het water gesplitst waarbij zuurstof wordt gevormd. PSII is verbonden met PSI en samen leveren ze ATP en NADPH₂ ("licht reactie") die in de Calvin Cyclus ("donker reactie") worden gebruikt om CO₂ te fixeren.



Figuur 14: Schematisch overzicht van het fotosynthese proces (www.majordifferences.com).

Er zijn drie processen mogelijk met de fotonen (lichtdeeltjes) nadat ze door het Chla zijn geabsorbeerd:

- Het foton wordt gebruikt voor fotochemie (efficiëntie ϕ_p);
- Het foton wordt gebruikt voor fluorescentie (efficiëntie ϕ_f);
- De energie van het foton gaat verloren in de vorm van warmte (efficiëntie ϕ_H).

De som van deze processen ($\phi_p + \phi_f + \phi_H$) is 1, dus als een van de processen toeneemt zullen de andere afnemen. Bij de FRRF methode worden in korte tijd een groot aantal lichtpulsjes afgegeven waardoor de reactiecentra van het fotosysteem II worden gesloten en dus de ϕ_p afneemt. Als gevolg hiervan neemt de fluorescentie efficiëntie ϕ_f toe. Door de toename in de fluorescentie bij een bepaalde intensiteit te meten kan dus de fotosynthese snelheid worden berekend. Door de metingen uit te voeren bij verschillende lichtintensiteiten (variërend tussen de 0 en 800 $\mu\text{mol fotonen m}^{-2} \text{s}^{-1}$) kan een P/E curve (zie Figuur 5) worden opgesteld waarbij de productie (P) wordt uitgezet tegen de lichtintensiteit (E). Uit deze relatie kan een aantal specifieke fotosynthese parameters worden bepaald, waaronder de fotosynthese efficiëntie (α^B) en de lichtverzadigingsparameter (E_k).

De FRRF methode kan continu worden uitgevoerd tijdens het varen. Er zijn systemen beschikbaar die aan boord kunnen worden geplaatst. De metingen om een P/E curve te maken duren ongeveer 20 minuten, waardoor er vaak meerdere P/E curves worden gemaakt in een gebied. De analyse van de gegevens uit de FRRF methode is echter complex en vereisen een zekere mate van expertise. Een kwetsbare factor is dat de kennis in Nederland voornamelijk ligt bij een persoon. Het is van belang dat deze kennis wordt vastgelegd en/of overgedragen.

	Beschrijving	Score
Parameters	GPP en een diverse overige primaire productie parameters	😊
Nauwkeurigheid	Nauwkeurige methode die direct meet op de fysiologie van het fotosynthese systeem.	😊
Toepasbaarheid	Er kan continu worden gemeten tijdens het varen. Dit levert veel gegevens op in de ruimte en de tijd. Analyse van de data vereist expertise. Kalibratie met standaard incubatietechniek (^{13}C of ^{14}C) is te adviseren.	😐
Kosten	Systemen zijn relatief goedkoop en kunnen autonoom meten. Gekwalificeerd personeel hoeft niet per se mee aan boord. Voor analyse gegevens is expertise nodig.	😊

6.3 Resumé

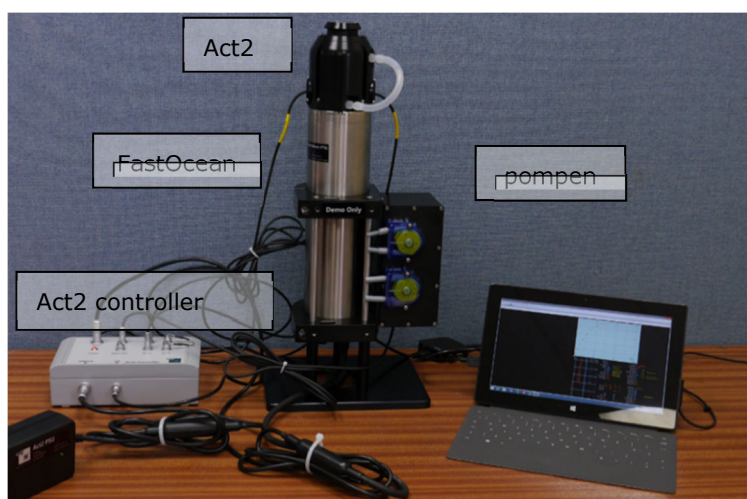
De onderstaande tabel geeft een samenvatting van de scores voor de verschillende methoden

Methode	Parameters	Nauwkeurigheid	Toepasbaarheid	Kosten
CO ₂ incubatie	😊	😞	😞	😊
¹⁴ C fixatie	😊	😊	😊	😊
¹³ C fixatie	😊	😊	😊	😊
O ₂ incubatie	😊	😞	😊	😊
¹⁸ O incubatie	😊	😊	😊	😞
CO ₂ -eddy correlatie	😊	😞	😞	😞
O ₂ /Ar ratio	😊	😊	😊	😞
O ₂ -fourier methode	😊	😊	😊	😊
Licht absorptie	😊	😊	😊	😊
FRRF	😊	😊	😊	😊

7 Plan van aanpak meten primaire productie

7.1 FRRF methode

Op basis van het overzicht dat is gemaakt in de hoofdstuk 6 lijkt de Fast Repetition Rate Fluorometrie (FRRF) methode de meest geschikte methode om primaire productie te meten in de Oosterschelde, Veerse Meer en het Grevelingenmeer. Een voordeel van deze methode is dat er continu kan worden gemeten tijdens de MWTL vaartocht. Deze methode wordt ook als reguliere monitoring reeds toegepast in de Westerschelde voor het meten van primaire productie binnen het MONEOS programma (Kromkamp et al., 2014; Kromkamp, in prep) waardoor er inmiddels ervaring is met het gebruik van deze apparatuur. Een FastOcean/Act2 systeem (e.g. Figuur 15) zou hiertoe kunnen worden geïnstalleerd op een meetschip voor gebruik tijdens de MWTL-ronde in de Oosterschelde, Veerse Meer en het Grevelingenmeer.



Figuur 15: Opstelling voor FastOcean FRRF fluorometer voor het meten van primaire productie. De Act bevat de meetcuvet. Met een van de pompen wordt het monsters de meetcuvet ingebracht. De andere pomp transporteert het koelwater dat de temperatuur constant houdt (uit Kromkamp, in prep).

Tijdens de vaartocht worden continu primaire productie metingen uitgevoerd. Water kan worden opgepompt met een meetvis die achter het schip wordt gesleept. Met dit systeem kan ca. iedere 20 minuten een fotosynthese-lichtcurve (P/E curve) worden geconstrueerd. Productie wordt gemeten in de vorm van het absoluut fotosynthese elektronen transport (ETR, $\text{mmol-elektronen mg-Chla}^{-1} \text{ h}^{-1}$). Om dit om te zetten naar C-fixatie is een schatting voor de elektron-behoefte voor C-fixatie ($\Phi_{e,C}$, $\text{mol-elektronen mol-C}^{-1}$) nodig. Een schatting van $\Phi_{e,C}$ zou kunnen worden verkregen door een aantal kalibraties uit te voeren tijdens de vaartochten waarbij de ^{13}C of de ^{14}C methode kan worden gebruikt. Een concept handleiding voor het gebruik van de FRRF en de bijbehorende software is opgenomen in Kromkamp (in prep).

Tijdens de vaartocht dienen de GPS coördinaten te worden gelogd zodat de individuele metingen (ca 20 per minuut) kunnen worden gekoppeld aan een geografische locatie. De gegevens zouden dan kunnen worden gegroepeerd op basis van deelgebieden (e.g. Figuur 16 tot en met Figuur 18), waardoor de gemiddelde productie per deelgebied kan worden berekend.

De fotosynthese-lichtcurves kunnen worden gebruikt om de totale productie over het jaar te meten. Hiervoor zijn gegevens over de instraling (E_0), extinctiecoëfficiënt (k_d) en de Chl a concentratie nodig (zie paragraaf 2.4). De instraling wordt gemeten op het dak van het NIOZ in Yerseke (PAR) en zijn eventueel af te leiden van de instralingsgegevens van het KNMI. Chl a -concentratie is een parameter die wordt gemeten op vaste meetpunten binnen het MWTL programma van Rijkswaterstaat (zie hoofdstuk 3). De extinctiecoëfficiënt is een moeilijkere parameter. Deze kan direct worden gemeten of is af te leiden uit de turbiditeit, de concentratie zwevend stofgehalte of de secchi diepte (e.g. Malkin et al., 2011) zoals deze binnen het MWTL programma wordt gemeten. Het is echter aan te bevelen om de extinctiecoëfficiënt ook continu te meten tijdens de vaartocht. Dit kan met behulp van een PAR-lichtsensor op de meetvis en een PAR-lichtsensor op het schip. Als de diepte ($z \approx 0.4$ m) van de meetvis onder het wateroppervlak bekend is middels een druksensor kan de extinctie coëfficiënt worden berekend uit het verschil in instraling op het schip (E_0) en de instraling op de meetvis (E_z) op diepte z , met behulp van de wet van Lambert-Beer.

7.2 Kalibratie

Voor de kalibratie zouden een aantal keer per jaar incubaties worden uitgevoerd met de ^{13}C -methode of de ^{14}C -methode. De ^{13}C -methode is iets minder gevoelig dan de ^{14}C -methode. Echter voor de ^{14}C -methode dienen de monsters naar het lab te worden getransporteerd, terwijl de ^{13}C -methode direct in het veld kan worden uitgevoerd. Voor de ^{14}C methode zouden er watermonsters moeten worden verzameld tijdens de tocht en deze monsters zouden zo snel mogelijk gekoeld naar het lab dienen te worden getransporteerd waar de monsters zouden kunnen worden geïncubeerd na toevoeging van radio-actief C in de vorm van bicarbonaat. De ^{13}C methode zou direct aan boord kunnen worden uitgevoerd door in het veld ^{13}C in de vorm van bicarbonaat aan het monster toe te voegen. De monsters dienen daarna te worden geconserveerd waarna ze kunnen worden geanalyseerd op het lab. Het is van belang dat er gekwalificeerd personeel mee gaat tijdens de vaartocht om de incubaties uit te voeren.

De incubaties dienen bij verschillende lichtsterktes te worden uitgevoerd (e.g. 11 lichtsterktes variërend van 0 tot 810 $\mu\text{mol fotonen m}^{-2} \text{s}^{-1}$) om een fotosynthese-lichtcurve op te kunnen stellen. Om de respiratie van het gelabelde koolstof te beperken dienen de incubaties niet langer te duren dan 2 uur. De fotosynthese-lichtcurves kunnen worden vergeleken met de P/E-curves die zijn gemaakt door middel van de FRRF-methode. In de Oosterschelde zou voor de kalibratie aanvullend gebruik kunnen worden gemaakt van de ^{14}C -metingen die sinds 2018 door het NIOZ worden uitgevoerd op de Yerseke bank.

7.3 Reconstructie primaire productie

Voor de Oosterschelde zijn er schattingen van primaire productie beschikbaar voor de periode van 1991 tot en met 2012. Voor het Veerse Meer en het Grevelingenmeer zijn er tot op heden nog geen metingen uitgevoerd. Als de metingen in de Oosterschelde weer worden opgepakt zouden de tussenliggende jaren (2013 tot nu) eventueel kunnen worden gereconstrueerd op basis van de gemeten parameters van E_0 (instraling), k_d (extinctiecoëfficiënt) en Chl a (c.f. Malkin et al., 2011; Kromkamp, in prep).

Voor het Grevelingenmeer en het Veerse Meer dient er eerst een analyse te worden uitgevoerd met de primaire productie getallen om te onderzoeken of er een relatie bestaat tussen primaire productie en de parameters E_0 , k_d en Chl a .

7.4 Databeheer en -analyse

Tijdens de metingen worden een groot aantal primaire data verzameld. Van belang is dat de primaire data (datafiles FRRF, GPS-tracks, metingen incubaties) op een dusdanige manier wordt opgeslagen dat deze kunnen worden geraadpleegd. Uit deze primaire data worden diverse secundaire data

afgeleid die uiteindelijk leiden tot de schatting van de primaire productie op dat moment ($\text{mg-C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) of over het jaar ($\text{g-C m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$). Dit is specialistisch werk waarbij op basis van kennis en ervaring verschillende keuzes dienen te worden gemaakt. Om de gemaakte keuzes te kunnen herleiden is het van belang dat deze worden gedocumenteerd in overzichtelijke R-scripts.

De FRRF metingen leiden tot fluorescentie-inductie curves bij 10 verschillende lichtsterktes en een fluorescentie-licht curve. Bij iedere lichtsterkte wordt de productie gemeten volgens het absorptie algoritme (zie Bijlage 1). In Tabel 2 is weergegeven welke data er van iedere (gemiddelde) fluorescentie-inductie curve in ieder geval dient te worden opgeslagen in een database.

Tabel 2: Afgeleide data van de fluorescentie-inductie curves die minimaal dienen te worden opgeslagen.

Parameter	Eenheid	Omschrijving
ID	-	Uniek ID van de meting
Loc_ID	-	Uniek ID van de locatie
X_coord	M	X-coördinaat meting (RD)
Y_coord	m	Y-coördinaat meting (RD)
Tijdstip	-	Moment van de meting.
λ	nm	Golflengte
E	$\mu\text{mol fotonen m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Lichtsterkte
a_{LHI}	m^{-1}	Optische absorptie coëfficiënt
F_v/F_m	-	Maximale kwantum efficiëntie
σ_{PSII}	$\text{nm}^2 \text{ foton}^{-1} \text{ PSII}^{-1}$	Functionele absorptiedoorsnede
JV_{PII}	$\text{mmol e}^- \text{ m}^{-3} \text{ h}^{-1}$	Fotosynthetisch elektronen transport
P	$\text{mg-C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$	C-fixatie

De fluorescentie-inductie curves leiden voor iedere GPS locatie tot één fluorescentie-licht curve. Uit deze fluorescentie-licht curve worden een aantal klassieke fotosynthese parameters geschat zoals de maximale productie (P_{max}^B), de fotosynthese efficiëntie (α^B) en de lichtverzadigingsparameter (E_k) (zie Tabel 3). Hiervoor kan het R-package "phytotoools" worden gebruikt. Deze parameters worden gemiddeld per locatie/deelgebied en deze gemiddelden worden gebruikt voor de berekening van de dagproducties.

Tabel 3: Afgeleide data van de fluorescentie-lichtcurves die minimaal dienen te worden opgeslagen.

Parameter	Eenheid	Omschrijving
Loc_ID	-	Uniek ID van de locatie
X_coord	m	X-coördinaat meting (RD)
Y_coord	m	Y-coördinaat meting (RD)
Tijdstip	-	Moment van de meting.
P_{max}^B	$\text{mg-C mg-Chla}^{-1} \text{ h}^{-1}$	Maximale productie
α^B	$\text{mg-Chla}^{-1} \text{ h}^{-1} (\mu\text{mol-fotonen m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$	Fotosynthese efficiëntie
E_k	$\mu\text{mol-fotonen m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Lichtverzadigingsparameter
Chla	mg-Chla m^{-3}	Geïnterpoleerde Chlorofyll-a concentratie in betreffend deelgebied
E_0	$\mu\text{mol-fotonen m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Instraling (PAR) aan wateroppervlak
k_d	m^{-1}	Gemeten extinctiecoëfficiënt op de betreffende locatie uit verschil
GPP	$\text{mg-C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	Berekende bruto primaire productie

Om de primaire productie op een bepaalde locatie af te leiden uit de fluorescentie-licht curve is aanvullende informatie nodig over instraling aan het wateroppervlak (E_0), de Chla-concentratie en de extinctiecoëfficiënt (k_d). Voor de Chla-concentratie kan gebruik worden gemaakt van de gemeten of geïnterpoleerde MWTL data binnen hetzelfde deelgebied. De E_0 (in PAR) wordt gemeten door het NIOZ in Yerseke en wordt opgeslagen in een apart databestand. Indien de extinctiecoëfficiënt (k_d) continu

wordt gemeten tijdens de vaartocht dienen de volgende parameters te worden opgeslagen in een apart bestand: coördinaat, tijdstip, E_0 , E_z .diepte van de vis (z).

Ten slotte zal er op basis van de metingen een schatting worden gemaakt voor de jaarproductie ($g-C m^{-2} jaar^{-1}$) per deelgebied (Figuur 16 tot en met Figuur 18). En voor de gehele bekkens. Deze berekeningen zijn van belang voor de draagkrachtberekeningen voor schelpdieren.

7.5 Onderzoeksgebieden

Het is de bedoeling dat de FRRF meting wordt uitgevoerd tijdens de vaartocht van en naar de MWTL locaties (zie Figuur 16 tot en met Figuur 18). Doordat iedere ca 20 minuten leidt tot een meting, levert dit een groot aantal metingen op, afhankelijk van de route en snelheid van het schip. Door deze per deelgebied te middelen kan een schatting van de primaire productie per deelgebied worden gemaakt. In de volgende paragrafen is een voorstel voor de indeling in deelgebieden gemaakt. Indien nodig zou deze indeling later ook nog kunnen worden aangepast.

7.5.1 Grevelingenmeer

Het Grevelingenmeer is in drie deelgebieden opgedeeld (Figuur 16). In ieder deelgebied ligt een MWTL punt. De locatie Dreischor wordt iets vaker bemonsterd dan de locaties Herkingen en Scharendijke tijdens de MWTL.



Figuur 16: Overzicht van de voorgestelde deelgebieden in het Grevelingenmeer. Aangegeven zijn ook de ligging van de relevante meetlocaties van het MWTL programma in dit gebied (Scharendijke, Dreischor en Herkingen).

7.5.2 Oosterschelde

De Oosterschelde is ingedeeld in de 4 klassieke deelgebieden (West, Midden, Noord en Kom, Figuur 17). In het deelgebied Midden ligt geen MWTL monitoringspunt. Er wordt tijdens de MWTL meting wel doorheen gevaren zodat er wel primaire productiemetingen kunnen worden uitgevoerd. Voor overige parameters (k_d , Chla) zouden aannames dienen te worden gemaakt voor dit deelgebied.



Figuur 17: Overzicht van de voorgestelde deelgebieden in de Oosterschelde. Aangegeven zijn ook de ligging van de relevante meetlocaties van het MWTL programma in dit gebied (Wissenkerke, Zijpe en Lodijkse Gat).

7.5.3 Veerse Meer

Het kleinere Veerse Meer is niet opgedeeld in verschillende deelgebieden (Figuur 18). Dit omdat er slechts één MWTL punt in het meer ligt. Het is wel aan te bevelen dat de boot wel doorvaart naar het westelijk deel van het meer (tot aan de Veerse Gatdam) om ook FRRF-metingen in dit deel van het meer te verkrijgen.



Figuur 18: Overzicht van deelgebied Veerse Meer. Aangegeven is de ligging van de relevante meetlocatie van het MWTL programma in dit gebied (Soelekerkepolder Oost).

7.6 Tijdsplanning

De primaire productiemetingen zullen gelijktijdig worden uitgevoerd met de MWTL metingen voor nutriënten en eutrofiëringsparameters. In de zomerperiode (april tot en met augustus) zullen de

metingen tweewekelijks worden uitgevoerd en in de winterperiode (september tot en met maart) zal dit maandelijks gebeuren. In totaal dus ongeveer 19 keer per jaar.

In de Oosterschelde kan waarschijnlijk worden volstaan met twee kalibratiemetingen (^{13}C of ^{14}C) per jaar. Eén meting zal worden uitgevoerd in april (voorjaarsbloei) en één meting zal worden uitgevoerd in augustus (najaarsbloei). In het verleden (1991 - 2012) zijn in de Oosterschelde reeds een groot aantal ^{14}C metingen uitgevoerd die kunnen worden gebruikt. Tevens kan er mogelijk gebruik worden gemaakt van recentere ^{14}C metingen die worden uitgevoerd bij de meetpaal op de Yerseke bank. Voor het Veerse Meer en het Grevelingenmeer kan waarschijnlijk niet worden volstaan met twee kalibratiemetingen per jaar en is het beter om in ieder geval het eerste jaar vier kalibratiemetingen uit te voeren in beiden bekkens (april, juni, augustus en oktober). Op basis van de resultaten kan vervolgens worden besloten om de frequentie al dan niet terug te brengen naar 2 keer per jaar (april en augustus). De kalibratiemetingen zullen in ieder geval 3 jaar worden voortgezet. Op basis van het vergelijk tussen FRRF en incubaties kan worden besloten om de kalibratiemetingen al dan niet voort te zetten.

7.7 Kosten

De kosten per jaar voor de primaire productiemetingen worden, voor alle drie de bekkens samen, geraamd op ongeveer 85 - 100 k€ per jaar (Tabel 4). Omdat een groot deel van de kosten zitten in de dataverwerking en -analyse zal het schrappen van een bekken leiden tot een beperkte kostenreductie (aanzienlijk minder dan 33% .Er is bij deze raming aangenomen dat de metingen zelfstandig kunnen worden uitgevoerd door de bemanning van Rijkswaterstaat tijdens de MWTL survey. De kosten van de boot en de bemanning zijn daarom ook niet meegenomen in de kostenraming. Ook is ervan uitgegaan dat het FRRF meetsysteem dat voor de Westerschelde wordt gebruikt ook kan worden toegepast voor de metingen in de Oosterschelde, Grevelingenmeer en het Veerse Meer. Indien dit logistiek niet mogelijk is zou er een tweede FRRF meetsysteem, en mogelijk ook een meetvis, dienen te worden aangeschaft. Omdat het aantal kalibratiemetingen na het eerste jaar mogelijk zou kunnen afnemen zouden de kosten per jaar dan ook minder kunnen worden. De genoemde raming kan door RWS worden gebruikt als richtbedrag. Voor een meer gedetailleerde schatting dient er een offerte te worden opgesteld waarin de activiteiten in meer detail zullen worden beschreven en waarmee een meer gedetailleerde begroting kan worden opgesteld. Aan de hier gepresenteerde kostenraming kunnen derhalve geen rechten worden ontleend.

Tabel 4: Indicatie kosten primaire productiemetingen per jaar.

Onderdeel	Kosten (k€)
Voorbereiding	3-5
Uitvoeren metingen	- (RWS)
Incubaties	20
Dataverwerking	50-55
Rapportage	5
Materiaal/onderhoud*	7-15
Totaal	85-100

*: Hierbij is geen rekening gehouden met de aanschaf van een tweede systeem

7.8 Resultaat

Het resultaat van de monitoring is een schattingen van de primaire productie door het jaar heen ($\text{mg-C m}^{-2} \text{d}^{-1}$) en de totale productie over het hele jaar ($\text{g-C m}^{-2} \text{jaar}^{-1}$) voor de genoemde deelgebieden van de Oosterschelde, het Grevelingenmeer en het Veerse Meer. Deze schattingen zijn gebaseerd op een groot aantal P/E curves op locaties waar het meetschip tijdens de vaartocht heeft gevaren (Figuur 16, Figuur 17 en Figuur 18).

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

De fast repetition rate fluorometrie (FRRF) methode lijkt de meest geschikte methode om primaire productiemetingen op te pakken binnen het reguliere MWTL monitoringsprogramma in de Oosterschelde, Veerse Meer en het Grevelingenmeer. Deze methode is inmiddels zo ver ontwikkeld dat het in het kader van de operationele monitoring kan worden toegepast. In de Westerschelde wordt deze monitoring reeds toegepast in het kader van het MONEOS programma (Kromkamp, in prep). Additionele data zijn vereist om de FRRF metingen te kunnen integreren over de diepte, tijd en ruimte. Deze additionele data worden min of meer gedekt binnen de bestaande monitoringsprogramma's. Frequentere metingen van de Chla concentratie en de extinctiecoëfficiënt, zowel in de ruimte als in de tijd, zal van nut zijn voor het berekenen van primaire productie op systeemniveau.

De FRRF methode is te integreren in het reguliere MWTL programma van Rijkswaterstaat, waarbij tweewekelijks tot maandelijks monsters worden genomen op vaste meetpunten in de Oosterschelde, Veerse Meer en het Grevelingenmeer (zie Figuur 16, Figuur 17 en Figuur 18). De analyse van de gegevens is echter niet eenvoudig en vereist de nodige expertise. Het NIOZ in Yerseke heeft deze expertise.

Primaire productie is een belangrijke, maar zeker niet de enige variabele die van belang is voor de draagkracht van een systeem voor schelpdieren. Andere processen van belang zijn de graasdruk en de verversing van het water. Een afname in de primaire productie kan een indicatie zijn van overbegrazing door schelpdieren. In het verleden (1991 tot en met 2012) zijn primaire productiemetingen uitgevoerd in de Oosterschelde door het NIOO-CEME (thans NIOZ). De resultaten van deze metingen laten zien dat de primaire productie in dit gebied is afgenomen van 319 g-C m⁻² jaar⁻¹ in 1995 tot 155 g-C m⁻² jaar⁻¹ in 2009 (Smaal et al., 2013). Het is niet duidelijk of deze trend zich na 2010 verder heeft doorgezet vanwege het ontbreken van verdere gegevens.

Het aandeel van benthische primaire productie aan de totale primaire productie in de Oosterschelde is waarschijnlijk minder dan 25%. Lokaal, op de droogvallende slikken en platen, is het aandeel van benthische primaire productie aanzienlijk groter. Kokkels op de slikken en platen en daarmee ook de steltlopers die foerageren op deze kokkels zijn in grote mate afhankelijk van deze benthische primaire productie. Ook mosselen op de kweekpercelen langs de plaatranden kunnen voor hun voedselvoorziening in belangrijke mate afhankelijk zijn van het microfytobenthos dat tijdens de eb van de platen afspoelt. In het Grevelingenmeer en het Veerse Meer is het belang van benthische primaire productie beperkt. Mogelijk gaat het belang van benthische primaire productie in het Grevelingenmeer toenemen met het terugbrengen van het getij in dit gebied door middel van een doorlaat in de Brouwersdam.

Naast het belang voor de draagkracht kan de primaire productie ook een indicatie zijn voor het ecologisch functioneren van het systeem. Doordat fytoplankton de basis vormt van het voedselweb zal een hoge primaire productie over het algemeen ook een grotere biomassa aan hogere trofische niveau's kunnen onderhouden. Ook voor de kalibratie en validatie van modellen kan primaire productie, meer nog dan de algenconcentratie, van belang zijn omdat de laatste de resultante is van verschillende processen (primaire productie en graasdruk).

8.2 Aanbevelingen

Naast de primaire productie middels de FRRF methode zouden ter kalibratie, minimaal gedurende de eerste drie jaren ook nog incubaties dienen te worden uitgevoerd middels de ¹⁴C- of de ¹³C-methode. In de Oosterschelde hoeft dit minder vaak (2 keer per jaar) omdat er in het verleden reeds een groot

aantal incubaties zijn uitgevoerd. In het Grevelingenmeer en het Veerse Meer is waarschijnlijk 4 keer per jaar noodzakelijk, in ieder geval in het eerste jaar. Op basis van de resultaten kan worden besloten om de frequentie al dan niet terug te brengen naar 2 keer per jaar. De keuze van ^{14}C - of de ^{13}C incubaties hangt voornamelijk af van de logistiek en de hierbij gemoeide kosten. Voor de ^{13}C methode dient gekwalificeerd personeel mee te varen tijdens de bemonstering. Bij de ^{14}C methode is het zaak dat de monsters snel op het lab kunnen worden geïncubeerd. Het voorstel is om beide keuzes te laten uitwerken in de offerte door de potentiële aannemer.

Er is vanuit gegaan dat de apparatuur die wordt gebruikt bij de primaire productie metingen in de Westerschelde in het kader van het MONEOS programma ook kunnen worden gebruikt voor de primaire productiemetingen in de Oosterschelde, Grevelingenmeer en het Veerse Meer. Er zou echter eerst dienen te worden uitgezocht of dat kwa logistiek mogelijk is. Het is slimmer om een tweede FRRF systeem (en meetvis) aan te schaffen voor de metingen in de Oosterschelde, Veerse Meer en Grevelingenmeer. Dan is er tevens een back-up te hebben als een van de systemen in onderhoud is.

De expertise voor het meten van primaire productie met behulp van de FRRF in Nederland zit voornamelijk bij het NIOZ, in het bijzonder bij een persoon, Jacco Kromkamp. Dit is kwetsbaar en niet altijd efficiënt omdat Jacco ook tal van andere werkzaamheden heeft. Ondersteuning van Jacco bij de analyse van de gegevens en de rapportage van de resultaten is van groot belang. Dit kan binnen NIOZ worden geregeld of door samenwerking met een andere kennispartner. In dat laatste geval is een goede communicatie tussen Jacco en de kennispartner maar ook met Rijkswaterstaat van groot belang. Hierdoor komt er meer capaciteit vrij voor het werk en wordt kennis overgedragen op meerdere personen.

Voor de aanvang van de metingen zou er een gedetailleerd protocol dienen te worden gemaakt waarin de stappen worden beschreven. Het gaat daarbij niet alleen om de uitvoering van de metingen maar ook om de verwerking van de data en de dataopslag.

De extinctiecoëfficiënt is een belangrijke parameter om primaire productie te kunnen integreren over de waterkolom, tijd en ruimte. Deze parameter wordt, net als andere parameters zoals $\text{Chl}a$ en zwevend stof, slechts beperkt (tweewekelijks tot maandelijks op een beperkt aantal locaties) gemeten tijdens het reguliere MWTL programma. Er zou moeten worden uitgezocht wat de mogelijkheden zijn om deze parameters frequenter in de tijd en ruimte (maar ook over de verticaal in de waterkolom) te meten. Tevens is het aan te bevelen om de extinctiecoëfficiënt continu te meten tijdens de vaartocht. Dit kan met behulp van een PAR-lichtsensor op de meetvis en een PAR-lichtsensor op het schip. De extinctiecoëfficiënt kan dan (continu) worden berekend uit het verschil in instraling tussen beide meters.

Het voorjaar is de belangrijkste periode voor de primaire productie. Een volledig meetjaar is niet meer mogelijk voor 2019. Het is aan te bevelen om in 2019 wel alvast te beginnen met pilot metingen in de Oosterschelde zodat er in 2020 over het hele jaar kan worden gemeten.

In 2018 is het NIOZ gestart met primaire productiemetingen in de Oosterschelde middels de O_2 fourier methode op een vaste locatie bij de Yerseke bank. Deze methode is veelbelovend. Het is van belang om de resultaten hiervan nauwlettend te blijven volgen. De analyse van de data is complex en hiermee moet ervaring worden opgebouwd voordat deze kan worden geautomatiseerd. Ook kunnen de resultaten worden vergeleken met de primaire productiemetingen met de FRRF-methode. Indien blijkt dat deze methode goed werkt zouden er op meerdere locaties meetsystemen kunnen worden uitgezet voor de O_2 fourier methode.

Omdat de pelagische primaire productie in de drie bekkens aanzienlijk belangrijker is dan de benthische primaire productie wordt aanbevolen om prioriteit te geven aan het monitoren van pelagische primaire productie. Indien deze monitoring is geïmplementeerd zou er middels een pilot kunnen worden gekeken of het opportuun is om ook benthische primaire productie te gaan meten in één of meer van deze bekkens.

Draagkracht is een generiek thema waaronder monitoring en kennisontwikkeling kunnen worden samengebracht. Om zinnige uitspraken te kunnen doen over draagkracht is een goede systeemkennis, bijvoorbeeld in de vorm van modellen, vereist. Tevens worden onder het thema draagkracht verschillende type data (e.g. MWTL en WOT) samengebracht en kunnen essentiële leemtes in kennis worden geïdentificeerd. Een goed voorbeeld hiervan is het ontbreken van primaire productiemetingen dat vanuit draagkrachtonderzoek is geadresseerd. De werkgroep draagkracht binnen het visserij initiatief zeeland (VIZ) zou een rol kunnen spelen in het afstemmen van kennis en data waardoor beleidsvragen op dit vlak effectief kunnen worden geadresseerd.

9 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 NEN-EN-ISO/IEC 17025:2005 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 1 april 2021 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 bekwame 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

- Barnes, M. K., G. Tilstone, T. Smyth, D. J. Sugget, R. Astoreca, C. Lancelot en J. C. Kromkamp (2014) Absorption-based algorithm of primary production for total and size-fractionated phytoplankton in coastal waters. *Marine Ecology Progress Series* 504: 73-89.
- Bender, M., K. Grande, K. S. Johnson, J. Marra, P. J. I. Williams, J. Sierburth, M. E. Q. Pilon, C. Langdon, G. Hitchcock, J. Orchardo, C. Hunt, P. Donaghay en K. Heinemann (1987) A comparison of four methods for determining planktonic community production. *Limnology and Oceanography* 32: 1085-1098.
- Cloern, J. E., C. Grenz en L. Videgar-Lucas (1995) An empirical model of phytoplankton chlorophyll:carbon ratio - the conversion factor between productivity and growth rate, Rapport.
- Consalvey, M., R. G. Perkins, D. M. Paterson en G. J. C. Underwood (2005) PAM fluorescence: A beginners guide for benthic diatomists. *Diatom Research* 20: 1-22.
- Cox, T. J. S., T. Maris, K. Soetaert, J. C. Kromkamp, P. M. Meire en F. Meysman (2015) Estimating primary production from oxygen time series: A novel approach in the frequency domain. *Limnology and Oceanography: Methods* 13: 529-552.
- Dame, R. F. en T. C. Prins (1998) Bivalve carrying capacity in coastal ecosystems. *Aquatic Ecology* 31: 409-421.
- De Jong, D. J., P. H. Nienhuis en B. J. Kater (1994) Microphytobenthos in the Oosterschelde estuary (The Netherlands), 1981-1990; consequences of a changed tidal regime. *Hydrobiologia* 282/283: 183-195.
- De Jong, D. J. en V. N. De Jonge (1995) Dynamics and distribution of microphytobenthic chlorophyll-a in the Western Scheldt estuary (SW Netherlands). *Hydrobiologia* 311: 21-30.
- Eilers, P. H. C. en J. C. H. Peeters (1988) A model for the relationship between light intensity and the rate of photosynthesis in phytoplankton. *Ecological Modelling* 42: 199-215.
- Glud, R. N., M. Kühl, O. Kohls en N. B. Ramsing (1999) Heterogeneity of oxygen production and consumption in a photosynthetic microbial mat as studied by planar optodes. *Journal of Phycology* 35: 270-279.
- Herman, P. M. J., J. J. Middelburg, J. Van De Koppel en C. H. R. Heip (1999) Ecology of estuarine macrobenthos. *Advances in Ecological Research* 29: 195-240.
- Inglis, G. J., B. J. Hayden en A. H. Ross (2000) An overview of factors affecting the carrying capacity of coastal embayments for mussel culture. NIWA, Rapport nummer: Client Report: CHC00/69, 38 pagina's.
- Kamermans, P., C. J. Smit, J. W. M. Wijsman en A. C. Smaal (2014) Meerjarige effect- en productiemetingen aan MZI's in de Westelijke Waddenzee, Oosterschelde en Voordelta. Samenvattend eindrapport. IMARES, Rapport nummer: C191/13, 93 pagina's.
- Kamermans, P. en M. Van Asch (2018) Monitoring draagkracht voor schelpdieren in relatie tot opschaling MZIs in de Waddenzee en de Oosterschelde. Wageningen Marine Research, Rapport nummer: C043/18, 33 pagina's.
- Kesteloo, J. J. (2006) Kokkelgroei en overleving in de zomerperiode in de Westerschelde. Wageningen IMARES, Rapport nummer: C055/06, 20 pagina's.
- Kromkamp, J., J. Peene en J. Vlaming (2014) Primaire productie in de Westerschelde 2010-2013. Eindrapport. NIOZ, Rapport, 96 pagina's.
- Kromkamp, J., E. Capuzzo en C. J. M. Philippart (2017) Measuring phytoplankton primary production: review of existing methodologies and suggestions for a common approach. EcApRHA Deliverable WP 3.2. NIOZ, Rapport nummer: EcApRHA 3.2/2017, 24 pagina's.
- Kromkamp, J. C. en C. J. M. Philippart (2015) Primaire productie in het waddengebied: meten en berekenen. NIOZ, Rapport, 64 pagina's.
- Kromkamp, J. C. (in prep) Primaire productie in de Westerschelde in 2016 bepaald m.b.v. de Fast Repetition Rate fluorometrie techniek MONEOS voortgangsrapport 2016. NIOZ, Rapport, 64 pagina's.
- Luz, B. en E. Barkan (2009) Net and gross oxygen production from O₂/Ar, ¹⁷O/¹⁶O and ¹⁸O/¹⁶O ratios. *Aquatic Microbial Ecology* 56: 133-145.
- 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.
- Odum, H. T. (1956) Primary production in flowing waters. *Limnology and Oceanography* 1: 102-117.

-
- Rappoldt, C., M. Kersten, B. J. Ens en J. W. M. Wijsman (2006) Scholeksters en de droogvalduur van kokkels in de Oosterschelde. Modelberekeningen voor de periode 1990-2045 aan het effect van zandhonger en zeespiegelstijging op het aantal scholeksters. EcoCurves, Rapport nummer: 2, 51 pagina's.
- Rijkswaterstaat (2015) MWTL Meetplan 2016. Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands. Milieumeetnet Rijkswateren chemie en biologie. Rijkswaterstaat, Rapport, 272 pagina's.
- Smaal, A. C. en M. R. Van Stralen (1990) Average annual growth and condition of mussels as a function of food source. *Hydrobiologia* 195: 179-188.
- Smaal, A. C., J. W. M. Wijsman en M. Van Stralen (2010) Mussel culture and subtidal mussel stock management in the western Wadden Sea: are exploitation and conservation compatible? *Wadden Sea Ecosystems* 26: 95-100.
- Smaal, A. C., T. Schellekens, M. R. Van Stralen en J. C. Kromkamp (2013) Decrease of the carrying capacity of the Oosterschelde estuary (SW Delta, NL) for bivalve filter feeders due to overgrazing? *Aquaculture* 404-405: 28-34.
- Smaal, A. C. en J. W. M. Wijsman (2014) Kansen voor schelpdiercultuur in Grevelingen en Volkerak-Zoommeer bij ander waterbeheer. IMARES, Rapport nummer: C045/14, 32 pagina's.
- 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.
- Stapel, J. en D. J. De Jong (1998) Ontwikkelingen in de biomassa van het microfytobenthos in de Oosterschelde en Westerschelde in de periode 1981-1996. RIKZ, Rapport nummer: RIKZ-98.023, 57 pagina's.
- Tangelder, M., J. W. M. Wijsman, J. Janssen, A. J. Nolte, B. Walles en T. Ysebaert (2018) Scenariostudie natuurperspectief Grevelingenmeer. Wageningen Marine Research, Rapport nummer: C021/18, 164 pagina's.
- Underwood, G. J. C. en J. Kromkamp (1999) Primary production by phytoplankton and microphytobenthos in estuaries. *Advances in Ecological Research* 29: 93-153.
- Van Zanten, E. en L. A. Adriaanse (2008) Verminderd getij. Een verkenning naar mogelijke maatregelen om het verlies van platen, slikken en schorren als gevolg van de zandhonger te beperken. RWS Zeeland, Rapport, 56 pagina's.
- Winkler, L. W. (1888) Die Bestimmung des im Wasser gelösten Sauerstoffes. *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft* 21: 2843-2854.
- Witteveen en Bos (2012) MIRT Verkenning Grevelingen. Milieueffectrapport. Witteveen & Bos, Rapport, 55 pagina's.
- Zemmelink, H. J., H. A. Slagter, C. Van Slooten, J. Snoek, B. Heusinkveld, J. Elbers, N. J. Brink, W. Klaasen, C. J. M. Phillippart en H. J. W. De Baar (2009) Primary production and eddy correlation measurements of CO₂ exchange over an intertidal estuary. *Geophysical Research Letters* 36: L19606.

Verantwoording

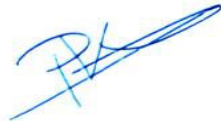
Rapport C022/19

Projectnummer: 4313100093

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: Pauline Kamermans
Senior onderzoeker

Handtekening:



Datum: 6 maart 2019

Akkoord: Tammo Bult
Directeur Wageningen Marine Research

Handtekening:



Datum: 6 maart 2019

Bijlage 1 Fast Repetition Rate Fluorometrie (FRRF)

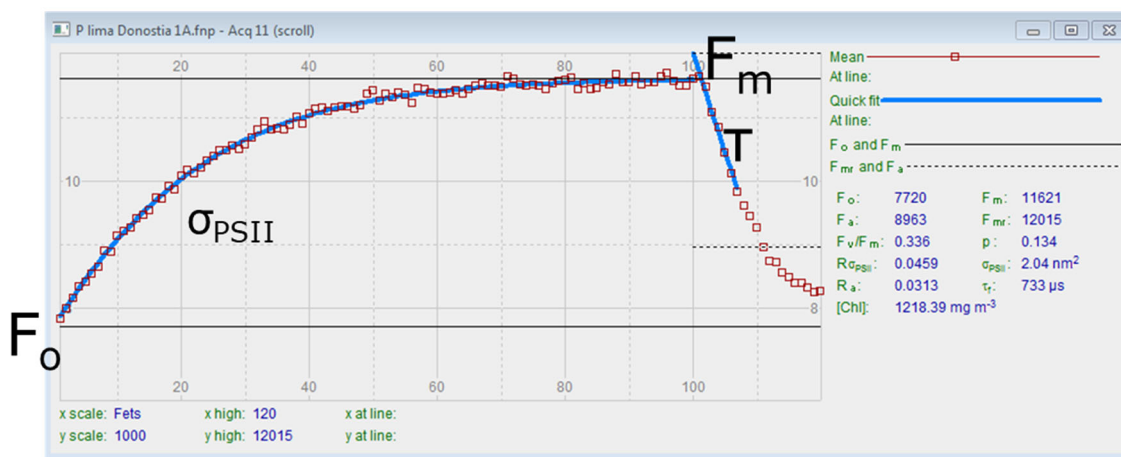
De Fast Repetition Rate Fluorometrie (FRRF) methode voor het meten van primaire productie maakt gebruik van de fluorescentie van het geabsorbeerde licht tijdens het proces van fotosynthese.

Er zijn drie processen mogelijk met de fotonen die door het Chl_a worden geabsorbeerd:

- Het foton wordt gebruikt voor fotochemie (efficiëntie ϕ_p)
- Het foton wordt gebruikt voor fluorescentie (efficiëntie ϕ_f)
- De energie van het foton gaat verloren in de vorm van warmte (efficiëntie ϕ_H)

De som van deze processen ($\phi_p + \phi_f + \phi_H$) is 1, dus als een van de processen toeneemt zullen de andere afnemen. Bij een overmaat van licht zal het reactiecentrum van PSII worden gesloten waardoor de ϕ_p afneemt naar nul, en derhalve de fluorescentie efficiëntie (ϕ_f) toeneemt.

Fluorescentie kan derhalve worden gemeten met behulp van Fast Repetition Rate Fluorometrie (FRRF) en Pulse Amplitude Modulation (PAM). Hierbij worden één (PAM) of meerdere (FRRF) korte pulsen van verzadigend licht gegeven waardoor het reactiecentrum van PSII wordt gesloten en de fluorescentie toeneemt tot zijn maximum. In Figuur 1-1 staat een voorbeeld van een fluorescentie-inductie curve die is gemeten met een FRRF (Kromkamp en Philippart, 2015).



Figuur 1-1: Voorbeeld van een fluorescentie-inductie curve gemeten met een FRRF. Op de x-as staan het aantal flitsen (eerste 100 flitsen duren 200 μ s). Daarna worden er een aantal flitsen gegeven met grotere tussenpozen ($\sim 50\mu$ s) (uit: Kromkamp en Philippart, 2015).

Met de FRRF techniek worden in korte tijd (ca 200 μ s) een 100-tal korte (1 μ s) pulsen van licht gegeven waardoor tijdelijk de reactiecentra (RCII) van PSII worden gesloten en de fluorescentie toeneemt tot de maximale waarde (zie Figuur 1-1). Vervolgens worden er een aantal flitsen gegeven met een groter tijdsinterval (ca 60 μ s) om te kinetiek van het weer openen van RCII te meten. Dit proces is te zien in de afname van de fluorescentie na de 100 pulsen (Figuur 1-1). De meting kan worden uitgevoerd bij verschillende golflengtes en intensiteiten. Voor Chl_a wordt doorgaans blauw licht (450 nm) gebruikt. Door de meting een aantal malen te herhalen bij dezelfde lichtintensiteit wordt een gemiddelde fluorescentie-inductiecurve verkregen. Door de meting uit te voeren bij verschillende lichtintensiteiten (variërend tussen 0 en ca 800 μ mol fotonen m⁻² s⁻¹) kan een Fluorescence Light Curve (FLC) worden geconstrueerd waaruit een aantal specifieke parameters kunnen worden afgeleid.

Uit de fluorescentie-inductiecurves kunnen een aantal parameters worden bepaald die gebruikt kunnen worden om uiteindelijk de primaire productie te berekenen. Een hiervan is de functionele absorptiedoorsnede (σ_{PSII} , $\text{nm}^2 \text{ foton}^{-1} \text{ PSII}^{-1}$). Deze parameter, verkregen uit de kinetiek van de overgang van F_0 naar F_m is een coëfficiënt die aangeeft hoeveel van het geabsorbeerde licht wordt gebruikt voor de fotosynthese activiteit in PSII.

Een andere parameter die kan worden bepaald met de FRRF-methode is de maximale kwantum efficiëntie (F_v/F_m). Deze parameter wordt vaak gebruikt als stress indicator. Stress kan optreden bij algen als gevolg van nutriëntenlimitatie, foto-inhibitie, UV schade en blootstelling aan herbiciden (Kromkamp et al., 2014).

Er zijn verschillende algoritmes beschikbaar om de primaire productie te berekenen uit de parameters die worden verkregen uit de fluorescentie-inductie curves en de fluorescentie licht curve.

Absorptie algoritme

Het absorptie algoritme maakt gebruik van de optische absorptie coëfficiënt (a_{LIII} , m^{-1}) van alle PSII-eenheden in een m^3 water die kan worden berekend uit de parameters van de fluorescentie-inductiecurve:

$$a_{LIII} = \frac{(F_m \cdot F_0)}{(F_m - F_0)} \cdot K_a$$

Hierbij is K_a een instrument type afhankelijke kalibratiefactor voor de conversie van fluorescentie naar absorptie. Met de optische absorptie coëfficiënt kan het fotosynthetische elektrontransport (JV_{PII} , mol elektronen PSII $\text{m}^{-3} \text{ d}^{-1}$) worden berekend door a_{LIII} te vermenigvuldigen met de lichtintensiteit (E) en de effectieve kwantum efficiëntie van PSII (F'_q/F'_m) die kan worden herleidt uit de fluorescentie-inductiecurve.

$$JV_{PII} = a_{LIII} \cdot E \cdot \frac{F'_q}{F'_m} \cdot CF$$

Hierbij is CF een conversiefactor om het aantal fotonen per seconde om te zetten in mol elektronen per uur. Om het fotosynthetische elektrontransport (JV_{PII}) om te rekenen naar C-fixatie eenheden (P , $\text{mg-C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$) is de elektronbehoefte voor C-fixatie ($\Phi_{e,C}$, mol elektronen mol-C^{-1}) en de molmassa van C (12 g mol^{-1}) nodig:

$$P = \frac{JV_{PII}}{\Phi_{e,C}} \cdot 12$$

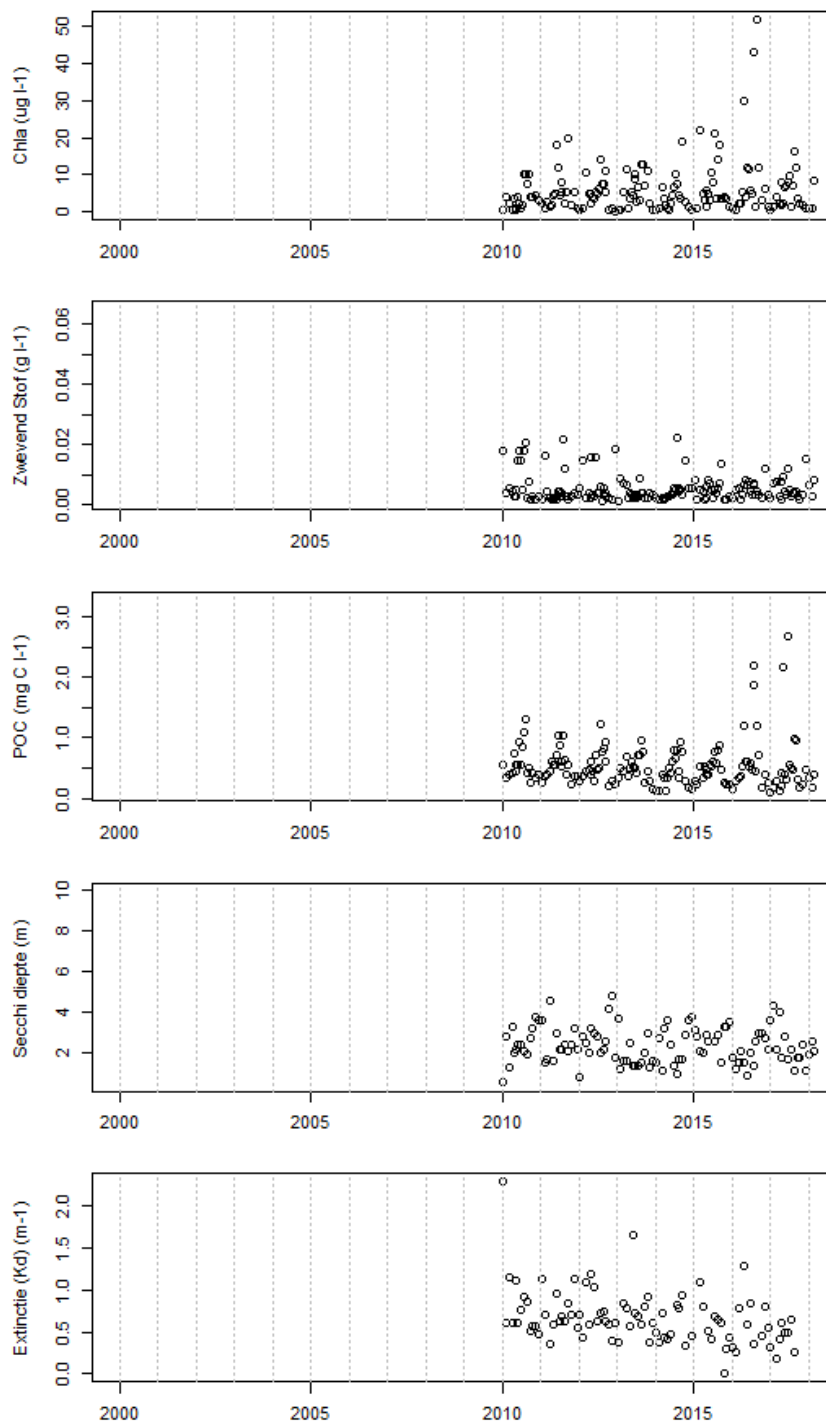
Sigma algoritme

In het sigma algoritme wordt het fotosynthetisch elektrontransport (ETR, $\text{mmol elektronen mg}^{-1} \text{ Chla h}^{-1}$) berekend uit de effectieve kwantum efficiëntie van PSII (F'_q/F'_m) en de functionele absorptiedoorsnede (σ_{PSII}).

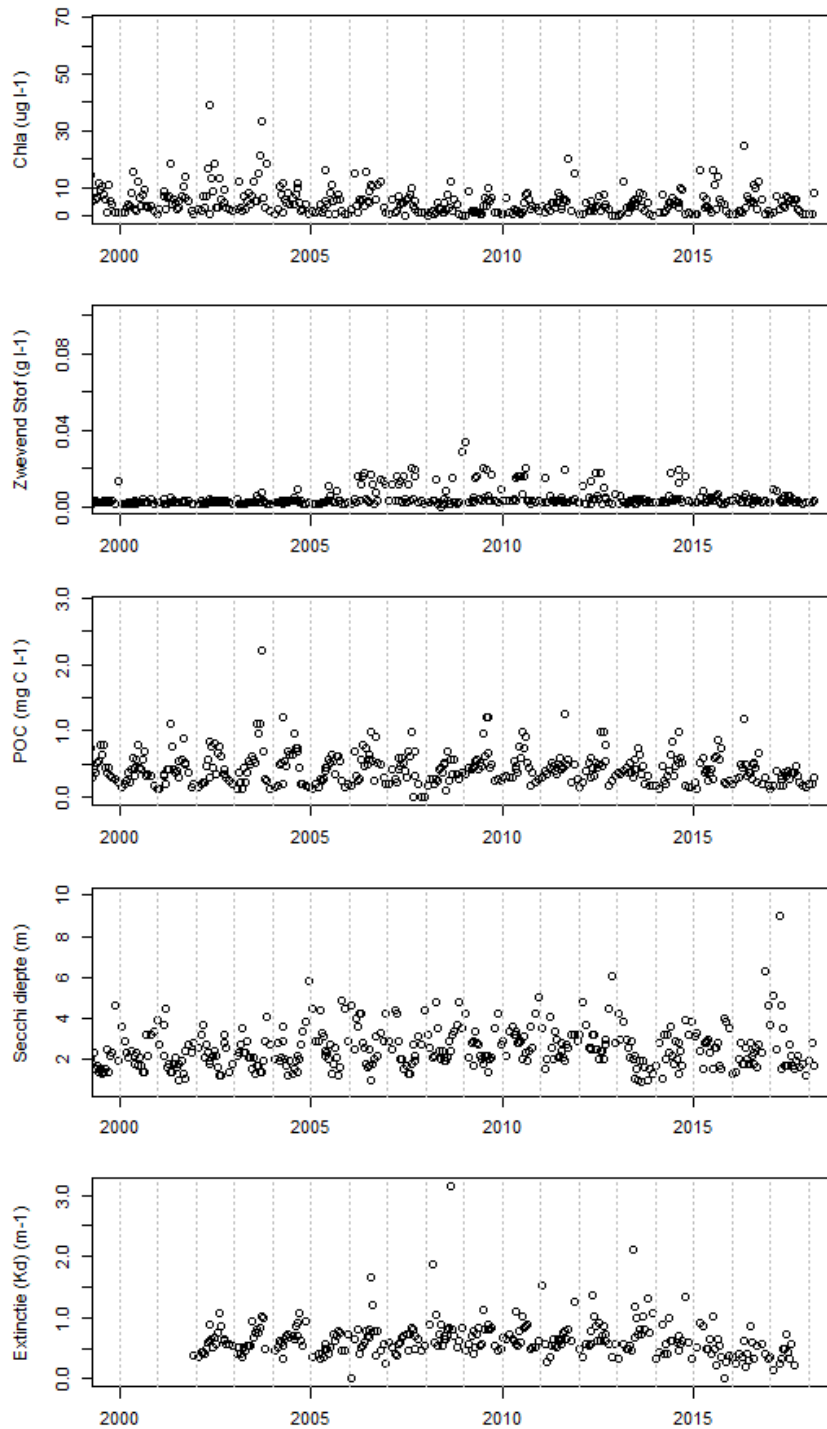
$$ETR = E \cdot \sigma_{PSII} \cdot \frac{F'_q}{F'_m} \cdot \eta_{PSII} \cdot CF$$

Hierbij is η_{PSII} het aantal RCII per mol Chla en CF een conversiefactor om het aantal fotonen per seconde om te zetten in mol elektronen per uur. Met behulp van de elektronbehoefte voor C-fixatie ($\Phi_{e,C}$, mol elektronen mol-C^{-1}) is de ETR om te zetten in P ($\text{mg-C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$).

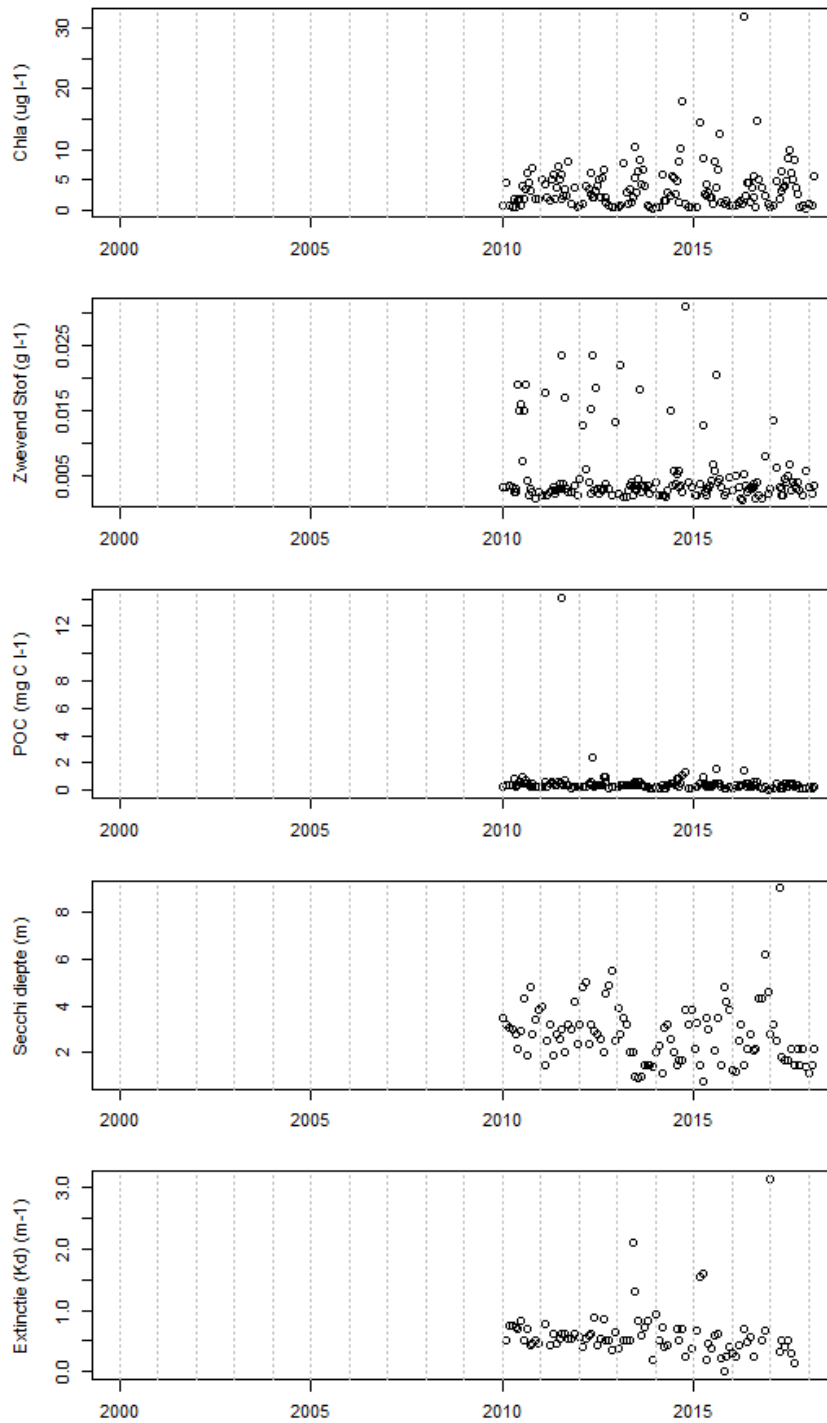
Bijlage 2 MWTL metingen op relevante stations in de onderzoeksgebieden



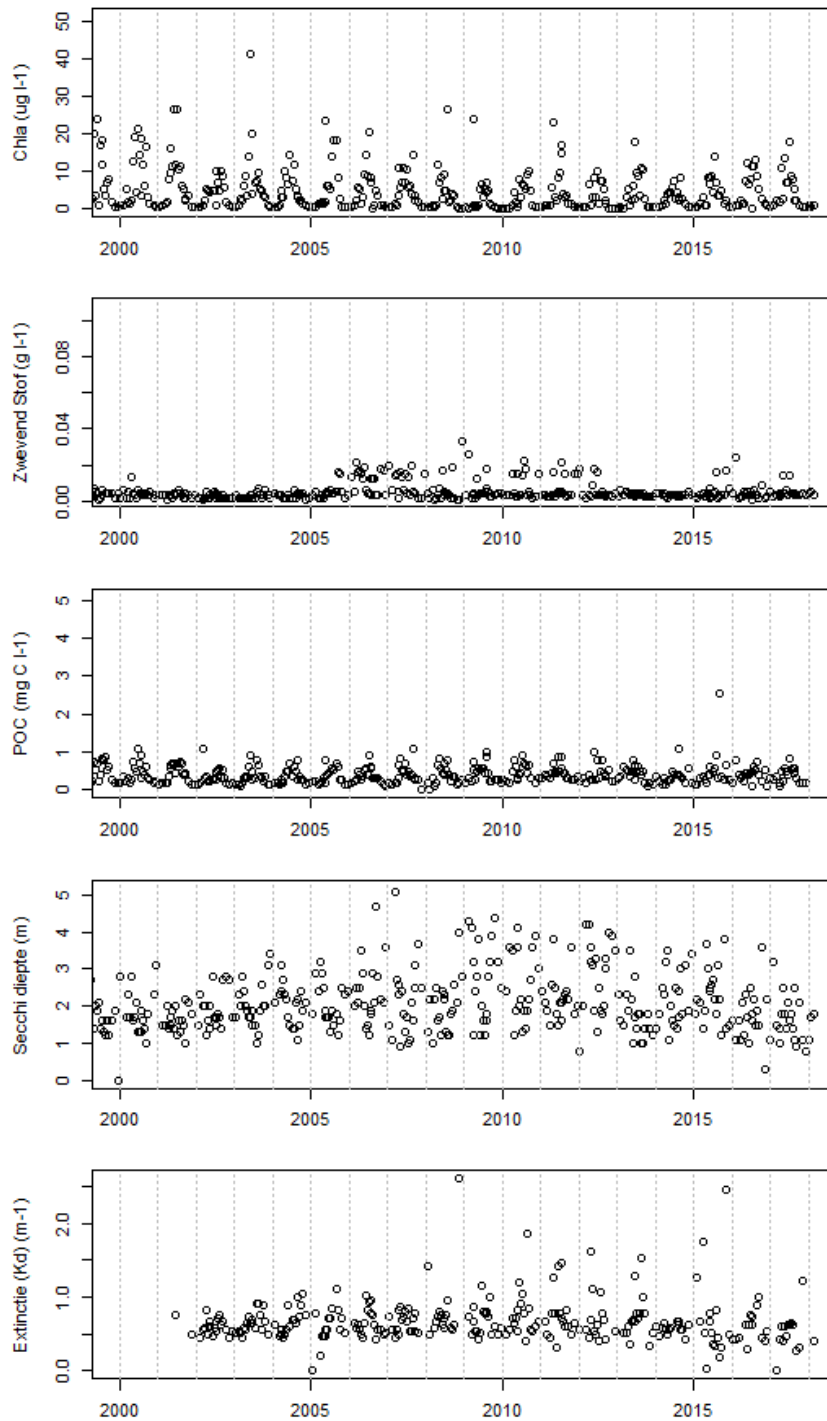
Figuur 2-1: Overzicht van de MWTL data voor de locatie Scharendijke. Weergegeven zijn van boven naar beneden Chla ($\mu\text{g l}^{-1}$), zwevend stof (g l^{-1}), Particulair organisch materiaal (mg-C l^{-1}), secchi diepte (m) en de extinctie coëfficiënt (m^{-1}). Data verkregen via <http://opendap.deltares.nl>.



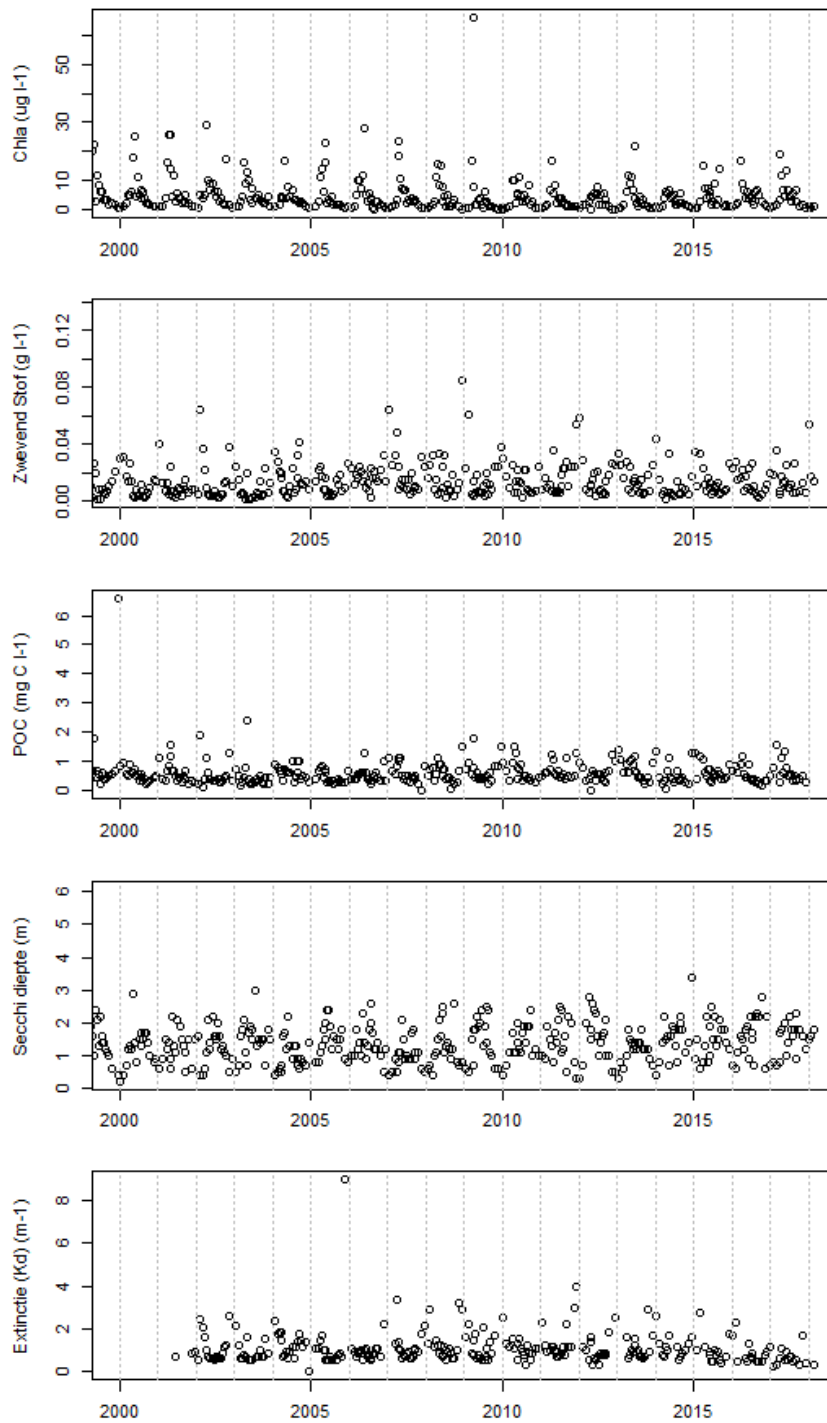
Figuur 2-2: Overzicht van de MWTL data voor de locatie Dreischor. Weergegeven zijn van boven naar beneden Chla ($\mu\text{g l}^{-1}$), zwevend stof (g l^{-1}), Particulair organisch materiaal (mg-C l^{-1}), secchi diepte (m) en de extinctie coëfficiënt (m^{-1}). Data verkregen via <http://opendap.deltares.nl>.



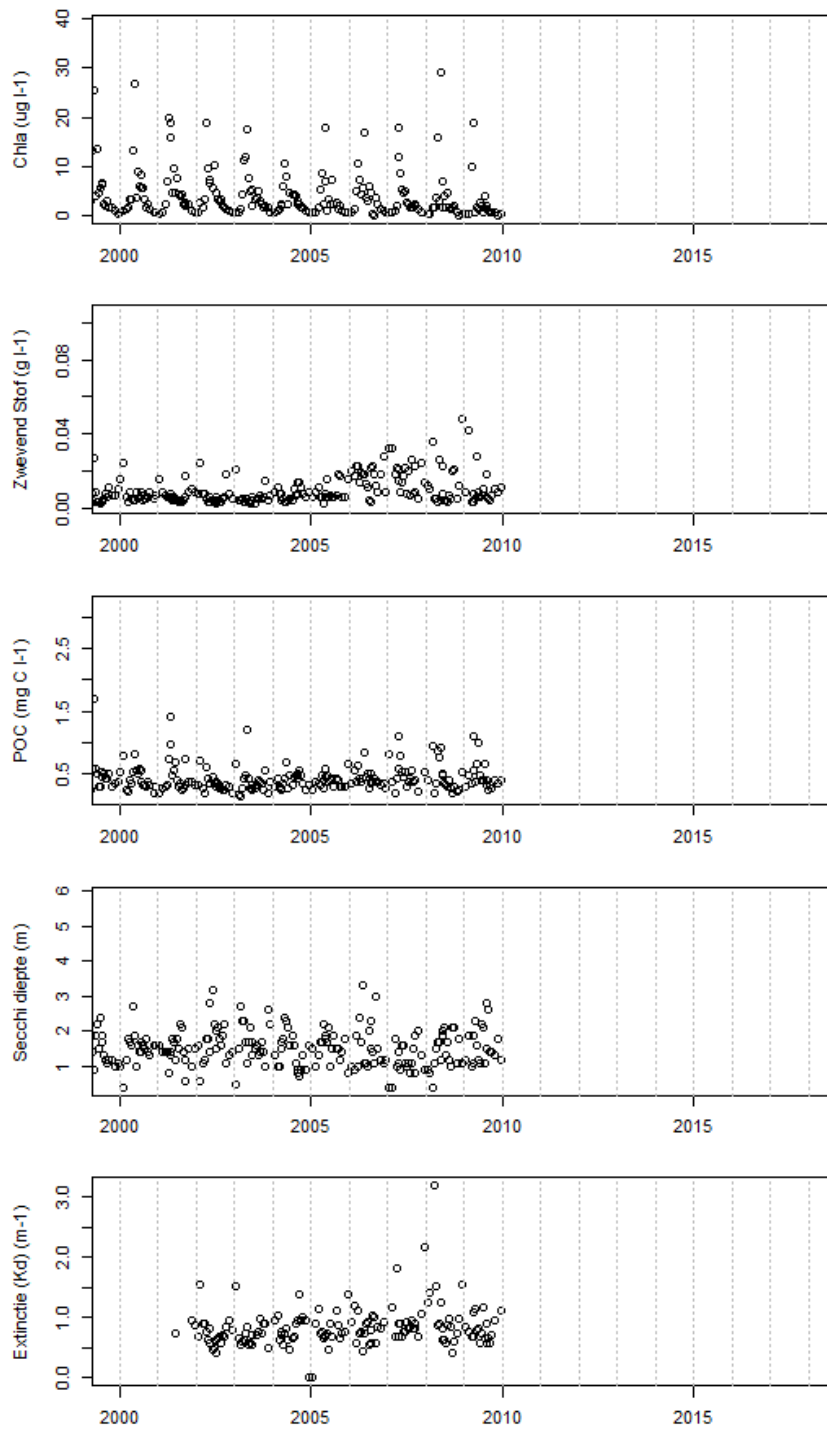
Figuur 2-3: Overzicht van de MWTL data voor de locatie Herkingen. Weergegeven zijn van boven naar beneden Chla ($\mu\text{g l}^{-1}$), zwevend stof (g l^{-1}), Particulair organisch materiaal (mg-C l^{-1}), secchi diepte (m) en de extinctie coëfficiënt (m^{-1}). Data verkregen via <http://opendap.deltares.nl>.



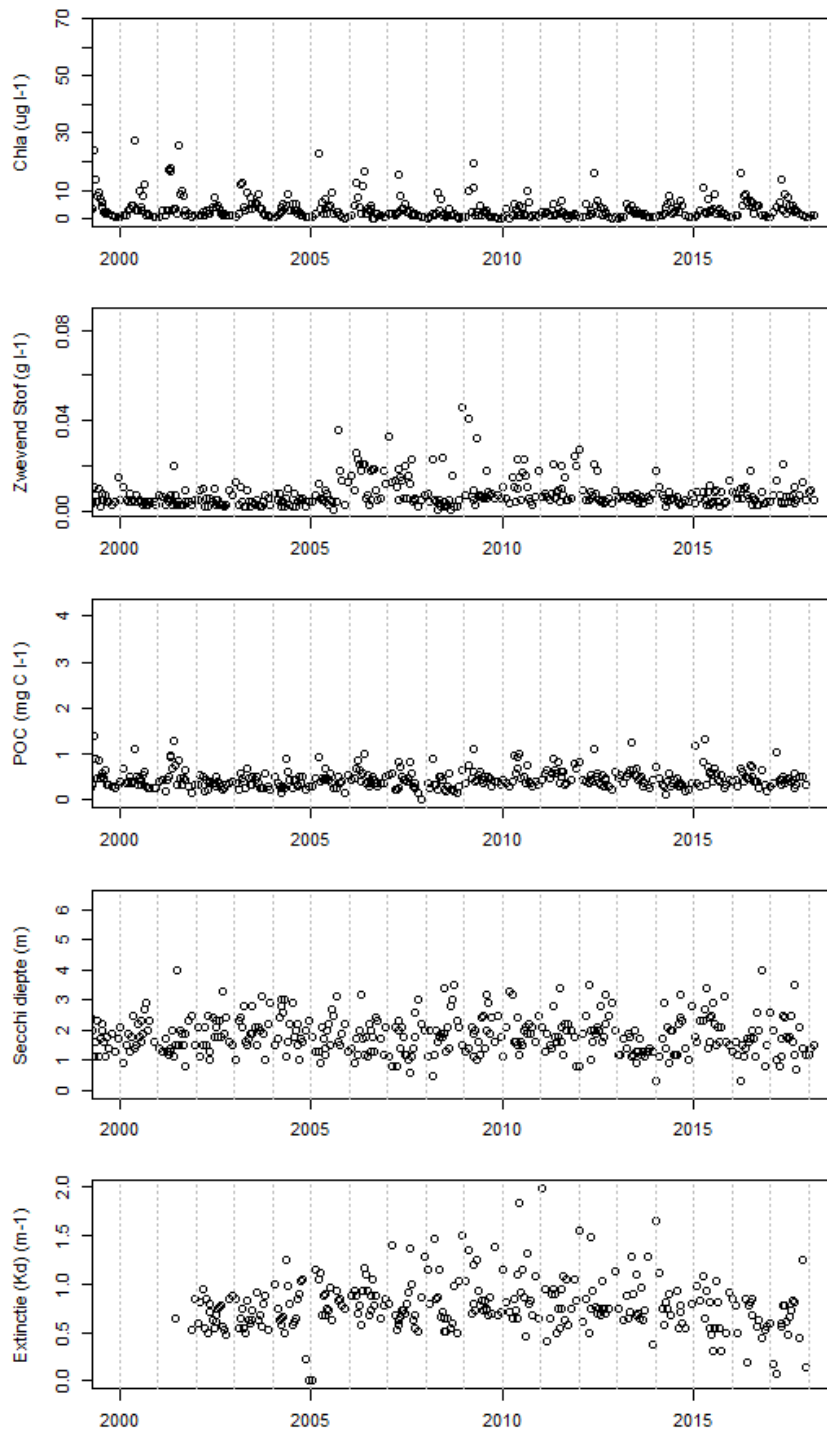
Figuur 2-4: Overzicht van de MWTL data voor de locatie Zijpe. Weergegeven zijn van boven naar beneden Chla ($\mu\text{g l}^{-1}$), zwevend stof (g l^{-1}), Particulair organisch materiaal (mg-C l^{-1}), secchi diepte (m) en de extinctie coëfficiënt (m^{-1}). Data verkregen via <http://opendap.deltares.nl>.



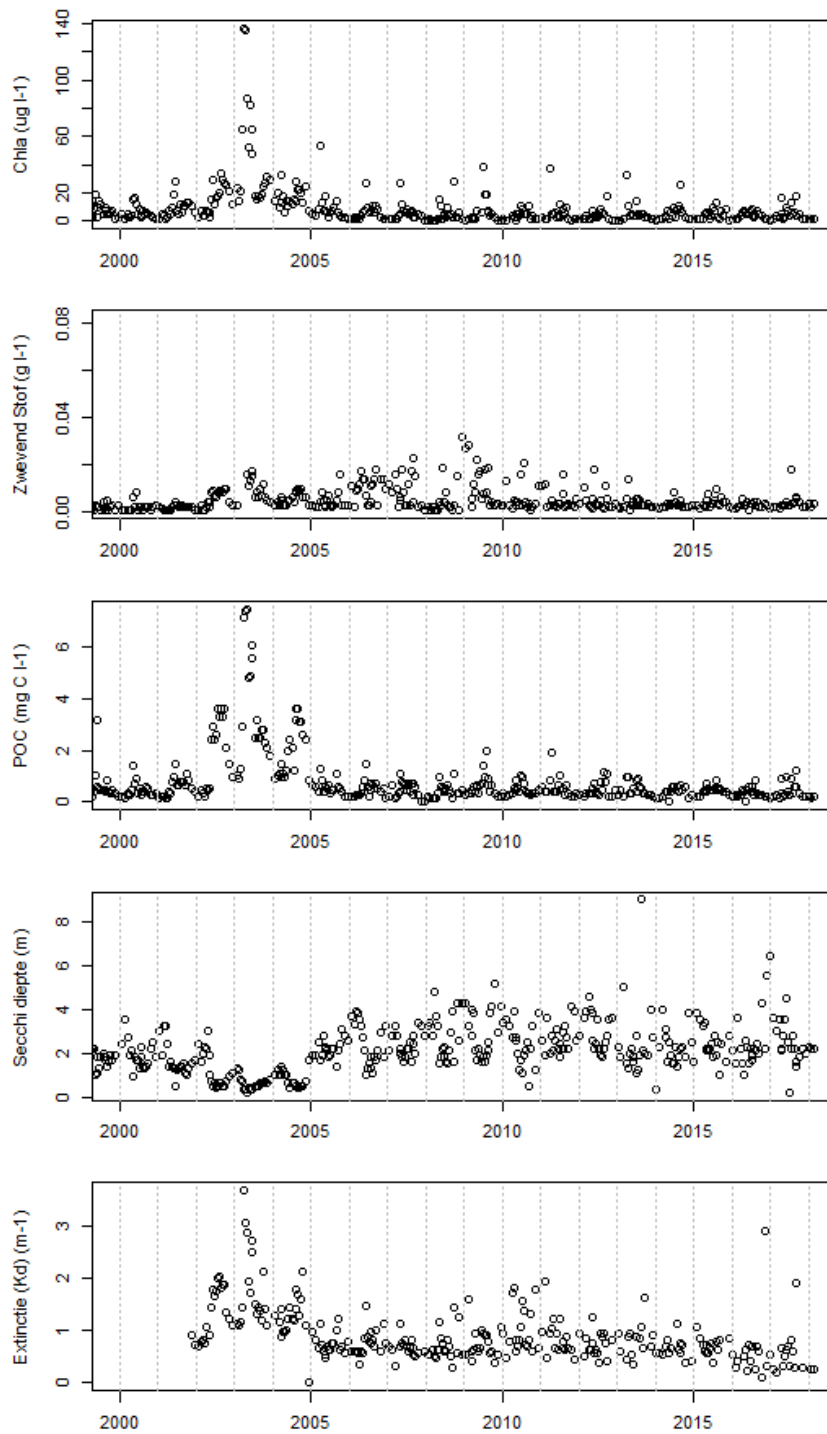
Figuur 2-5: Overzicht van de MWTL data voor de locatie Wissenkerke. Weergegeven zijn van boven naar beneden Chla ($\mu\text{g l}^{-1}$), zwevend stof (g l^{-1}), Particulair organisch materiaal (mg-C l^{-1}), secchi diepte (m) en de extinctie coëfficiënt (m^{-1}). Data verkregen via <http://opendap.deltares.nl>.



Figuur 2-6: Overzicht van de MWTL data voor de locatie Hammen Oost. Weergegeven zijn van boven naar beneden Chla ($\mu\text{g l}^{-1}$), zwevend stof (g l^{-1}), Particulair organisch materiaal (mg-C l^{-1}), secchi diepte (m) en de extinctie coëfficiënt (m^{-1}). Data verkregen via <http://opendap.deltares.nl>.



Figuur 2-7: Overzicht van de MWTL data voor de locatie Lodijkse gat. Weergegeven zijn van boven naar beneden Chla ($\mu\text{g l}^{-1}$), zwevend stof (g l^{-1}), Particulair organisch materiaal (mg-C l^{-1}), secchi diepte (m) en de extinctie coëfficiënt (m^{-1}). Data verkregen via <http://opendap.deltares.nl>.



Figuur 2-8: Overzicht van de MWTL data voor de locatie Soelekerkepolder Oost. Weergegeven zijn van boven naar beneden Chla ($\mu\text{g l}^{-1}$), zwevend stof (g l^{-1}), Particulair organisch materiaal (mg C l^{-1}), secchi diepte (m) en de extinctie coëfficiënt (m^{-1}). Data verkregen via <http://opendap.deltares.nl>.

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

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.

Bezoekers adres:

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



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'
