

Primaire productie in de Westerschelde over de periode
2016-2019 bepaald m.b.v. de Fast Repetition Rate
Fluorometry techniek
MONEOS eindrapport



Dick van Oevelen¹, Jacco C. Kromkamp¹, Nicole Dijkman² & Lander Blommaert¹

¹ Koninklijk Nederlands Instituut voor Zee Onderzoek

Korringaweg 7, 4401 NT Yerseke

² Rijkswaterstaat, Lelystad

Contact: Dick.van.Oevelen@nioz.nl

Datum oplevering 1^e versie: 31-3-2021

Datum oplevering 2^e versie: 4-6-2021

Datum vastgesteld: 4-6-2021

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
Voorwoord	5
Samenvatting	6
Inleiding	7
Achtergrond FRRF-methode en berekening primaire productie	9
Overzicht van beschikbare metingen	10
<i>PAR metingen</i>	10
<i>Meetvis en FRRF-metingen</i>	10
<i>Procedure voor het samenvoegen van meetvis en FRRF-metingen</i>	11
<i>Procedure voor berekeningen van de primaire productie</i>	12
Resultaten	13
<i>PAR metingen</i>	13
<i>Meetvis metingen</i>	13
<i>FRRF-metingen</i>	18
<i>FRRF-parameters</i>	20
<i>Primaire productieschattingen</i>	22
Discussie	27
<i>Lichtuitdovingscoefficient (K_d)</i>	27
<i>Chlorofyl bepalingen</i>	28
<i>Primaire productie</i>	28
Aanbevelingen	30

Conclusies.....	32
Literatuur.....	33
Appendix A: Overzicht van beschikbare FRRF en meetvis bestanden.....	36
Appendix B: Ruwe meetvisdata over de periode 2016-2019	41
Appendix C: Primaire productie per compartiment voor de periode 2016-2019	43

Voorwoord

Dit is de eindrapportage van het MONEOS-project. Een tussenrapportage over de resultaten in 2016 (Kromkamp, 2016), een tussenrapportage van de 2017+2018 data (Kromkamp, 2019a) en een FRRF-handleiding (Kromkamp, 2019b) zijn eerder opgeleverd door projectleider Dr. Jacco Kromkamp (NIOZ-Yerseke). Door de ziekte en het overlijden van Jacco Kromkamp in het najaar van 2020 is deze eindrapportage geschreven door Dick van Oevelen (NIOZ-Yerseke) met ondersteuning van Nicole Dijkman (RWS) en Lander Blommaert (NIOZ-Yerseke).

Samenvatting

Dit is de eindrapportage van het MONEOS-project dat tot doel had om de FRRF (Fast Repetitive Rate Fluorometer), een instrument dat primaire productie door fytoplankton meet, in te zetten tijdens de monitoringstochten van Rijkswaterstaat op de Westerschelde om 1) de haalbaarheid te testen, 2) praktische aanbevelingen te doen en 3) te onderzoeken of de FRRF in deze setting bruikbare resultaten oplevert. Dit project liep van 2016 tot en met 2019, waarin het bedoeling was om de meetvis, met daarop sensoren voor omgevingsvariabelen zoals turbiditeit, en de FRRF naast elkaar in te zetten aangezien informatie van beide instrumenten nodig is voor de bepaling van primaire productie. In 2016 en 2017 is de parallelle inzet grotendeels gelukt, maar in de tijdserie van 2018 en 2019 zitten, om verschillende redenen, helaas grote gaten in de tijdserie. Hierdoor is de focus van deze rapportage op 2016 en 2017 komen te liggen.

Er is tijdens het project software ontwikkeld, functies in R bij het NIOZ en het programma easyFRRF voor RWS door Thomas Rutten, die de verwerking van de data grotendeels automatiseert. Uit de data-analyse blijkt dat de FRRF in 2016 goed heeft gewerkt. Uit de data komt een duidelijke voor- en najaarsbloei naar voren, met een maximale dagproductie van $\pm 1.5 \text{ gC m}^{-2}$. Verder blijkt er een ruimtelijke gradiënt te zijn met hogere primaire productie nabij de monding en lagere productie bij de grens met België. Op basis hiervan concluderen we dat de inzet van de FRRF de mogelijkheid biedt om de primaire productie in de Westerschelde te meten met een hoge temporele en ruimtelijke dekking tegen relatief lage kosten.

De primaire productie bepalingen van 2017 zijn na vergelijking met eerdere studies en de literatuur onrealistisch hoog gebleken met dagproducties van $>30 \text{ gC m}^{-2}$. In eerdere rapportages werden deze hoge waarden toegeschreven aan foutieve conversiefactoren, maar nu lijkt de oorzaak te liggen in algengroei in het koelwater van de FRRF. Omdat de fluorescentiemeting van de FRRF door het koelwaterreservoir loopt, is algengroei in dit koelsysteem een reële verklaring voor de verhoogde chlorofyl concentraties en primaire productie. Daarom moeten de data uit 2017 als onbetrouwbaar worden aangemerkt. In dit eindrapport worden adviezen gedaan om aanvullende blanco- en controlemetingen te doen om een juiste werking van de FRRF gedurende langere periode te garanderen.

Inleiding

Primaire productie vormt de basis van het estuariene en mariene voedselweb, want dit proces bepaalt in grote mate de draagkracht van het ecosysteem. Het is daarom van belang om de draagkracht van een systeem te kennen en eventuele veranderingen daarin te herkennen en begrijpen. Een belangrijk deel van de primaire productie in de Westerschelde gebeurt door micro-algen in de waterkolom, het fytoplankton. De klassieke en meest gangbare techniek om primaire productie te meten is door middel van de ^{14}C -techniek, waarbij de opname van gelabeld $^{14}\text{CO}_2$ door het fytoplankton wordt bepaald. De ^{14}C die in organische vorm is vastgelegd, is een maat voor de primaire productie door het fytoplankton (Underwood and Kromkamp, 1999). Deze methode meet direct de fixatie van anorganisch koolstof (C), wat belangrijk is aangezien C de eenheid is die voor het ecosysteem van belang is. Het is echter ook een dure en omslachtige methode, met name vanwege de voorzorgsmaatregelen die genomen moeten worden omdat er met radioactief materiaal gewerkt wordt. Ook duurt een ^{14}C -incubatie relatief lang (enkele uren), waardoor de primaire productie metingen vaak een slechts beperkte ruimtelijke en temporele dekking hebben. Al met al worden ^{14}C meetseries wereldwijd afgebouwd en is er grote behoefte aan een alternatieve methode om primaire productie te meten.

In het kader van het MONEOS project is daarom besloten om Fast Repetition Rate Fluorometry (FRRF) te testen als meetmethode (Kromkamp et al., 2008). De FRRF is daarom gedurende 4 jaar ingezet tijdens monitoringstochten van Rijkswaterstaat op de Westerschelde. Hierbij is de Act2 van fabrikant Chelsea ingezet als semi-geautomatiseerde FRRF-methode om aan boord maandelijks zogenaamde licht-response (PI) curves van het fytoplankton te meten. Wanneer deze PI curves gecombineerd worden met de instraling van Photosynthetically Active Radiation (PAR) en de lichtuitdovingscoëfficiënt in de waterkolom kan de primaire productie over de gehele waterkolom worden bepaald.

Het is belangrijk op te merken dat de FRRF al enkele decennia in ontwikkeling is en een algemeen geaccepteerde methode is om elektronentransport in fytoplankton te meten onder laboratoriumcondities (Kromkamp and Forster, 2003; Oxborough et al., 2012). De conversie

van elektronentransport, zoals gemeten met de FRRF, naar C-fixatie (de eenheid van belang voor het ecosysteem) is nog onderwerp van studie, maar voor met name kustgebieden en estuaria zijn inmiddels data beschikbaar (Lawrenz et al., 2013). Ondanks de potentie van de FRRF-methode is er in het algemeen en ook binnen Nederland nog relatief weinig ervaring met de inzet van de FRRF tijdens standaard monitoringstochten, alhoewel sinds juli 2020 de FRRF ook wordt ingezet op de Oosterschelde en Grevelingen. Het doel van dit project was dan ook de FRRF in te zetten tijdens de RWS-monitoringstochten op de Westerschelde om 1) de haalbaarheid te testen, 2) praktische aanbevelingen te doen en 3) te onderzoeken of de FRRF in deze setting bruikbare resultaten oplevert. Een belangrijk onderdeel van deze rapportage is zijn dan ook de aanbevelingen die worden gedaan voor het optimaliseren van de implementatie van de FRRF-methodiek. In de praktijk betekende dit dat de FRRF werd ingezet tijdens de (twee)-wekelijkse monitoringstochten op de Westerschelde. Tijdens deze monitoringstochten wordt ook een 'meetvis' ingezet. De meetvis is een meetinstrument dat achter het schip wordt gesleept op ongeveer 1 m diepte en dat sensoren heeft om continue de volgende parameters te kunnen meten: druk (als maat voor diepte van de meetvis), temperatuur, zoutgehalte, troebelheid, fluorescentie (als maat voor chlorofyl a) en zuurstofgehalte. De troebelheid is in deze context met name belangrijk omdat deze metingen worden gebruikt om de hoeveelheid beschikbaar licht in de waterkolom te bepalen, wat belangrijk is om de primaire productie te kunnen berekenen.

Vanwege de beperkte mogelijkheden van kennisoverdracht was het voor deze eindrapportage nodig om alle FRRF- en meetvis-metingen over de jaren 2016-2019 opnieuw te analyseren en zijn de primaire productie berekeningen gedaan in R-code (R Development Core Team, 2015) die is geschreven door Nicole Dijkman en Dick van Oevelen. Gedurende het project is ook het softwarepakket 'easyFRRF' ontwikkeld door Thomas Rutten om de data van de meetvis en de FRRF in te lezen en te gebruiken voor geautomatiseerde berekening van de primaire productie. De resultaten in deze eindrapportage zijn als cross-check vergeleken met de output van het softwarepakket 'easyFRRF' en gebleken is dat beide methoden identieke resultaten geven.

Achtergrond FRRF-methode en berekening primaire productie

Voor een uitgebreide beschrijving van de FRRF-methode wordt verwezen naar de eerder opgeleverde MONEOS rapportages (Kromkamp, 2019a, 2016) en naar verschillende wetenschappelijke publicaties (Aardema et al., 2019; Kromkamp and Forster, 2003; Silsbe et al., 2015). De theorie achter FRRF is complex en laat zich niet eenvoudig beschrijven, desalniettemin hier een (zeer) beknopte en geïdealiseerde beschrijving. Een essentiële relatie voor de bepaling van de primaire productie in een watersysteem is de zogenaamde PI-curve. Deze curve geeft de relatie aan tussen lichtintensiteit (x-as) en fotosynthese (y-as) en kan als volgt worden beschreven. Bij lage lichtintensiteiten neemt de fotosynthese lineair toe met toenemende lichtintensiteit, maar bij toenemende lichtintensiteit vlakt de fotosynthese af en kan zelfs weer afnemen bij een zeer hoge lichtintensiteit. Als in een waterlaag de beschikbare hoeveelheid licht bekend is, deze wordt bepaald door de instraling van de zon en de uitdoving in de bovenliggende waterlagen, dan kan uit deze PI curve de fotosynthese worden 'afgelezen'. Bij de FRRF-methode wordt deze PI curve bepaald door het meten van fluorescentie van het fytoplankton, meer specifiek het 'variabele' gedeelte van de fluorescentie. De mate van variabele fluorescentie hangt af van de mate van sluiting van het fotosysteem II in het fytoplankton. Bij een lage sluiting van het fotosysteem II zal relatief veel van het opgevangen licht worden omgezet in transport van elektronen (dat vervolgens wordt gebruikt voor het vastleggen van anorganisch koolstof) en zal de variabele fluorescentie relatief laag zijn. Bij hogere lichtintensiteiten is fotosysteem II verder gesloten, waardoor meer van het beschikbare licht 'verloren' gaat als variabele fluorescentie. De FRRF meet de relatieve hoeveelheid variabele fluorescentie bij verschillende lichtintensiteiten en op basis hiervan kan de PI-curve bepaald. Er zijn verschillende methodes om het elektronentransport in het fotosysteem II te berekenen, maar zoals aangegeven in het opgeleverde rapport over de 2016 data wordt er de voorkeur gegeven aan het zogenaamde absorptie-algoritme. De gehele PI curve is vervolgens gefit door het Eilers-Peeters model (Eilers and Peeters, 1988).

Overzicht van beschikbare metingen

PAR metingen

De lichtmetingen bij het NIOZ in Yerseke worden gedaan met een Li-1000 datalogger van LICOR (www.licor.com) waaraan een LI-190SA sensor aangesloten is. Data worden opgeslagen als uurgemiddelden en zijn voor de periode 2016-2019 gebruikt in deze rapportage.

Meetvis en FRRF-metingen

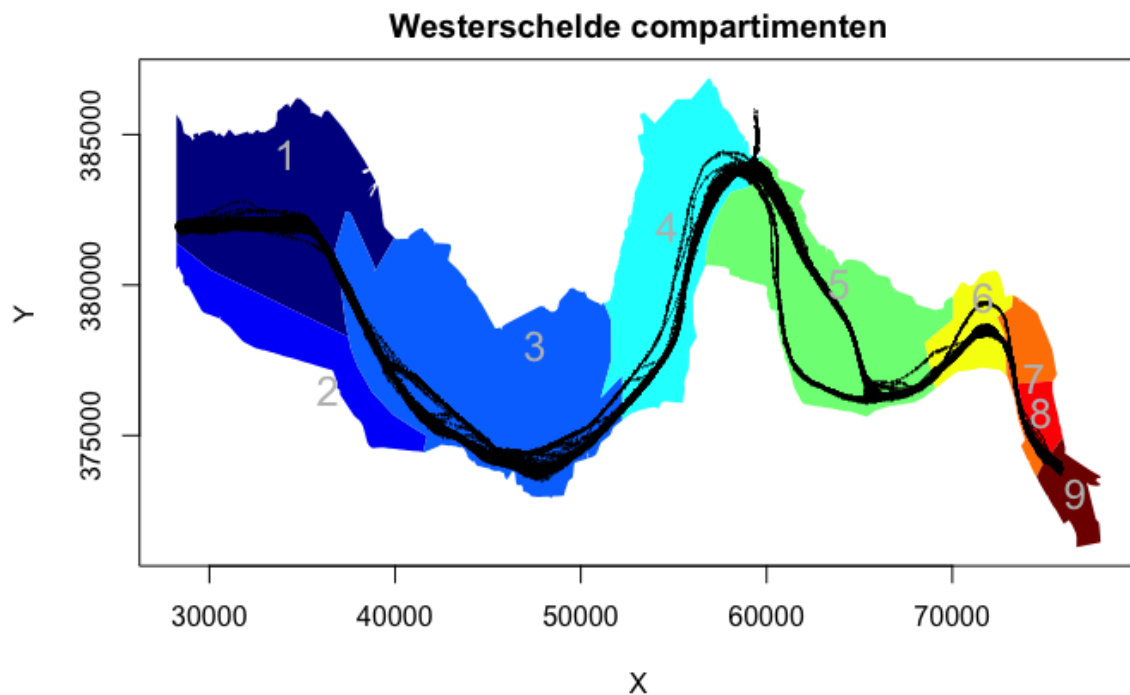
Voor de bepaling van de primaire productie zijn metingen nodig van de FRRF en de meetvis (FRRF: bepaling van de PI curve, meetvis: bepaling van turbiditeit voor de lichtuitdovingscoëfficiënt in de waterkolom en voor locatiegegevens). In Appendix 1 wordt een overzicht gegeven van alle beschikbare metingen en bestanden. Hoewel er voor veel vaartochten succesvol metingen zijn verzameld, zitten er ook grote 'gaten' in een of beide data sets. De belangrijkste redenen daarvoor zijn:

- De FRRF was geïnstalleerd op het RWS *Delta*. Als dit schip in onderhoud was werden de monitoringstochten uitgevoerd met een van de andere RWS-schepen en zijn er geen FRRF-metingen uitgevoerd.
- Monitoringstochten die uitvielen.
- De FRRF-bestanden bleken niet te worden opgeslagen als het intern geheugen vol was. Omdat het instrument hier geen foutmelding van geeft, is dit pas later aan het licht gekomen en heeft dit tot gevolg gehad dat er niet altijd FRRF-metingen beschikbaar zijn terwijl het instrument wel heeft gedraaid.

Als een van de meetvis of FRRF-dataset ontbreekt, dan betekent dit dat de primaire productie niet kan worden berekend.

De Westerschelde is opgedeeld in 9 compartimenten (Maris et al., 2014), waarbij compartiment 2 niet wordt bemonsterd tijdens de monitoringstochten (Figuur 1). Ook

compartiment 8 wordt slechts af en toe bemonsterd. Primaire productie schattingen kunnen alleen voor de bemonsterde compartimenten worden gemaakt.



Figuur 1: Opdeling van de Westerschelde in de genummerde compartimenten. De zwarte lijnen zijn alle opgeslagen locaties van de gebruikte onderzoeksschepen tijdens de monitoringstochten in de periode 2016-2019. X en Y staan in RD (Rijksdriehoek) coördinaten.

Procedure voor het samenvoegen van meetvis en FRRF-metingen

De FRRF (starttijd van meting) en meetvis data die het dichtst bij elkaar lagen zijn samengevoegd als ze tenminste binnen 1 uur van elkaar genomen zijn. Als de tussentijd groter was dan 1 uur betekent dit dat er geen match tussen beide datasets kon worden gevonden. Er is uit de meetvisdata een gemiddelde genomen van de omgevingsvariabelen van 5 minuten voor en na de 'optimale' match tussen FRRF en meetvis, om zodoende 'uitschieters' uit te middelen.

Elke FRRF-curve is geplot en geïnspecteerd om te bepalen of de curve geaccepteerd kon worden. Sommige curves worden tijdens de FRRF-meting automatisch afgebroken omdat de

parameters niet goed kunnen worden geschat. De curves zijn verder beoordeeld op de volgende kwaliteitsparameters (zoals beschreven door Jacco Kromkamp in de eerder opgeleverde werkbeschrijving) die gebaseerd zijn op signaalsterkte en ruis: aantal meetpunten moet > 5 zijn, $ADC = [30, 80]$, $Rsigma = [0.035, 0.07]$ en $QR > 6$. Deze grenswaarden zijn indicatief gebruikt en niet absoluut. Met andere woorden, als een (of enkele) meetpunt(en) voor een PI curve net buiten de kwaliteitseisen lagen, maar de gehele PI curve goed gefit werd door het Eilers-Peeters algoritme, is de curve toch geaccepteerd.

Procedure voor berekeningen van de primaire productie

Van de gemeten PAR is aangenomen dat 6% wordt gereflecteerd en daarmee 94% de waterkolom binnendringt, zoals ook in eerdere MONEOS-rapportages is gedaan.

De turbiditeit metingen van de meetvis zijn gebruikt om de lichtuitdovingscoëfficiënt (K_d , m^{-1}) te bepalen via de relatie $K_d = 0.0876 \times \text{turbiditeit}$. Een relatie is in 2016 bepaald op basis van de destijds beschikbare metingen, maar is voor deze eindrapportage bijgewerkt met beschikbare data voor de gehele 2016-2019 periode.

Voor de berekening van de primaire productie is gebruik gemaakt van het Eilers-Peeters model (Eilers and Peeters, 1988), zoals aangeraden in eerdere MONEOS-rapportages. De gemeten fluorescentie is gecorrigeerd met een 'standaard' F_{blanco} van 0.5 via de procedure zoals beschreven in de eerder opgeleverde RWS-werkomschrijving (Kromkamp, 2019b). Voor de integratie van de productie over de waterkolom is de eerste 10 m van de waterkolom verdeeld laagjes van 1 mm dikte. Met name bij een hoge lichtuitdovingscoëfficiënt is gebleken dat deze hoge resolutie nodig is om een accurate berekening van de productie te krijgen.

Voor iedere geldige PI-curve die door de FRRF is gemeten en die kon worden gematched aan meetvisdata is een dagproductie bepaald. De jaarproductie is bepaald door per compartiment een gemiddelde te nemen van de beschikbare dagproducties en deze lineair te interpoleren naar het gehele jaar en de dagproducties te sommeren.

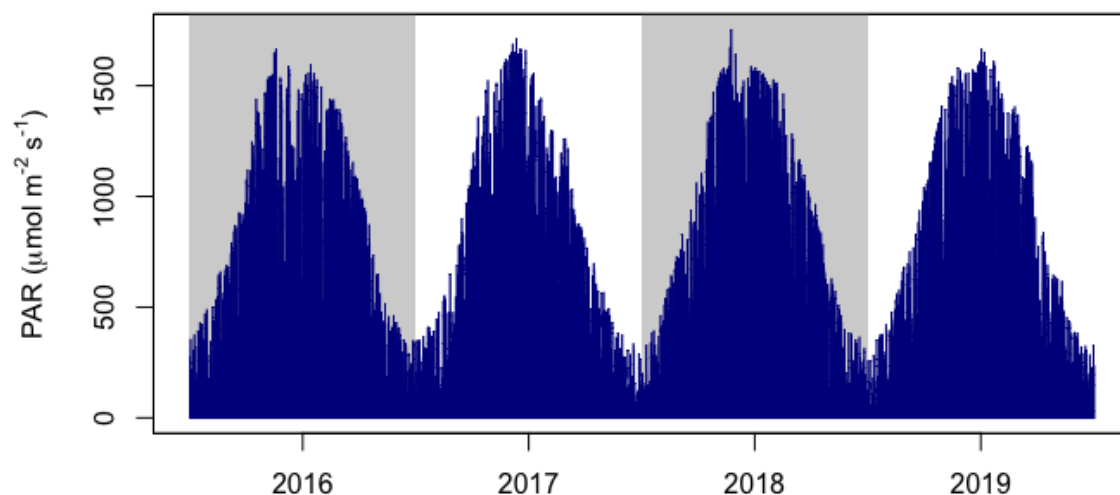
De FRRF meet primaire productie als elektronentransport en deze meting moet worden omgezet naar koolstofeenheden, aangezien dit de eenheid is die van belang is voor het

ecosysteem. Er zijn geen gerichte experimenten uitgevoerd, zoals bv simultane ^{14}C -metingen, om deze omrekeningsfactor te bepalen voor de Westerschelde. De theoretische waarde van de omrekening is $4 \text{ mol e}^- [\text{mol C}]^{-1}$, maar deze waarde ligt er meestal boven, met name in de nutriënt-gelimiteerde oceaan (Lawrenz et al., 2013). In kustgebieden ligt deze factor meestal iets boven de theoretische waarde (Lawrenz et al., 2013). Voor deze studie is $5 \text{ mol e}^- [\text{mol C}]^{-1}$ aangenomen. In de aanbevelingen gaan we hier nog kort op in.

Resultaten

PAR metingen

De PAR metingen bij het NIOZ hebben een complete serie van uurgemiddelden van de jaren 2016-2019 opgeleverd (Figuur 1) en zijn gebruikt om de primaire productie te berekenen.



Figuur 2: Lichtintensiteit (PAR, uurgemiddelde) zoals gemeten bij NIOZ-Yerseke voor de jaren 2016-2019.

Meetvis metingen

De variabelen sensordiepte (cm), saliniteit, temperatuur ($^{\circ}\text{C}$), zuurstofverzadiging (%), chlorofyl ($\mu\text{g/L}$) en turbiditeit zoals gemeten met de meetvis voor de periode 2016-2019 zijn

als ruwe data weergegeven in Appendix B zodat uitschieters eenvoudig geïdentificeerd kunnen worden.

De diepte van de meetvis (Sensordiepte) is gedurende vrijwel de gehele periode rond de beoogde 1-m diepte. Er is daarom op basis van de meetvisdiepte geen reden om (delen van de) data in twijfel te trekken.

Saliniteit neemt bij iedere campagne, zoals verwacht, af van ongeveer 30 aan de monding tot 5 aan de grens met België en er zijn geen uitschieters te zien. Het plateau dat te zien is bij metingen met index van ± 27000 tot en met 31000 (Appendix B) is een gevolg van een hogere meetfrequentie die tijdens die meetcampagne is gebruikt, waardoor er op hetzelfde transect meer metingen zijn gelogd dan gedurende de andere campagnes. Dit plateau is daarom ook te zien voor de variabelen temperatuur en zuurstofverzadiging. In dit rapport worden gemiddelden gebruikt en daarom maakt het niet uit dat er een hogere meetfrequentie is gebruikt tijdens deze campagne.

De temperatuur varieert tussen $\pm 5^{\circ}\text{C}$ en 25°C en laat de gebruikelijke seizoensdynamiek zien. Temperatuurverschillen langs het traject zijn klein, maar over het algemeen is het water iets warmer in het zoete gedeelte van de Westerschelde ten opzichte van de monding.

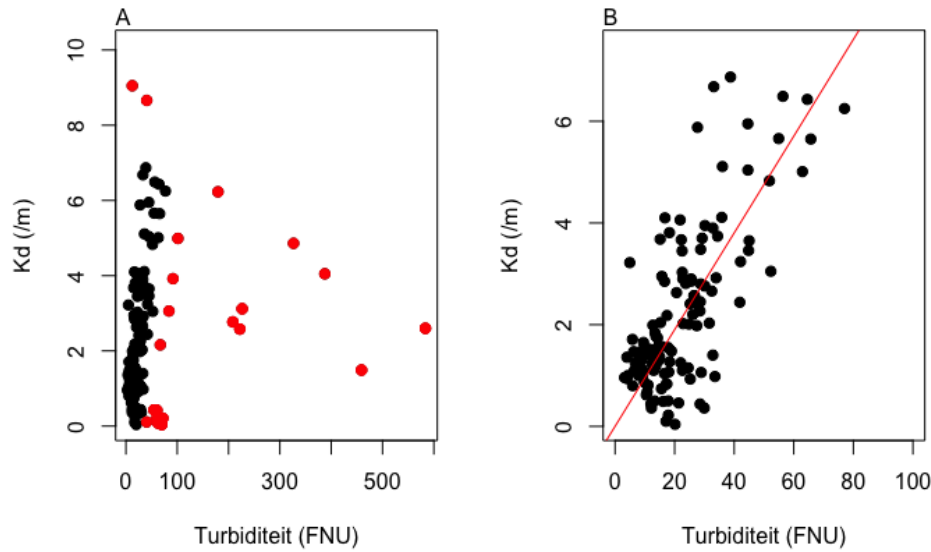
De zuurstofverzadiging ligt tussen 60% en 138%, waarbij geen opvallende uitschieters zitten. Over het algemeen is de zuurstofverzadiging 10-15% lager in het zoete gedeelte van de Westerschelde ten opzichte van de monding tijdens een monitoringscampagne.

Twee variabelen met duidelijke uitschieters zijn chlorofyl en troebelheid. De chlorofyl metingen laten behoorlijke variatie zien, behoudens enkele individuele uitschieters doorheen de hele tijdserie, zien we ook een 'wolk' aan hoge waarden in oktober 2016 (index ± 8000 in Appendix B). Nadere inspectie laat zien dat nagenoeg alle chlorofyl meetvismetingen van de tochten op 17 en 18 oktober 2016 waarden van $>20 \mu\text{g/L}$ chlorofyl laten zien. Ook veel waarnemingen vanaf maart 2019 (index ± 8000 in Appendix B) zijn hoger dan $>20 \mu\text{g/L}$ chlorofyl. Hoewel niet onmogelijk voor de Westerschelde (Soetaert et al., 2006), zijn de meeste waarnemingen $>20 \mu\text{g/L}$ chlorofyl verdacht. Voor deze rapportage worden de chlorofyl data van de meetvis niet gebruikt, omdat de FRRF eenzelfde chlorofylmeting doet en die gebruikt in de PI curve. Echter, het is aan te bevelen om een aanvullende

kwaliteitscontrole toe te passen op deze data. Wellicht wordt de data afwisselend als $\mu\text{g/L}$ chlorofyl of RFU (relative fluorescence units) opgeslagen of wordt niet altijd dezelfde sensor gebruikt.

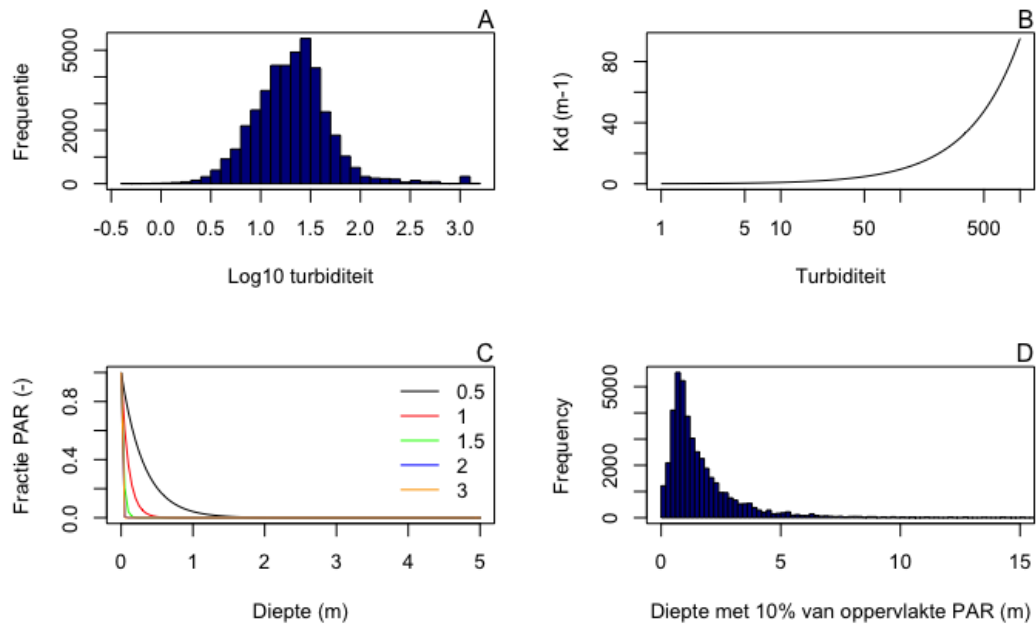
Ook de troebelheid laat grote variatie zien met negatieve waarden (index ± 9000 in Appendix B) en een range in positieve waarden van 0.42 tot 1324 (FNU). Voor de berekeningen in dit rapport zijn de negatieve waarden verwijderd, maar het is op dit moment onduidelijk of er een bovengrens is voor troebelheid en hoe hoog deze is. Voor deze rapportage zijn daarom alle gemeten waarden voor turbiditeit gebruikt.

De troebelheid data zijn belangrijk voor de berekening van de primaire productie omdat deze worden gebruikt om de lichtuitdoving in het water te berekenen en daarom wordt er hier verdere toelichting gegeven. De relatie tussen turbiditeit en de lichtuitdovingscoëfficiënt (K_d , m^{-1}) is in de MONEOS-rapportage uit 2016 bepaald als $K_d = 0.0876 \times \text{turbiditeit}$. Voor deze eindrapportage is deze relatie bijgewerkt met alle gemeten K_d waarden voor de periode 2016-2019 (Figuur 3A). Voor de turbiditeit is, per K_d -meting, het uurgemiddelde bepaald van de turbiditeitsmetingen die met de meetvis zijn gedaan om het effect van uitschieters te verminderen. Desondanks zijn er een aantal K_d -metingen als uitschieters aangemerkt (Figuur 3A). De lineaire relatie is acceptabel en zeer vergelijkbaar met de eerdere relatie uit 2016 (zie regressie coëfficiënten in legenda van Figuur 3B).



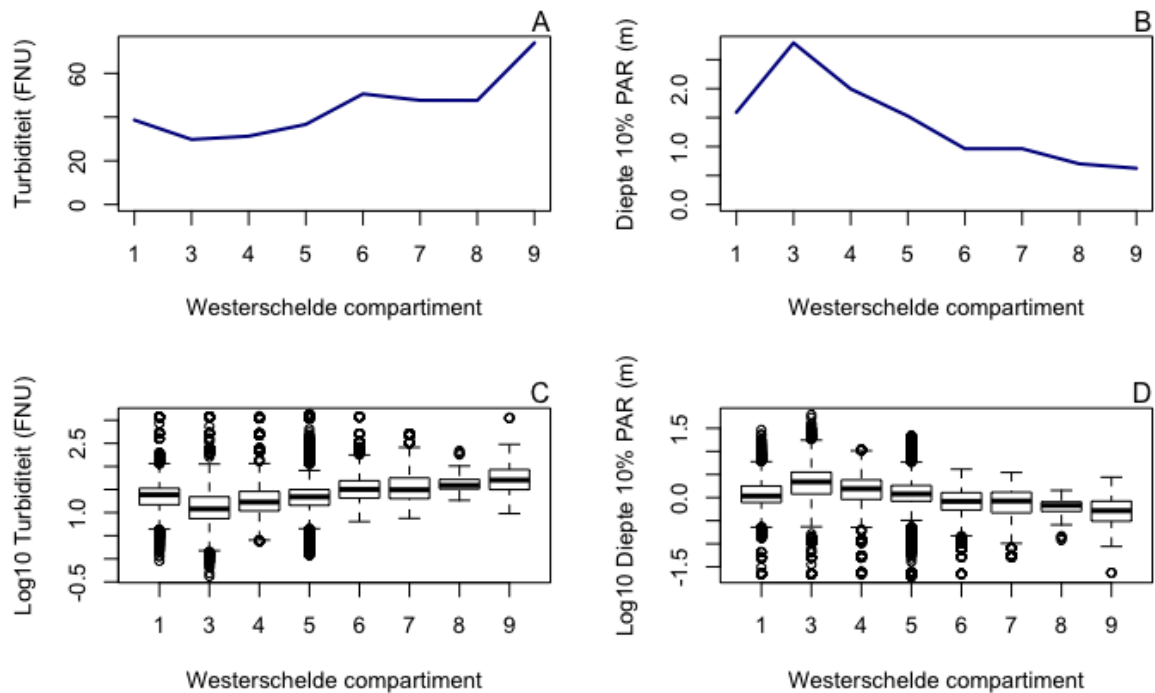
Figuur 3: A) Relatie tussen turbiditeit en K_d in de Westerschelde over de periode 2016 - 2019. De rood gemarkeerde markers geven data aan die als uitschieters zijn beschouwd en niet zijn meegenomen in de fit. B) Lineaire fit (rode lijn) tussen turbiditeit en K_d met $a = 0.095$, waarin $R^2_{adj} = 0.84$.

De turbiditeit in de Westerschelde varieert sterk (Figuur 4A) daarom is de relatie tussen turbiditeit en K_d uitgezet op een logaritmische schaal (Figuur 4B). Verschillende waarden voor (\log_{10}) turbiditeit geven verschillende mate van uitdoving in de waterkolom (Figuur 4C), een turbiditeit van 10 ($\log_{10} = 1$, dus rode lijn in Figuur 4C) maakt dat het PAR vrijwel volledig is uitgedoofd op slechts 50cm diepte. Voor de gehele dataset is, op basis van de turbiditeit, uitgerekend op welke diepte er nog 10% van de oppervlakte PAR nog beschikbaar is (Figuur 4D). Voor het overgrote deel van de metingen ligt deze diepte op <2m (Figuur 4D).



Figuur 4: A) Histogram van log10-getransformeerde turbiditeit data in de MONEOS data set, B) relatie tussen turbiditeit en K_d , C) relatie tussen waterdiepte en fractie van de PAR en D) histogram van dieptes waarop nog 10% van de PAR aanwezig is.

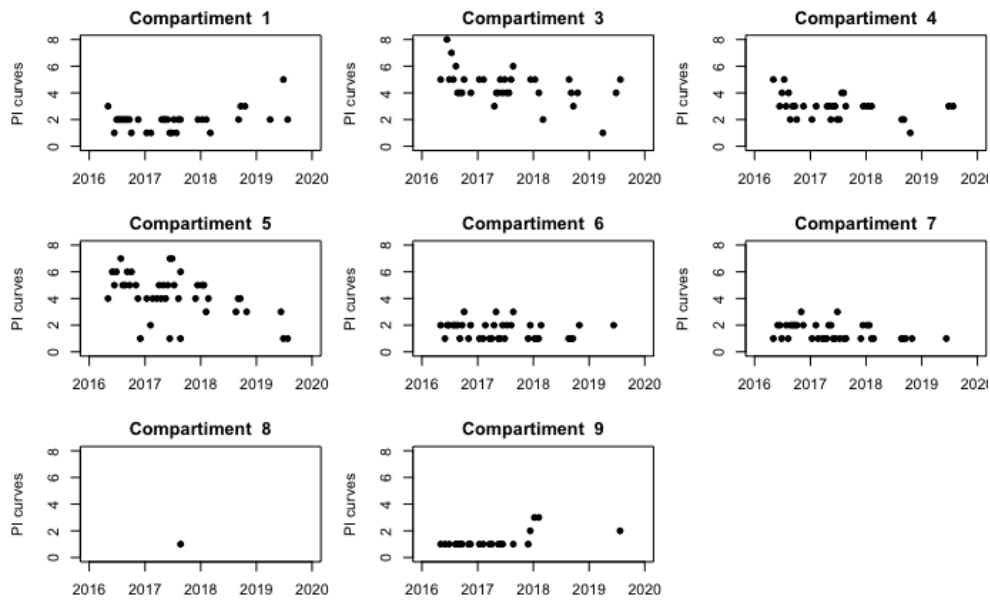
In de berekeningen die hieronder worden gepresenteerd, wordt de primaire productie over de gehele waterkolom geïntegreerd en het is daarom relevant bekend te zijn met verschillen in K_d tussen de compartimenten. Compartiment 2 ontbreekt in dit figuur omdat op de kaart van de Westerschelde te zien is dat compartiment 2 niet wordt aangedaan tijdens de meetcampagnes (Figuur 1). Als we alle meetvisgegevens over turbiditeit uitzetten per compartiment, zien we dat de troebelheid toeneemt van de Westerschelde monding naar Antwerpen (Figuur 5A). De diepte waarop nog 10% van de PAR beschikbaar ligt op ongeveer 1.5m aan de monding, stijgt naar bijna 3m in compartiment 3 en daalt vervolgens naar 0.5m richting Antwerpen (Figuur 5B). Daarbij moet worden opgemerkt data er veel spreiding zit in beide trends (Figuur 5C, D).



Figuur 5: A) gemiddelde turbiditeit in de compartimenten, B) gemiddelde diepte waarop nog 10% van de PAR beschikbaar is, C) box plot van de log10-getransformeerde turbiditeit data per compartiment en D) log10-getransformeerde diepte, per compartiment, waarop nog 10% van de PAR beschikbaar is.

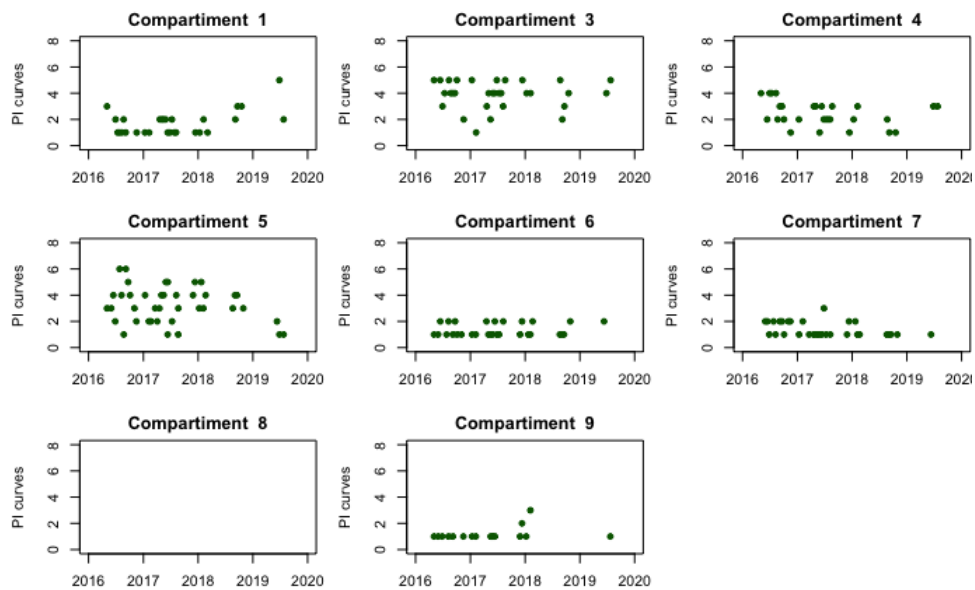
FRRF-metingen

De FRRF heeft gedurende het gehele MONEOS-project, dat liep van 2016 tot en met 2019, een totaal van 813 lichtcurves gemeten, wat voor de meeste meetcampagnes neerkomt op 1 tot 4 lichtcurves per compartiment (Figuur 6). In de compartimenten 3 en 5 ligt dit aantal hoger aangezien dit grotere compartimenten zijn (Figuur 1) en er daardoor langer gemeten kan worden. In compartiment 8, is in 4 jaar slechts 1 lichtcurve gemeten. Ook zijn er periodes geweest waarin het FRRF-instrument om verschillende redenen geen curves heeft gemeten (Figuur 6 en Appendix A).



Figuur 6: Gemeten lichtcurves tijdens de MONEOS-campagnes per compartiment.

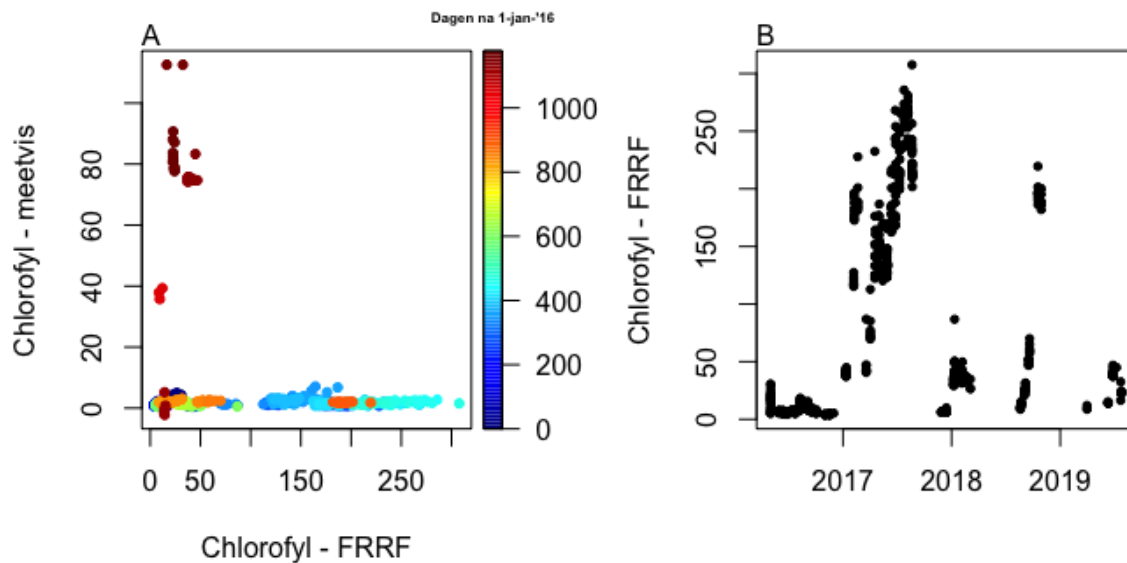
Niet alle lichtcurves die worden gemeten zijn ook daadwerkelijk bruikbaar, omdat het instrument bij 'slechte' metingen de curve afbreekt of omdat er geen meetvisdata beschikbaar zijn. De 'eisen' waarin een curve moet voldoen zijn beschreven op pagina 11. In totaal zijn er 625 kwalitatief goede PI curves gemeten, waarvan er 157 niet gematched konden worden met de beschikbare meetvisdata. Dat maakt dat er in totaal 468 PI curves zijn gemeten, die gebruikt konden worden om de primaire productie te berekenen (Figuur 7).



Figuur 7: Aantal lichtcurves, per compartiment, die geschikt zijn voor de berekening van de primaire productie.

FRRF-parameters

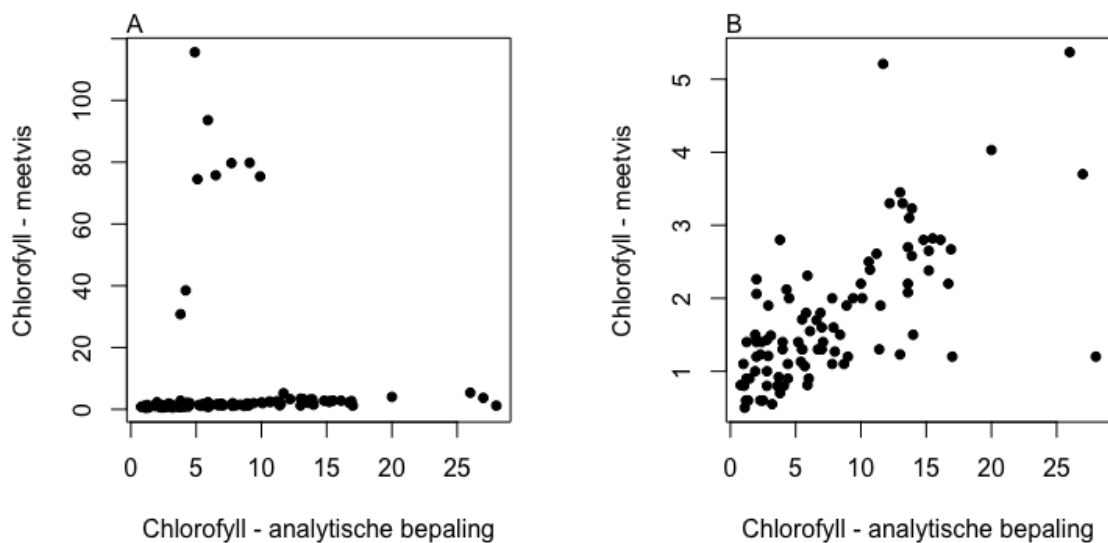
Een van de parameters die wordt gemeten met de FRRF is de chlorofylconcentratie. Omdat deze parameter ook onafhankelijk gemeten wordt met een sensor op de meetvis, is het interessant deze te vergelijken (Figuur 8A). De relatie tussen beide chlorofylmetingen loopt zeer sterk uiteen en is reden tot zorg. Later komen we hier nog uitgebreider op terug, maar voor nu is het belangrijk op te merken dat met name in 2017 de chlorofylmetingen met de FRRF bijzonder hoog zijn ($>100 \mu\text{g L}^{-1}$) (Figuur 8B).



Figuur 8: A) Relatie tussen de chlorofyl concentratie ($\mu\text{g/L}$) gemeten met de FRRF en de meetvis. De kleur van de symbolen geeft de dag sinds de start van de tijdserie (01-01-2016) aan en B) De chlorofyl bepaling van de FRRF voor alle compartimenten voor de gehele meetperiode.

Chlorofyl wordt in de RWS-monitoring ook gemeten met een fluometrische bepaling in het laboratorium. De relatie tussen deze analytische- en meetvismeting is lineair voor de gehele periode (Figuur 9), behoudens enkele uitschieters van de meetvis (Figuur 9B). De relatie wijkt echter wel af van de verwachte 1:1 relatie. Waar deze afwijking vandaan komt is onduidelijk, maar blijkbaar wordt niet al het chlorofyl in het water opgepikt wordt door de fluorescentie sensor op de meetvis of meet de meetvissensor fluorescentie dat niet als chlorofyl moet worden opgevat.

De uitschieters in chlorofylmeting van de meetvis (Figuur 9A) dateren van eind 2019, wanneer zeer hoge waarden worden gemeten (zie ook Appendix B). De goede correlatie tussen de analytische en meetvismetingen duidt erop dat de hoge chlorofylmetingen van de FRRF onrealistisch zijn. Dit komt overeen met een eerdere data-analyse van Soetaert et al. (2006) die laat zien dat chlorofyl concentraties van $> 20 \mu\text{g L}^{-1}$ weinig voorkomen in de Westerschelde.

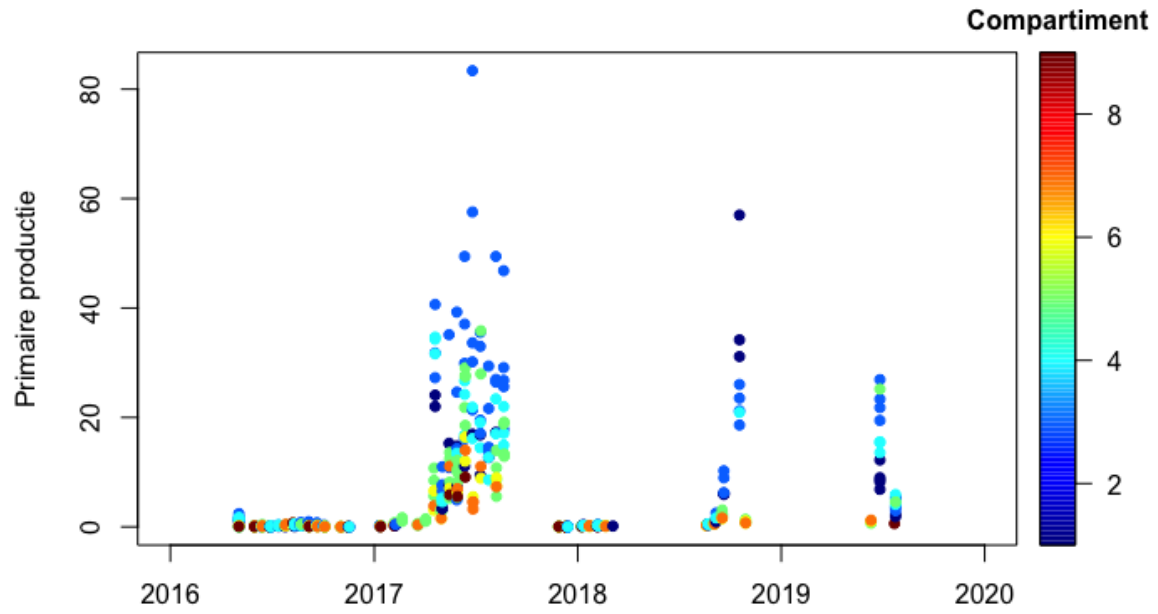


Figuur 9: A) Relatie tussen de analytische en meetvismeting van het chlorofyll ($\mu\text{g L}^{-1}$) en B) zelfde relatie als in A), maar zonder de uitschieters in de meetvisdata.

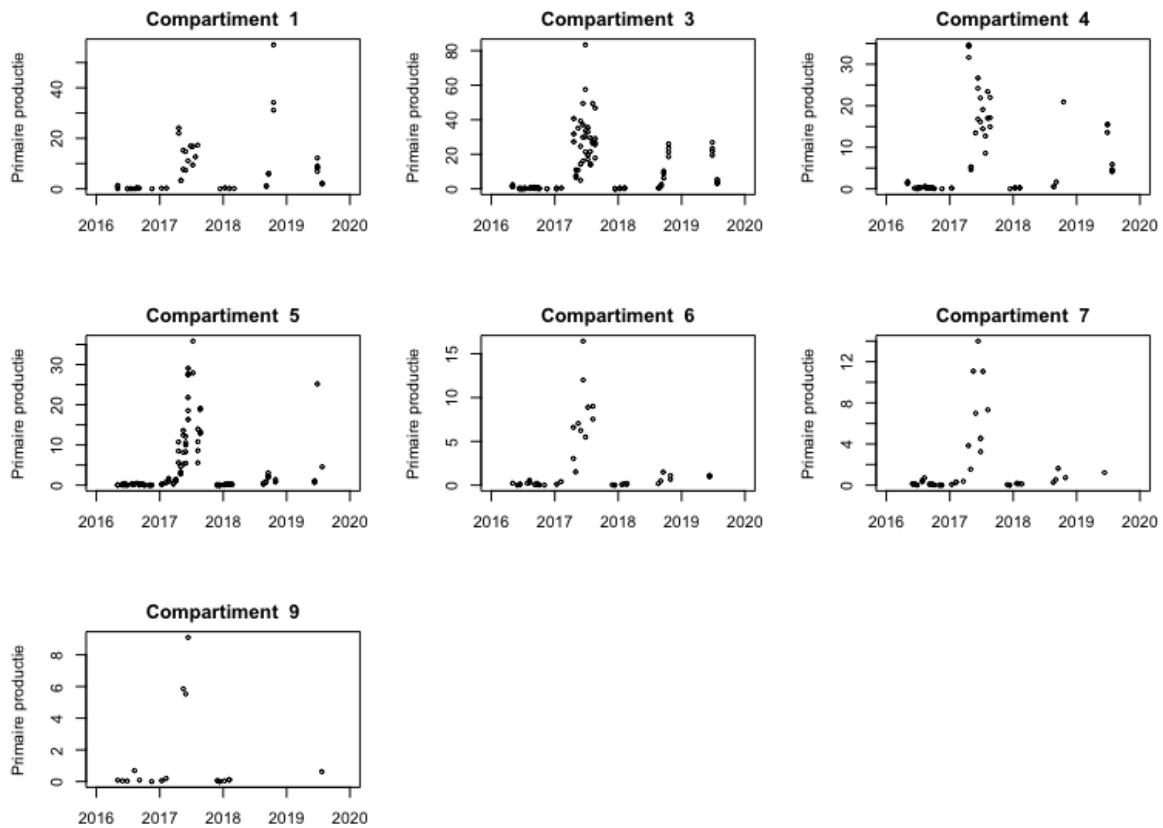
De parameter F'_q / F'_m wordt soms gebruikt als indicator voor de ‘gezondheid’ van de algen (Kromkamp and Forster, 2003). Deze indicator is bekeken, maar de verschillen tussen compartimenten waren zeer klein en daar was bovendien geen duidelijk seizoencyclus in te herkennen. Daarom wordt deze parameter niet verder toegelicht.

Primaire productieschattingen

Op basis van de PAR, PI-curves uit de FRRF en de op turbiditeit gebaseerde K_d zijn schattingen gedaan voor de primaire productie ($\text{g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$) voor de jaren 2016 – 2019 (Figuur 10). De berekende primaire producties zijn ook weergegeven per compartiment (Figuur 11) en zijn als ruwe data beschikbaar in Appendix C. Wat direct opvalt zijn de zeer hoge waarden voor primaire productie in met name 2017, eind 2018 en 2019, in vergelijking met de primaire productie in 2016. De zeer hoge primaire productie zijn ook in de eerdere rapportages opgevallen en vermeld. Helaas zitten er in de tijdserie voor 2018 en 2019 flinke gaten in de metingen, waardoor een seizoendynamiek niet onderzocht kan worden.

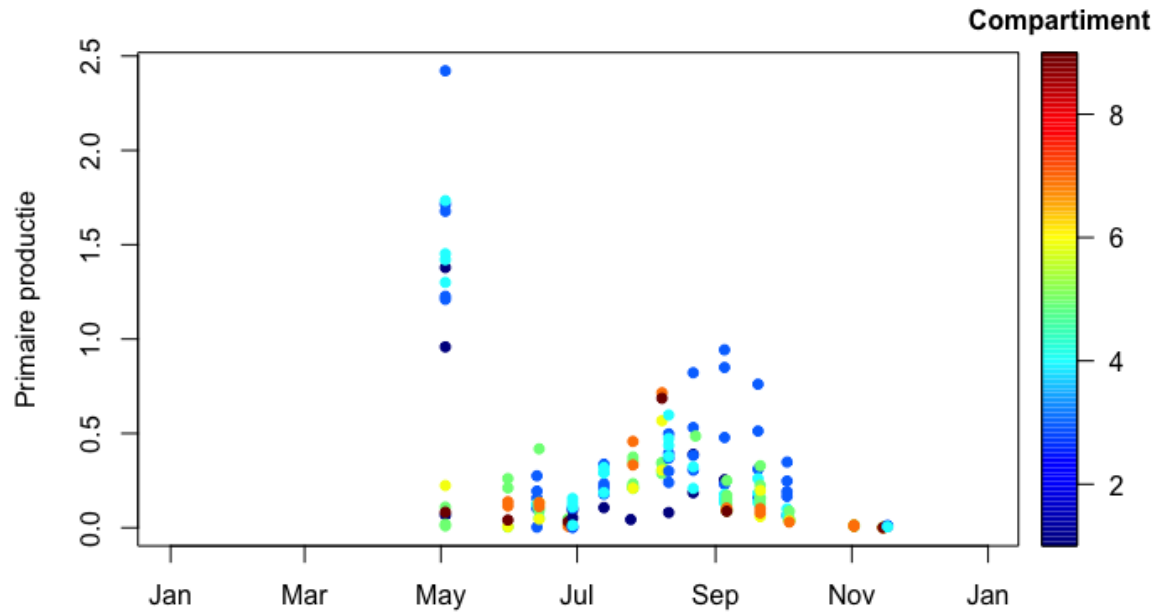


Figuur 10: Primaire productie ($\text{g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$) voor de Westerschelde in de periode 2016-2019. De kleurcode geeft aan voor welk compartiment de productie is bepaald.



Figuur 11: Primaire productie ($\text{g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$) per compartiment voor de Westerschelde in de periode 2016-2019.

Voor 2016 is er echter wel een mooie tijdserie over het hele jaar gemeten, hoewel de metingen slechts in mei zijn begonnen. Deze serie laat een duidelijke voorjaarsbloei zien met hoge primaire productie in de meest westelijke compartimenten van de Westerschelde (Figuur 12). Ook is een duidelijke najaarsbloei te zien (Figuur 12), met wederom de hoogste primaire productie in de meest westelijke compartimenten. Aangezien dit ook de compartimenten zijn met de laagste turbiditeit, is een hogere lichtbeschikbaarheid een van de sturende factoren hierin.



Figuur 12: Primaire productie (g C m⁻² d⁻¹) voor alle Westerschelde compartimenten in het jaar 2016.

Op basis van de dagproducties in Figuur 1 hebben we een interpolatie gemaakt naar de jaarlijkse primaire productie per compartiment (

Tabel 1). Hierbij moet rekening worden gehouden dat voor sommige compartimenten slechts een beperkt aantal metingen beschikbaar was (Figuur 7) en dat de variatie in dagproducties tussen de verschillende jaren erg groot was (Figuur 10).

Tabel 1: Jaarlijkse primaire productie (gC m⁻² y⁻¹) voor de jaren 2016-2019 voor de verschillende Westerschelde compartimenten. Ook is aangegeven op basis van hoeveel PI curves de jaarlijkse productie is geschat.

Compartiment	Jaar	Prim prod	Aantal PI curves
1	2016	143	12
1	2017	3322	17
1	2018	3871	12
1	2019	2075	7
3	2016	283	41
3	2017	6220	49
3	2018	2272	22
3	2019	5105	9
4	2016	244	29
4	2017	4663	24
4	2018	2135	9
4	2019	3689	6
5	2016	36	43
5	2017	2978	54
5	2018	228	29
5	2019	1493	4
6	2016	54	12
6	2017	1479	16
6	2018	159	9
7	2016	50	17
7	2017	1387	17
7	2018	160	8
9	2016	42	6
9	2017	1254	8
9	2018	38	4

Discussie

Het doel van het MONEOS-project was om FRRF-metingen op te nemen in het monitoringsprogramma van RWS van de Westerschelde om zodoende schattingen te krijgen van de primaire productie. FRRF heeft zich in het laboratorium (Oxborough et al., 2012) en in onderzoekscampagnes (Aardema et al., 2019) bewezen als betrouwbare techniek om primaire productie te meten. Er is echter nog weinig ervaring met de inzet van FRRF in reguliere monitoringprogramma's en het is dan ook te verwachten dat er zich praktische problemen zullen voordoen. In dit licht, heeft dit project helder laten zien 1) wat de praktische problemen van de FRRF inzet tijdens monitoring kunnen zijn, 2) hoe deze problemen kunnen worden opgelost en 3) dat de FRRF-methodologie inderdaad de unieke mogelijkheid biedt om primaire productie, een belangrijk proces in het ecosysteem van estuaria en kustsystemen, met hoge temporele en ruimtelijke resolutie te monitoren tegen een lage kostprijs.

Hieronder zullen we daarom specifieke aanbevelingen doen de verdere implementatie van de FRRF succesvol te laten verlopen, maar eerst bediscussiëren we kort de resultaten.

Lichtuitdovingscoëfficiënt (K_d)

Door de hoge turbiditeit en de relatief hoge nutriëntconcentraties in de Westerschelde wordt de primaire productie in het systeem over het algemeen gelimiteerd door de beschikbaarheid van licht in het water (Kromkamp et al., 1995). Daarom is het belangrijk goede schattingen te hebben van de lichtbeschikbaarheid in de gehele waterkolom. In deze rapportage is de relatie tussen turbiditeit en de lichtuitdovingscoëfficiënt (K_d) uit de volledige tijdserie gebruikt, wat een gebruikelijke is methode voor dit type opschalingen (Capuzzo et al., 2018). Uit de data zijn een aantal uitschieters verwijderd, waarbij, ondanks een zeer hoge turbiditeit, toch een relatief lage K_d werd gemeten. De K_d wordt op dit moment bepaald door het schip stil te leggen, de meetvis te laten duiken en de afname van de hoeveelheid licht te meten tijdens deze duik. Als tijdens de duik het invallend licht (bv. door bewolking) verandert, dan kan dit onverwacht hoge of lage K_d waarden opleveren. Er is tijdens het project geëxperimenteerd met de implementatie van 2 lichtsensoren op de

meetvis (op circa 1 m afstand van elkaar) om daarmee de K_d continue te kunnen meten, maar het bleek lastig om de sensor die het dichtst bij het wateroppervlakte zat onder water te houden tijdens de meting (Jacco Kromkamp, pers. comm.) en daarom is deze methode niet verder doorgezet. Aangezien de relatie tussen turbiditeit en K_d zoals deze nu gebruikt is gebruikelijk is in de literatuur, wordt aangeraden deze door te zetten.

Chlorofyl bepalingen

In de berekening van de primaire productie worden chlorofylmetingen van de meetvis niet gebruikt, maar aangezien chlorofyl op 3 onafhankelijke manieren wordt bepaald en deze metingen sterk van elkaar verschillen is het zinvol om hier kort aandacht aan te besteden. De chlorofylmeting uit de FRRF is erg variabel en geeft, zeker in 2017 en delen van 2018 en 2019, erg hoge waarden van $>20 \mu\text{g L}^{-1}$, die geen correlatie vertonen met de meetvisdata en de analytische chlorofylbepaling. De hoge chlorofylwaarden uit de FRRF zijn een rechtstreeks gerelateerd aan de hoge primaire productiebepalingen voor 2017 en worden daarom in de volgende sectie besproken.

De relatie tussen chlorofyl bepalingen in het laboratorium en de meetvissensor gaven, zoals verwacht, een lineaire verband. Echter, de relatie is niet 1:1, waarin de analytische bepalingen consequent hoger zijn dan die van de meetvis. Afwijkingen tussen chlorofyl bepalingen in het laboratorium en met een sensor zijn niet ongebruikelijk (Kuha et al., 2020; Proctor and Souza, 2001) en kunnen onder andere veroorzaakt door algensamenstelling, troebelheid van het water en aanwezigheid van fluorescerend opgelost organisch materiaal. Echter, het verschil is voor de Westerschelde groot en kan aanleiding zijn voor extra onderzoek. Opvallend is dat de relatie tussen beide variabelen voor Markermeer eenzelfde afwijking laten zien (Nicole Dijkman, pers. obs.).

Primaire productie

Voor een discussie van de primaire productie bepalingen in de Westerschelde moet een duidelijk onderscheid gemaakt worden tussen 2016 en de jaren 2017-2019.

De data uit 2016 laten duidelijk zien wat de meerwaarde van de FRRF in het monitoringsprogramma. De metingen laten een duidelijke voor- en najaarsbloei van het fytoplankton te zien. Daarnaast is er een duidelijke ruimtelijke variatie in de primaire productie te zien, met een hogere primaire productie in de heldere westelijke compartimenten. Deze ruimtelijke trend komt overeen met primaire productie metingen op basis van ^{14}C -incubaties (Kromkamp et al., 1995). Ook de jaarlijkse productie in 2016, variërend van $36 \text{ g C m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ (compartiment 5) tot $282 \text{ g C m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ (compartiment 2), is vergelijkbaar met deze eerdere metingen. De jaarlijkse primaire productie in het westelijk deel van de Westerschelde is vergelijkbaar met meso-trofische estuaria op het noordelijke halfrond, maar de jaarlijkse productie in de troebele oostelijke compartimenten is relatief laag (Cloern et al., 2014). Het voortzetten van deze meetreeks gaat waardevolle informatie opleveren over het functioneren van het ecosysteem. Belangrijk is nog op te merken dat deze MONEOS-aanpak veel efficiënter is dan de klassieke ^{14}C incubaties, waarbij het verkrijgen van primaire productie data met deze temporele en ruimtelijke dekking tienduizenden euro's extra had gekost.

De primaire productiewaarden zijn in de periode 2017-2019, en met name in 2017, duidelijk hoger dan in 2016. Dagproducties van $>30 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ zijn veel hoger dan eerder gemeten waarden voor de Westerschelde (Kromkamp et al., 1995; Underwood and Kromkamp, 1999) en ook hoger dan voor andere estuaria (Cloern et al., 2014). Deze hoge waarden zijn ook in de eerdere rapportages naar voren gekomen. Omdat er destijds geen goede verklaring voor deze hoge waarden werd gevonden, werd de volgende berekening gedaan. De fotosynthese parameters uit de FRRF werden gestandaardiseerd naar algenbiomassa door te delen door de FRRF-chlorofyl meting. De gestandaardiseerde parameters zijn vervolgens gebruikt voor de berekening van de absolute primaire productie door te vermenigvuldigen met chlorofyldata van de meetvissensor. Dit leek destijds een acceptabele oplossing. Recent heeft Nicole Dijkman (RWS) echter een plausibele verklaring gevonden voor de hoge chlorofyl en primaire productie metingen van de FRRF. In het FRRF-instrument wordt de meetcuve op omgevingstemperatuur gehouden door koelwater. Dit koelwater is een gescheiden systeem, maar de fluorescentiemeting, waaruit chlorofyl en primaire productie wordt gemeten, loopt *door* dit koelwater. Zolang dit koelwater 'schoon' (= vrij van algen) blijft is dit geen probleem, maar als het koelwater en -systeem niet na elke meetdag grondig wordt gereinigd, dan

kunnen er in de loop der tijd algen in het koelsysteem gaan groeien. Als dit gebeurt worden de metingen verstoord en worden er meer chlorofyl en een hogere primaire productie gemeten dan dat reëel is voor de Westerschelde water aanwezig is. Het is essentieel om dit voor de toekomst tegen te gaan en we werken in de aanbevelingen uit hoe deze 'algenvervuiling' te voorkomen en te detecteren.

Door de grote gaten in de tijdserie in 2018 (ook opgemerkt in de eerdere MONEOS-rapportage) en 2019 is het lastiger om deze verstoring voor deze series te beoordelen. Het lijkt er echter op dat er eind 2018 opnieuw algengroei in het koelsysteem heeft plaatsgevonden.

Helaas is het *a posteriori* niet precies vast te stellen welke metingen in tijdserie vertekend zijn door vervuiling van het koelwater in de FRRF en welke niet, aangezien er geen controlemetingen zijn uitgevoerd die een juiste werking van de FRRF konden garanderen. Voor deze controlemetingen worden onderstaand aanbevelingen gedaan. Ook zijn er geen parallelle ¹⁴C-metingen uitgevoerd die als onafhankelijke controle kunnen dienen.

Aanbevelingen

Zoals reeds beschreven in de introductie had dit project de volgende doelen: 1) de haalbaarheid te testen, 2) praktische aanbevelingen te doen en 3) te onderzoeken of de FRRF in deze setting bruikbare resultaten oplevert. Het is gebleken dat het haalbaar is om de FRRF in te zetten tijdens de monitoringstochten, maar er zijn wel praktische hobbels te nemen om de datakwaliteit te borgen. In eerdere rapportages werden er aanbevelingen gedaan om de data flow te verbeteren, zoals een snelle overdracht van de data meetvis- en FRRF-data met een kort verslag naar de persoon/instantie die data gaat verwerken en het legen van het interne geheugen van de FRRF worden geleegd volgens voorschrift fabrikant (zie, Kromkamp, 2019b). Deze aanbevelingen zijn inmiddels zijn overgenomen door RWS en worden hier niet meer verder besproken.

Borging van de kwaliteit van de FRRF-metingen:

- Er moet een protocol komen voor het schoonmaken van de FRRF. Een eerste stap hierin is de aanschaf geweest van een 'solenoid' unit die een spoelroutine kan afwerken waarbij het cuvet en de slangen worden schoongespoeld. Een tweede stap is dat de FRRF voor en na elke meetdag gereinigd wordt om vervuiling te voorkomen. Van dit onderhoudsprotocol is een eerste versie beschikbaar bij het NIOZ, welke op aanvraag gedeeld zal worden.
- Ook wordt aangeraden om aan het begin en einde van elke meetdag drie controlemetingen te doen. Ten eerste, moet de 'dark chamber' worden verwijderd en moet de fluorescentie gemeten worden van een referentie materiaal, waarvoor we op dit moment een type plexiglas gebruiken. De gemeten fluorescentie moet binnen bepaalde grenzen liggen zodat zeker is dat de lichtbron in de FRRF naar behoren werkt. Ten tweede, moet er een 'nulmeting' met de FRRF worden gedaan met milli-Q in de meetcuvet. De actieve fluorescentie van milli-Q water is verwaarloosbaar klein en daarom zou deze meting zeer lage fluorescentie moeten weergeven. Een verhoogde fluorescentie is dan waarschijnlijk het gevolg van vervuiling van het koelwater met algengroei en kan daarmee opgespoord worden. Bij een te hoge fluorescentie moet het systeem worden schoongemaakt. Ten derde, wordt een meting aangeraden met een gefilterd watermonster uit de Westerschelde om de achtergrondfluorescentie te bepalen van bijvoorbeeld fluorescerend opgelost organisch materiaal. Samen met een frequente overdracht en check van de data zullen deze controlestappen ervoor zorgen de FRRF voor langere tijd kwalitatieve data zal leveren. Een uitgebreid protocol voor deze controlestappen is beschikbaar op aanvraag bij NIOZ-Yerseke.
- De FRRF meet primaire productie als elektronentransport, maar deze getallen moeten omgezet worden naar koolstof-eenheden. Het verdient aanbeveling om gedurende enkele malen in het jaar primaire productie metingen te doen met ^{13}C (aan boord) of ^{14}C (in het laboratorium) om deze omrekeningsfactor vast te stellen.
- De medewerkers die de monitoring doen van de MWTL-programma's waarbij ook de FRRF ingezet wordt moeten een instructie krijgen over het gebruik van de FRRF en wat te doen als er problemen zijn met de FRRF.

Conclusies

We concluderen dat de inzet van de FRRF de mogelijkheid biedt om de primaire productie in de Westerschelde te meten met een hoge temporele en ruimtelijke dekking tegen relatief lage kosten. Ook is er software ontwikkeld, in R bij het NIOZ en via easyFRRF voor RWS, die de verwerking van de data grotendeels automatiseert. Het potentieel dat de FRRF biedt is in het meetjaar 2016 zeker gerealiseerd. Helaas is de dataset van het meetjaar 2017 verdacht om bovengenoemde redenen en zijn er voor de jaren 2018 en 2019 weinig metingen beschikbaar. We concluderen ook, met name op basis van de resultaten in 2017, dat er aanvullende stappen nodig zijn om de kwaliteit van de FRRF-metingen te garanderen. Deze zijn met name gericht op het plegen van extra onderhoud aan de FRRF en het doen van aanvullende blanco- en controlemetingen om zeker te zijn van een juiste werking van de FRRF.

Literatuur

- Aardema, H.M., Rijkeboer, M., Lefebvre, A., Veen, A., Kromkamp, J.C., 2019. High-resolution underway measurements of phytoplankton photosynthesis and abundance as an innovative addition to water quality monitoring programs. *Ocean Sci.* 15, 1267–1285. <https://doi.org/10.5194/os-15-1267-2019>
- Capuzzo, E., Lynam, C.P., Barry, J., Stephens, D., Forster, R.M., Greenwood, N., McQuatters-Gollop, A., Silva, T., van Leeuwen, S.M., Engelhard, G.H., 2018. A decline in primary production in the North Sea over 25 years, associated with reductions in zooplankton abundance and fish stock recruitment. *Glob. Chang. Biol.* 24, e352–e364. <https://doi.org/10.1111/gcb.13916>
- Cloern, J.E., Foster, S.Q., Kleckner, A.E., 2014. Phytoplankton primary production in the world's estuarine-coastal ecosystems. *Biogeosciences* 11, 2477–2501. <https://doi.org/10.5194/bg-11-2477-2014>
- Eilers, P.H.C., Peeters, J.C.H., 1988. A model for the relationship between light intensity and the rate of photosynthesis in phytoplankton. *Ecol. Modell.* 42, 199–215. [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(88\)90057-9](https://doi.org/10.1016/0304-3800(88)90057-9)
- Kromkamp, J., Peene, J., van Rijswijk, P., Sandee, A., Goosen, N., 1995. Nutrients, light and primary production by phytoplankton and microphytobenthos in the eutrophic, turbid Westerschelde estuary (The Netherlands). *Hydrobiologia* 311, 9–19. <https://doi.org/10.1007/BF00008567>
- Kromkamp, J.C., 2019a. Primaire productie in de Westerschelde in bepaald m.b.v. de Fast Repetition Rate fluorometrie techniek - MONEOS voortgangsrapport 2017 en 2018.
- Kromkamp, J.C., 2019b. Primaire productie m.b.v. Fast Repetition Rate Fluorometry.
- Kromkamp, J.C., 2016. Primaire productie in de Westerschelde in 2016 bepaald m.b.v. de Fast Repetition Rate fluorometrie techniek - MONEOS voortgangsrapport 2016.
- Kromkamp, J.C., Dijkman, N.A., Peene, J., Simis, S.G.H., Gons, H.J., 2008. Estimating

phytoplankton primary production in Lake IJsselmeer (The Netherlands) using variable fluorescence (PAM-FRRF) and C-uptake techniques. *Eur. J. Phycol.* 43, 327–344. <https://doi.org/10.1080/09670260802080895>

Kromkamp, J.C., Forster, R.M., 2003. The use of variable fluorescence measurements in aquatic ecosystems: Differences between multiple and single turnover measuring protocols and suggested terminology. *Eur. J. Phycol.* 38, 103–112. <https://doi.org/10.1080/0967026031000094094>

Kuha, J., Järvinen, M., Salmi, P., Karjalainen, J., 2020. Calibration of in situ chlorophyll fluorometers for organic matter. *Hydrobiologia* 847, 4377–4387. <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04086-z>

Lawrenz, E., Silsbe, G., Capuzzo, E., Ylöstalo, P., Forster, R.M., Simis, S.G.H., Prášil, O., Kromkamp, J.C., Hickman, A.E., Moore, C.M., Forget, M.H., Geider, R.J., Suggett, D.J., 2013. Predicting the Electron Requirement for Carbon Fixation in Seas and Oceans. *PLoS One* 8, 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0058137>

Maris, T., Bruens, A., Van Duren, L., Vroom, J., Holzhauer, H., De Jonge, M., Van Damme, S., Nolte, A., Kuijper, K., Taal, M., Jeuken, C., Kromkamp, J., Van Wesenbeeck, B., Van Ryckegem, G., Van den Bergh, E., Wijnhoven, S., Meire, P., 2014. Evaluatiemethodiek Schelde-estuarium.

Oxborough, K., Moore, C.M., Suggett, D.J., Lawson, T., Chan, H.G., Geider, R.J., 2012. Direct estimation of functional PSII reaction center concentration and PSII electron flux on a volume basis: A new approach to the analysis of Fast Repetition Rate fluorometry (FRRf) data. *Limnol. Oceanogr. Methods* 10, 142–154. <https://doi.org/10.4319/lom.2012.10.142>

Proctor, L.M., Souza, A.C., 2001. Method for enumeration of 5-cyano-2,3-ditoyl tetrazolium chloride (CTC)-active cells and cell-specific CTC activity of benthic bacteria in riverine, estuarine and coastal sediments. *J. Microbiol. Methods* 43, 213–222.

R Development Core Team, 2015. R: A language and environment for statistical computing.

- Silsbe, G.M., Oxborough, K., Suggett, D.J., Forster, R.M., Ihnken, S., Komárek, O., Lawrenz, E., Prášil, O., Röttgers, R., Šicner, M., Simis, S.G.H., Van Dijk, M.A., Kromkamp, J.C., 2015. Toward autonomous measurements of photosynthetic electron transport rates: An evaluation of active fluorescence-based measurements of photochemistry. *Limnol. Oceanogr. Methods* 13, 138–155. <https://doi.org/10.1002/lom3.10014>
- Soetaert, K., Middelburg, J.J., Heip, C., Meire, P., Van Damme, S., Maris, T., 2006. Long-term change in dissolved inorganic nutrients in the heterotrophic Scheldt estuary (Belgium, The Netherlands). *Limnol. Oceanogr.* 51, 409–423. https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0409
- Underwood, G.J.C., Kromkamp, J., 1999. Primary production by phytoplankton and microphytobenthos in estuaries. *Adv. Ecol. Res.* 29, 93–153.

Appendix A: Overzicht van beschikbare FRRF en meetvis bestanden

Overzicht van de beschikbare datasets van de FRRF en de meetvis in de jaren 2016-2019.

Datum	FRRF data	Meetvis data
20160111	Geen data	OK
20160113	Geen data	OK
20160208	Geen data	OK
20160209	Geen data	OK
20160307	Geen data	OK
20160310	Geen data	OK
20160405	Geen data	OK
20160406	Geen data	OK ¹
20160422	Geen data	Onduidelijk ²
20160502	OK	Geen data
20160503	OK	OK
20160505	Geen data	Geen data ³
20160530	Geen data ⁴	
20160613	OK	OK
20160614	OK	OK
20160627	OK	OK
20160629	OK	OK
20160713	OK	OK
20160714	Geen data	OK
20160725	OK	OK
20160726	OK	OK
201600808	OK	OK
201600811	OK	OK
201600822	OK	OK
201600823	OK	OK
201600905	OK	OK
201600906	OK	OK
201600920	OK	OK
201600921	OK	OK
201601003	OK	OK
201601004	OK	OK
201601018	Geen data	OK
201601019	Geen data	OK
201601102	OK	OK
201601115	OK	OK

201601117	OK	OK
201601201	OK?, slechts 1 file	OK
201601212	OK	Geen data
201601214	OK	Geen data
201601229	OK	Geen data
20170111	OK	OK
20170112	OK	OK
20170123	OK	Geen data
20170206	OK	OK ⁵
20170208	OK	OK ⁵
20170220	OK	OK ⁶
20170307	Geen data	OK
20170309	Geen data	Deels OK ⁷
20170320	OK	OK
20170403	OK	OK
20170405	OK	Geen data
20170418	OK	OK
20170420	OK	OK ⁸
20170501	OK	OK
20170503	OK	OK ⁹
20170515	OK	OK
20170516	OK	OK
20170529	OK	OK
20170530	OK	OK
20170612	OK	OK
20170613	OK	OK
20170626	OK	OK
20170627	OK	OK
20170710	OK	OK
20170711	OK ¹⁰	OK
20170725	OK	OK
20170726	Geen data	OK
20170807	OK	OK
20170808	OK	OK
20170821	OK	OK
20170822	OK	OK
20170904	Geen data	OK
20170906	Geen data	OK
20170919	Geen data	OK
20170921	Geen data	OK
20171003	Geen data	OK
20171018	Geen data	OK
20171019	Geen data	OK
20171113	OK	Geen data
20171121	Geen data	OK

20171128	OK	OK
20171211	OK	OK
20171214	OK	OK
20171227	OK	Geen data
20180108	OK	OK
20180111	OK	OK
20180122	OK	OK
20180205	OK	OK
20180206	OK	OK ¹¹
20180220	OK	OK
20180305	OK	OK
20180308	Geen data	OK
20180319	Geen data	OK
20180404	Geen data	OK
20180416	Geen data	OK
20180419	Geen data	OK
20180430	Geen data	OK
20180501	Geen data	OK
20180516	Geen data	OK
20180517	Geen data	OK
20180528	Geen data	OK
20180530	Geen data	OK
20180611	Geen data	OK
20180614	Geen data	OK
20180626	Geen data	OK
20180628	Geen data	OK
20180704	OK	Geen data
20180709	Geen data	OK ¹²
20180710	Geen data	OK
20180806	Geen data	OK ¹²
20180711	OK	Geen data
20180712	OK	Geen data
20180809	Geen data	OK
20180820	OK	OK ¹²
20180823	OK	OK
20180903	OK	OK ¹²
20180906	OK	OK
20180917	OK	OK ¹²
20180920	OK	OK
20181001	OK	Geen data
20181015	Geen data	OK ¹²
20181018	OK	OK
20181029	OK	OK
20181112	Geen data	OK
20181113	Geen data	OK

20190107	Geen data	OK
20190109	Geen data	OK
20190124	Geen data	OK ¹³
20190204	Geen data	OK
20190221	Geen data	OK
20190305	Geen data	OK ¹³
20190306	Geen data	OK
20190318	Geen data	OK
20190401	OK	OK ¹³
20190404	Geen data	OK
20190415	Geen data	OK
20190418	Geen data	OK
20190429	Geen data	OK ^{12,13}
20190430	Geen data	OK
20190513	Geen data	OK ^{12,13}
20190514	Geen data	OK
20190527	Geen data	OK ^{12,13}
20190528	Geen data	OK
20190611	OK	OK ^{12,13}
20190612	Geen data	OK
20190624	Geen data	OK ^{12,13}
20190627	OK	OK
20190709	OK (slechts 1 file)	OK ^{12,13}
20190711	Geen data	OK
20190723	OK (slechts 2 files)	OK ¹² (GPS problemen)
20190725	OK	OK
20190808	Geen data	OK
20190902	OK	Geen data
20190903	OK	Geen data
20190917	OK	Geen data

¹ Herschikking van de data naar 05 april to 06 april (ipv 06 april to 05 April) in the xls sheet

² Data in de file zijn van 20 april, niet 22 april

³ Meetvis bestandsnaam suggereert dat er ook data moeten zijn van 05-mei-2016, maar niet beschikbaar

⁴ Er is wel een folder aangemaakt, maar geen FRRF file beschikbaar

⁵ Herschikking van data naar 6-feb gevolgd door 8-feb (ipv andersom)

⁶ File hernoemd, want data zijn van 20-feb ipv 24-feb

⁷ File herschikt + deel van locatie data missen

⁸ File herschikt

⁹ File herschikt + naam file naar datum 3-mei

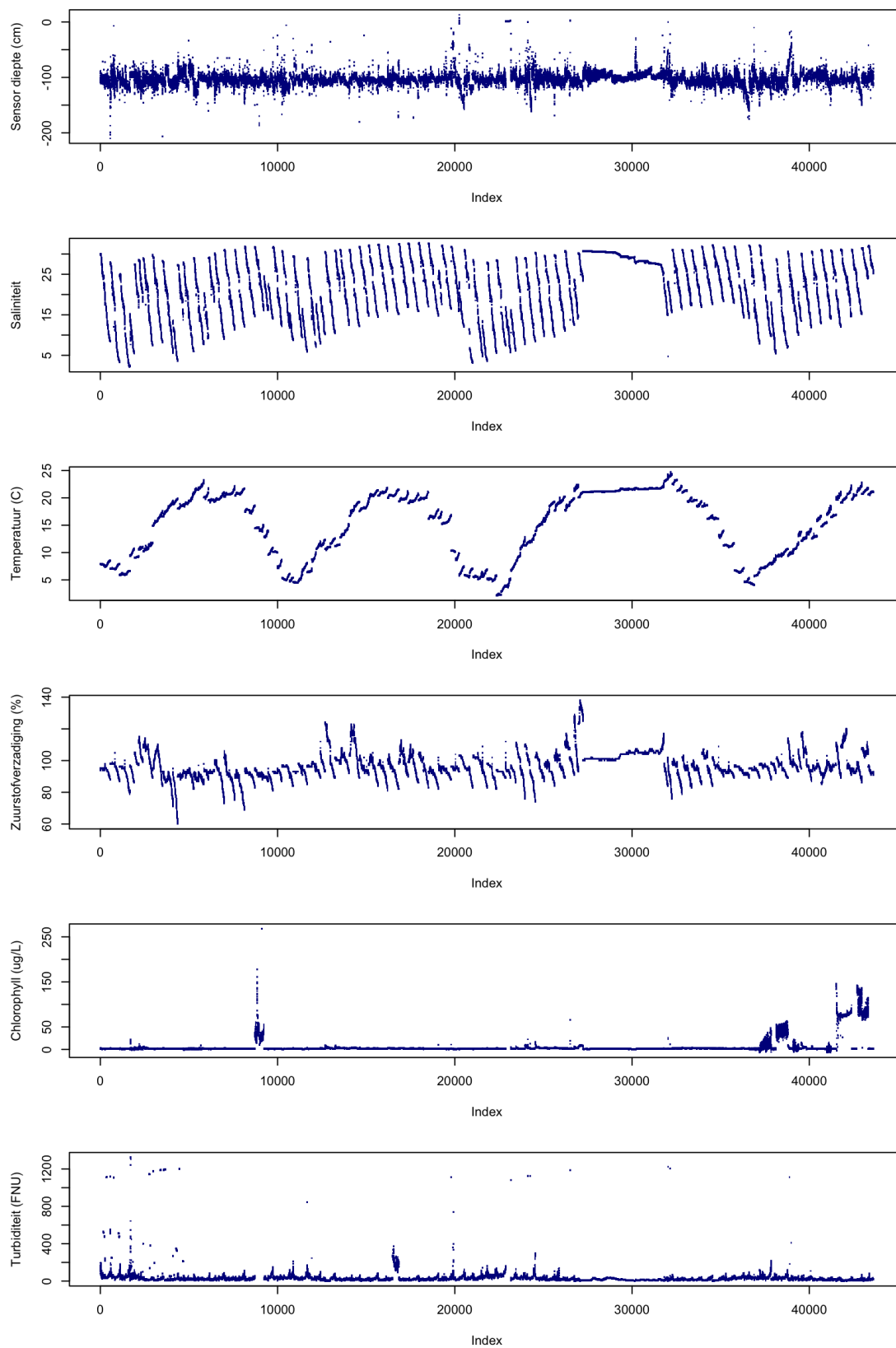
¹⁰ Files van januari 2017 uit folder verwijderd

¹¹ File herschikt

¹² File herschikt

¹³ Rij met 999 gewist

Appendix B: Ruwe meetvisdata over de periode 2016-2019



Appendix C: Primaire productie per compartiment voor de periode 2016-2019

Datum	Compartiment	Prim prod (mg C m⁻² d⁻¹)
2016-05-03 11:07:44	1	6.734150e+01
2016-05-03 11:22:50	1	9.583698e+02
2016-05-03 11:37:56	1	1.378973e+03
2016-05-03 11:53:03	3	1.677233e+03
2016-05-03 12:08:08	3	2.421838e+03
2016-05-03 12:23:16	3	1.713209e+03
2016-05-03 12:38:22	3	1.210389e+03
2016-05-03 12:53:28	3	1.226583e+03
2016-05-03 13:08:34	4	1.451911e+03
2016-05-03 13:23:41	4	1.300309e+03
2016-05-03 13:38:47	4	1.420334e+03
2016-05-03 13:54:00	4	1.733525e+03
2016-05-03 16:28:53	5	1.097862e+02
2016-05-03 16:43:59	5	9.394067e+00
2016-05-03 17:14:19	5	1.975084e+01
2016-05-03 17:28:14	6	2.239148e+02
2016-05-03 18:09:36	9	8.261696e+01
2016-05-31 15:02:11	5	2.111967e+02
2016-05-31 15:37:33	5	2.605459e+02
2016-05-31 15:51:24	5	4.353472e+00
2016-05-31 16:05:30	6	5.776827e+00
2016-05-31 16:19:30	7	1.378333e+02
2016-05-31 16:34:54	7	1.153113e+02
2016-05-31 16:50:00	9	4.068919e+01
2016-06-13 09:20:30	3	3.108247e+00
2016-06-13 09:35:43	3	2.755570e+02
2016-06-13 10:11:41	3	1.025371e+02
2016-06-13 10:27:23	3	1.942912e+02
2016-06-13 10:42:29	3	1.578936e+02
2016-06-13 11:08:39	4	1.253352e+02
2016-06-13 11:25:13	4	1.234424e+02
2016-06-14 13:41:36	5	4.180867e+02
2016-06-14 13:54:21	5	5.159956e+01
2016-06-14 14:07:16	5	8.984457e+01
2016-06-14 14:34:34	5	1.003350e+02
2016-06-14 14:48:37	6	4.567746e+01

Datum	Compartiment	Prim prod (mg C m⁻² d⁻¹)
2016-06-14 15:02:37	6	1.340596e+02
2016-06-14 15:16:38	7	1.328469e+02
2016-06-14 15:30:36	7	1.127760e+02
2016-06-27 13:14:53	5	1.915198e+01
2016-06-27 13:29:49	5	4.801262e+01
2016-06-27 14:32:02	7	7.586236e+00
2016-06-27 14:47:08	9	3.246780e+01
2016-06-29 09:14:42	1	9.509155e+01
2016-06-29 09:29:22	1	5.182479e+01
2016-06-29 09:41:50	3	1.821586e+00
2016-06-29 09:54:19	3	2.902617e+00
2016-06-29 10:20:29	3	1.025626e+02
2016-06-29 10:48:20	4	1.109109e+02
2016-06-29 11:02:54	4	1.554133e+02
2016-06-29 11:15:29	4	1.315984e+02
2016-06-29 11:29:30	4	1.354884e+01
2016-07-13 08:55:08	1	1.069482e+02
2016-07-13 09:33:30	3	2.115137e+02
2016-07-13 09:47:30	3	2.328947e+02
2016-07-13 09:59:58	3	1.787848e+02
2016-07-13 10:16:40	3	3.366791e+02
2016-07-13 10:41:46	4	3.194535e+02
2016-07-13 11:06:32	4	2.901021e+02
2016-07-13 11:21:39	4	1.864772e+02
2016-07-13 11:36:43	4	2.933872e+02
2016-07-25 18:12:36	1	4.370194e+01
2016-07-26 11:04:27	5	2.334829e+02
2016-07-26 11:16:47	5	2.084067e+02
2016-07-26 11:41:50	5	2.129593e+02
2016-07-26 11:54:27	5	2.197635e+02
2016-07-26 12:08:24	5	3.523925e+02
2016-07-26 12:20:56	5	3.746594e+02
2016-07-26 12:34:57	6	2.095709e+02
2016-07-26 13:02:53	7	3.329293e+02
2016-07-26 13:17:57	7	4.576007e+02
2016-08-08 08:02:39	5	3.406465e+02
2016-08-08 08:16:50	5	3.034265e+02
2016-08-08 08:30:49	5	3.457400e+02
2016-08-08 08:54:30	5	2.869462e+02
2016-08-08 09:09:45	6	3.057603e+02

Datum	Compartment	Prim prod (mg C m⁻² d⁻¹)
2016-08-08 09:24:48	6	5.674355e+02
2016-08-08 09:39:54	7	7.155744e+02
2016-08-08 09:55:00	9	6.863044e+02
2016-08-11 07:56:15	1	8.068905e+01
2016-08-11 08:11:20	3	2.401132e+02
2016-08-11 08:35:51	3	3.954997e+02
2016-08-11 08:50:56	3	3.682076e+02
2016-08-11 09:06:03	3	2.999530e+02
2016-08-11 09:21:09	3	4.976546e+02
2016-08-11 09:36:15	4	4.730917e+02
2016-08-11 09:51:23	4	5.974536e+02
2016-08-11 10:06:28	4	3.781383e+02
2016-08-11 10:21:34	4	4.363805e+02
2016-08-22 16:51:36	1	3.892158e+02
2016-08-22 17:06:59	1	1.857308e+02
2016-08-22 17:22:05	3	5.310544e+02
2016-08-22 17:36:03	3	8.216440e+02
2016-08-22 17:51:20	3	3.835026e+02
2016-08-22 18:06:40	3	3.049227e+02
2016-08-22 18:22:01	4	3.229899e+02
2016-08-22 18:37:07	4	2.083238e+02
2016-08-23 11:39:04	5	4.859492e+02
2016-09-05 16:50:09	1	2.542939e+02
2016-09-05 17:05:15	3	9.430965e+02
2016-09-05 17:20:29	3	8.494910e+02
2016-09-05 17:35:35	3	4.782527e+02
2016-09-05 17:56:18	3	2.310827e+02
2016-09-05 18:11:24	4	1.512701e+02
2016-09-05 18:28:09	4	1.766965e+02
2016-09-05 18:42:19	4	1.337458e+02
2016-09-06 08:57:30	5	1.721444e+02
2016-09-06 09:12:35	5	1.257833e+02
2016-09-06 09:27:39	5	1.000290e+02
2016-09-06 09:42:45	5	8.904903e+01
2016-09-06 09:57:51	5	2.502328e+02
2016-09-06 10:12:55	5	1.492691e+02
2016-09-06 10:28:01	6	9.026454e+01
2016-09-06 10:43:07	7	1.040074e+02
2016-09-06 10:58:12	7	9.336340e+01
2016-09-06 11:13:17	9	8.708531e+01

Datum	Compartiment	Prim prod (mg C m⁻² d⁻¹)
2016-09-20 16:54:07	3	5.124724e+02
2016-09-20 17:08:02	3	7.606876e+02
2016-09-20 17:23:26	3	3.105112e+02
2016-09-20 17:38:32	3	1.612848e+02
2016-09-20 17:53:38	4	2.605405e+02
2016-09-20 18:07:19	4	1.829748e+02
2016-09-20 18:21:32	4	1.355720e+02
2016-09-21 11:06:07	5	3.286390e+02
2016-09-21 11:21:15	5	1.570406e+02
2016-09-21 11:36:21	5	1.295284e+02
2016-09-21 11:51:28	5	1.580373e+02
2016-09-21 12:06:34	5	2.248366e+02
2016-09-21 12:21:39	6	1.980486e+02
2016-09-21 12:36:46	6	5.932386e+01
2016-09-21 12:51:51	7	7.869213e+01
2016-09-21 13:06:59	7	1.014585e+02
2016-10-03 15:55:31	3	6.485653e+01
2016-10-03 16:06:58	3	2.477087e+02
2016-10-03 16:25:13	3	3.482311e+02
2016-10-03 16:40:19	3	1.664038e+02
2016-10-03 16:55:26	3	1.918040e+02
2016-10-03 17:15:39	4	1.000746e+02
2016-10-03 17:29:34	4	6.805090e+01
2016-10-04 08:14:11	5	4.702787e+01
2016-10-04 08:28:22	5	4.013753e+01
2016-10-04 08:43:44	5	3.578459e+01
2016-10-04 08:58:52	5	8.754558e+01
2016-10-04 09:24:07	6	3.816099e+01
2016-10-04 10:07:41	7	3.024698e+01
2016-11-02 07:15:00	5	6.774473e+00
2016-11-02 07:28:43	5	1.020456e+01
2016-11-02 07:56:55	5	1.541374e+01
2016-11-02 08:09:42	6	1.190497e+01
2016-11-02 08:23:48	7	1.446533e+01
2016-11-02 08:51:49	7	7.193244e+00
2016-11-15 07:52:40	5	2.500706e+00
2016-11-15 08:06:51	5	2.208752e+00
2016-11-15 09:04:39	7	1.107736e+00
2016-11-15 09:18:42	7	1.193438e+00
2016-11-15 09:31:56	9	7.810394e-01

Datum	Compartment	Prim prod (mg C m⁻² d⁻¹)
2016-11-17 15:08:50	1	8.408366e+00
2016-11-17 15:42:49	3	8.478695e+00
2016-11-17 16:09:06	3	1.141116e+01
2016-11-17 16:33:22	4	5.344833e+00
2017-01-11 12:19:15	1	2.198932e+02
2017-01-11 12:34:21	3	2.417833e+02
2017-01-11 12:49:28	3	2.033007e+02
2017-01-11 13:04:34	3	9.269206e+01
2017-01-11 13:19:40	3	1.518956e+02
2017-01-11 13:34:46	3	1.297307e+02
2017-01-11 13:49:53	4	1.427654e+02
2017-01-11 14:04:59	4	1.451739e+02
2017-01-12 08:06:04	5	2.131848e+02
2017-01-12 08:21:12	5	2.076612e+02
2017-01-12 08:36:18	5	1.503619e+02
2017-01-12 08:51:22	5	1.616021e+02
2017-01-12 09:06:27	6	1.059716e+02
2017-01-12 09:21:32	7	6.880666e+01
2017-01-12 09:38:16	9	4.964668e+01
2017-02-06 14:58:43	5	6.436146e+02
2017-02-06 15:13:47	5	7.507505e+02
2017-02-06 15:28:54	6	4.058518e+02
2017-02-06 15:44:01	7	3.168567e+02
2017-02-06 15:59:07	7	2.779011e+02
2017-02-06 16:14:13	9	1.912412e+02
2017-02-08 11:11:36	1	2.819963e+02
2017-02-08 11:28:24	3	4.655879e+02
2017-02-20 11:13:37	5	1.676359e+03
2017-02-20 11:28:43	5	1.006038e+03
2017-03-20 08:10:41	5	6.334341e+02
2017-03-20 08:25:53	5	3.169461e+02
2017-03-20 08:40:57	5	3.318803e+02
2017-03-20 10:48:52	7	3.752015e+02
2017-04-03 12:46:56	5	1.470189e+03
2017-04-03 13:02:02	5	1.016212e+03
2017-04-18 11:24:50	5	8.493200e+03
2017-04-18 11:39:57	5	5.616781e+03
2017-04-18 11:55:03	5	1.074489e+04
2017-04-18 12:11:49	6	6.595762e+03
2017-04-18 12:26:54	6	3.040753e+03

Datum	Compartiment	Prim prod (mg C m⁻² d⁻¹)
2017-04-18 12:41:58	7	3.840829e+03
2017-04-20 08:35:40	1	2.407594e+04
2017-04-20 08:52:42	1	2.200822e+04
2017-04-20 09:12:46	3	4.065282e+04
2017-04-20 09:30:01	3	2.726531e+04
2017-04-20 09:46:46	3	3.179128e+04
2017-04-20 10:04:24	4	3.163417e+04
2017-04-20 10:22:12	4	3.467293e+04
2017-04-20 10:40:29	4	3.429533e+04
2017-05-01 12:01:31	5	4.634619e+03
2017-05-01 12:16:36	5	2.952618e+03
2017-05-01 12:35:07	5	2.749474e+03
2017-05-01 12:56:39	5	3.297754e+03
2017-05-01 13:19:41	6	1.522058e+03
2017-05-01 13:41:16	7	1.545709e+03
2017-05-03 07:29:48	1	3.338170e+03
2017-05-03 07:44:54	1	3.334232e+03
2017-05-03 08:00:00	3	1.099486e+04
2017-05-03 08:15:46	3	7.702099e+03
2017-05-03 08:31:46	3	7.494943e+03
2017-05-03 08:48:16	3	6.505207e+03
2017-05-03 09:05:26	4	5.295003e+03
2017-05-03 09:22:31	4	5.106047e+03
2017-05-03 09:39:43	4	4.602031e+03
2017-05-15 16:57:10	1	1.527623e+04
2017-05-15 17:12:16	1	7.741773e+03
2017-05-15 17:32:21	3	3.512841e+04
2017-05-15 17:56:55	3	1.083997e+04
2017-05-16 09:19:39	5	1.360114e+04
2017-05-16 09:34:44	5	8.163047e+03
2017-05-16 09:51:46	5	5.212227e+03
2017-05-16 10:10:01	5	1.241591e+04
2017-05-16 10:29:36	6	7.051225e+03
2017-05-16 10:51:01	7	1.107576e+04
2017-05-16 11:12:31	9	5.859410e+03
2017-05-29 16:57:03	1	1.477575e+04
2017-05-29 17:12:09	1	7.393183e+03
2017-05-29 17:33:40	3	3.925434e+04
2017-05-29 17:51:31	3	2.462024e+04
2017-05-29 18:10:03	3	4.935632e+03

Datum	Compartiment	Prim prod (mg C m⁻² d⁻¹)
2017-05-29 18:30:42	3	1.429664e+04
2017-05-29 18:52:15	4	1.347429e+04
2017-05-30 11:44:14	5	1.214278e+04
2017-05-30 11:59:20	5	1.057445e+04
2017-05-30 12:14:26	5	5.447157e+03
2017-05-30 12:33:06	5	8.298024e+03
2017-05-30 12:52:16	5	1.001472e+04
2017-05-30 13:12:22	6	6.242507e+03
2017-05-30 13:32:31	7	6.987607e+03
2017-05-30 13:53:37	9	5.532687e+03
2017-06-12 16:08:18	1	1.107235e+04
2017-06-12 16:23:25	3	1.607853e+04
2017-06-12 16:38:31	3	4.943219e+04
2017-06-12 16:53:36	3	3.706837e+04
2017-06-12 17:08:41	3	2.988826e+04
2017-06-12 17:23:48	4	2.668002e+04
2017-06-12 17:38:54	4	2.420312e+04
2017-06-12 17:54:59	4	1.679517e+04
2017-06-12 18:11:19	5	2.182514e+04
2017-06-13 07:50:18	5	1.634990e+04
2017-06-13 08:05:24	5	2.907711e+04
2017-06-13 08:20:29	5	2.744343e+04
2017-06-13 08:35:35	5	2.770725e+04
2017-06-13 08:51:07	5	1.854678e+04
2017-06-13 09:06:40	6	1.643941e+04
2017-06-13 09:22:13	6	1.200421e+04
2017-06-13 09:37:51	7	1.399348e+04
2017-06-13 09:53:28	9	9.096138e+03
2017-06-26 15:52:18	1	1.694640e+04
2017-06-26 16:07:32	3	3.017158e+04
2017-06-26 16:22:39	3	8.338050e+04
2017-06-26 16:37:45	3	5.754990e+04
2017-06-26 16:52:50	3	2.137938e+04
2017-06-26 17:07:55	3	3.364555e+04
2017-06-26 17:23:01	4	2.187624e+04
2017-06-26 17:38:45	4	1.614030e+04
2017-06-27 11:23:04	6	5.498087e+03
2017-06-27 11:38:11	7	4.570365e+03
2017-06-27 11:53:17	7	4.512719e+03
2017-06-27 12:08:23	7	3.254378e+03

Datum	Compartment	Prim prod (mg C m⁻² d⁻¹)
2017-07-10 15:13:38	1	1.681054e+04
2017-07-10 15:28:44	1	9.442244e+03
2017-07-10 15:43:50	3	3.552983e+04
2017-07-10 15:58:54	3	3.298812e+04
2017-07-10 16:13:58	3	1.950055e+04
2017-07-10 16:29:03	3	1.709090e+04
2017-07-10 16:44:09	4	1.908843e+04
2017-07-10 16:59:15	4	1.445816e+04
2017-07-11 07:25:50	5	3.582963e+04
2017-07-11 08:26:16	5	2.795128e+04
2017-07-11 08:47:53	6	8.895813e+03
2017-07-11 09:10:56	7	1.105237e+04
2017-07-25 15:30:06	1	1.266815e+04
2017-07-25 15:50:11	3	2.163217e+04
2017-07-25 16:09:36	3	2.939105e+04
2017-07-25 16:28:36	3	1.454515e+04
2017-07-25 16:49:34	3	1.383285e+04
2017-07-25 17:11:08	4	1.271617e+04
2017-07-25 17:32:43	4	8.580128e+03
2017-08-07 14:15:36	1	1.727551e+04
2017-08-07 14:38:40	3	2.643812e+04
2017-08-07 14:53:47	3	4.943041e+04
2017-08-07 15:15:21	3	2.695121e+04
2017-08-07 15:36:51	4	2.340215e+04
2017-08-07 15:58:24	4	1.700341e+04
2017-08-08 06:12:05	5	1.397379e+04
2017-08-08 06:27:57	5	8.611168e+03
2017-08-08 06:45:00	5	5.561919e+03
2017-08-08 07:03:30	5	1.081295e+04
2017-08-08 07:22:45	6	9.004442e+03
2017-08-08 07:42:27	6	7.537940e+03
2017-08-08 08:02:30	7	7.322411e+03
2017-08-21 14:48:58	3	4.681897e+04
2017-08-21 15:04:03	3	2.910867e+04
2017-08-21 15:19:08	3	2.561861e+04
2017-08-21 15:34:13	3	2.676856e+04
2017-08-21 15:49:18	3	1.783188e+04
2017-08-21 16:04:25	4	2.199506e+04
2017-08-21 16:19:30	4	1.710481e+04
2017-08-21 16:34:34	4	1.494208e+04

Datum	Compartment	Prim prod (mg C m⁻² d⁻¹)
2017-08-21 16:49:40	5	1.879401e+04
2017-08-22 08:04:10	5	1.289110e+04
2017-08-22 08:28:46	5	1.329542e+04
2017-08-22 08:53:22	5	1.912132e+04
2017-11-28 10:10:24	5	4.793317e+01
2017-11-28 10:25:30	5	4.653491e+01
2017-11-28 10:40:33	5	4.829451e+01
2017-11-28 10:54:16	5	4.312575e+01
2017-11-28 11:08:13	6	3.574697e+01
2017-11-28 11:23:34	7	4.681075e+01
2017-11-28 11:37:20	9	5.607745e+01
2017-12-11 12:59:05	5	6.197420e+00
2017-12-11 13:13:16	5	2.730300e+00
2017-12-11 13:27:34	5	2.280129e+00
2017-12-11 13:42:13	5	2.542465e+00
2017-12-11 13:56:19	5	3.637707e+00
2017-12-11 14:11:42	6	2.077275e+00
2017-12-11 14:25:26	6	1.794236e+00
2017-12-11 14:39:47	7	1.384429e+00
2017-12-11 14:53:58	7	1.656227e+00
2017-12-11 15:08:02	9	9.003905e-01
2017-12-11 15:22:07	9	8.041507e-01
2017-12-14 10:43:42	1	2.400581e+01
2017-12-14 11:14:01	3	2.090267e+01
2017-12-14 11:29:07	3	2.183603e+01
2017-12-14 11:42:51	3	2.295469e+01
2017-12-14 11:57:02	3	2.064508e+01
2017-12-14 12:11:05	3	1.418992e+01
2017-12-14 12:25:11	4	1.346517e+01
2018-01-08 12:04:22	5	1.196305e+02
2018-01-08 12:24:56	5	1.134703e+02
2018-01-08 12:40:02	5	9.769454e+01
2018-01-08 14:13:52	9	3.851461e+01
2018-01-11 08:56:31	1	3.853190e+02
2018-01-11 09:21:43	3	1.445538e+02
2018-01-11 09:52:02	3	2.187950e+02
2018-01-11 10:07:09	3	3.092059e+02
2018-01-11 10:22:13	3	2.280216e+02
2018-01-11 10:48:19	4	2.362656e+02
2018-01-11 11:03:36	4	2.060126e+02

Datum	Compartment	Prim prod (mg C m⁻² d⁻¹)
2018-01-22 08:31:53	5	2.051325e+02
2018-01-22 08:47:05	5	1.450439e+02
2018-01-22 09:02:11	5	1.466073e+02
2018-01-22 09:17:17	5	2.209851e+02
2018-01-22 09:32:21	5	1.880437e+02
2018-01-22 09:47:27	6	7.228042e+01
2018-01-22 10:02:33	7	1.918287e+02
2018-01-22 10:17:37	7	1.421670e+02
2018-02-05 10:21:57	5	3.629980e+02
2018-02-05 10:37:02	5	2.202373e+02
2018-02-05 10:52:07	5	2.623509e+02
2018-02-05 11:41:14	6	1.626133e+02
2018-02-05 11:58:23	7	1.400936e+02
2018-02-05 12:15:33	9	1.150615e+02
2018-02-05 12:33:03	9	1.056412e+02
2018-02-05 12:48:08	9	1.038650e+02
2018-02-06 17:43:47	1	1.030049e+02
2018-02-06 17:59:02	1	1.854453e+02
2018-02-06 18:14:07	3	3.552823e+02
2018-02-06 18:29:12	3	3.932412e+02
2018-02-06 18:44:19	3	2.223749e+02
2018-02-06 18:59:25	3	2.364253e+02
2018-02-06 19:14:31	4	2.597497e+02
2018-02-06 19:29:37	4	2.770223e+02
2018-02-06 19:44:42	4	2.539195e+02
2018-02-20 08:35:10	5	2.042779e+02
2018-02-20 08:50:16	5	1.814153e+02
2018-02-20 09:05:20	5	1.723616e+02
2018-02-20 09:21:41	5	2.560892e+02
2018-02-20 09:38:17	6	2.000108e+02
2018-02-20 09:54:59	6	9.963707e+01
2018-02-20 10:11:43	7	1.179167e+02
2018-03-05 15:49:33	1	1.454324e+02
2018-08-20 13:27:46	5	4.171249e+02
2018-08-20 13:49:38	5	2.593771e+02
2018-08-20 14:08:21	5	4.240816e+02
2018-08-20 14:27:04	6	1.775335e+02
2018-08-20 14:45:47	7	2.718938e+02
2018-08-23 13:09:04	3	4.379783e+02
2018-08-23 13:27:47	3	5.124206e+02

Datum	Compartment	Prim prod (mg C m⁻² d⁻¹)
2018-08-23 13:46:30	3	3.244439e+02
2018-08-23 14:05:13	3	4.789245e+02
2018-08-23 14:23:56	3	5.335204e+02
2018-08-23 14:42:39	4	5.520621e+02
2018-08-23 15:01:22	4	4.807321e+02
2018-09-03 10:21:06	5	8.638398e+02
2018-09-03 10:39:49	5	6.677337e+02
2018-09-03 10:58:33	5	7.403965e+02
2018-09-03 11:17:16	5	7.243823e+02
2018-09-03 11:35:59	6	4.728271e+02
2018-09-03 11:54:42	7	5.318068e+02
2018-09-06 11:09:53	1	9.128796e+02
2018-09-06 11:28:36	1	1.265558e+03
2018-09-06 11:47:19	3	2.536008e+03
2018-09-06 12:38:37	3	1.621560e+03
2018-09-06 12:57:20	4	1.673564e+03
2018-09-17 13:09:29	5	2.336225e+03
2018-09-17 13:28:12	5	2.308282e+03
2018-09-17 13:46:55	5	1.886982e+03
2018-09-17 14:05:38	5	3.079985e+03
2018-09-17 14:24:20	6	1.492447e+03
2018-09-17 14:43:03	7	1.632936e+03
2018-09-20 10:49:44	1	6.032388e+03
2018-09-20 11:08:27	1	5.914594e+03
2018-09-20 11:27:10	1	6.136681e+03
2018-09-20 11:45:52	3	6.244879e+03
2018-09-20 12:04:35	3	1.024505e+04
2018-09-20 12:23:18	3	8.961626e+03
2018-10-18 08:10:24	1	5.699656e+04
2018-10-18 08:29:07	1	3.418114e+04
2018-10-18 08:47:50	1	3.112801e+04
2018-10-18 09:20:56	3	2.351414e+04
2018-10-18 09:39:39	3	1.860423e+04
2018-10-18 09:58:23	3	2.122551e+04
2018-10-18 10:17:05	3	2.602343e+04
2018-10-18 10:35:48	4	2.092822e+04
2018-10-29 08:31:19	5	8.175590e+02
2018-10-29 08:50:02	5	8.441468e+02
2018-10-29 09:08:44	5	1.389961e+03
2018-10-29 09:27:27	6	1.089641e+03

Datum	Compartment	Prim prod (mg C m⁻² d⁻¹)
2018-10-29 09:46:10	6	6.661810e+02
2018-10-29 10:04:53	7	7.328729e+02
2019-06-11 12:00:09	5	1.065910e+03
2019-06-11 12:21:43	5	6.711609e+02
2019-06-11 12:59:09	6	9.697966e+02
2019-06-11 13:17:51	6	1.123933e+03
2019-06-11 13:36:34	7	1.222797e+03
2019-06-27 08:42:56	1	9.004791e+03
2019-06-27 09:01:39	1	8.616200e+03
2019-06-27 09:20:22	1	8.220540e+03
2019-06-27 09:39:04	1	1.221357e+04
2019-06-27 09:57:47	1	6.859887e+03
2019-06-27 10:16:30	3	2.690943e+04
2019-06-27 10:35:13	3	2.180045e+04
2019-06-27 10:53:56	3	2.335769e+04
2019-06-27 11:12:38	3	1.945250e+04
2019-06-27 11:31:21	4	1.356807e+04
2019-06-27 11:50:04	4	1.542269e+04
2019-06-27 12:08:47	4	1.553951e+04
2019-06-27 12:27:30	5	2.519158e+04
2019-07-23 14:13:15	9	6.187027e+02
2019-07-25 07:51:34	1	2.224441e+03
2019-07-25 08:10:16	1	1.864960e+03
2019-07-25 08:28:59	3	5.217051e+03
2019-07-25 08:47:42	3	2.945901e+03
2019-07-25 09:06:25	3	3.612363e+03
2019-07-25 09:25:07	3	5.440077e+03
2019-07-25 09:43:50	3	3.631301e+03
2019-07-25 10:02:33	4	5.903033e+03
2019-07-25 10:21:15	4	4.623035e+03
2019-07-25 10:39:58	4	4.104057e+03
2019-07-25 10:58:41	5	4.562935e+03