

# Analyse van continu gemeten temperatuur en chlorofyl concentratie als input van een groeimodel voor schelpdieren



## In het kader van RAAK PRO “Zilte Productie” Eindrapport

Auteur: B. Vanoverbeke  
Cursus: CU11068 DA Minor  
Instelling: HZ University of Applied Sciences  
Docent: J.P.A. van der Vleuten  
Uitgave: Vlissingen  
Datum: 1-07-2015

# Analyse van continu gemeten temperatuur en chlorofyl concentratie als input van een groeimodel voor schelpdieren

## Eindrapport

Cursus CU11068 DA Minor

© Colofon  
University of Applied sciences  
Vlissingen, 1 juli 2015  
Versie 1.3

Praktijkgericht onderzoek, CU11068 DA Minor 2014 - 2015.

Dit rapport bevat een data analyse met een conclusie en aanbevelingen omtrent het gebruik van continu gemeten temperatuur en chlorofyl concentratie als input voor een generiek groeimodel (DEB) van de Japanse oester (*Crassostrea gigas*).

Auteur:  
B. Vanoverbeke (studentennummer: 00065090)  
Postbus / straat: Edisonweg 4  
Postcode + plaats: 4382 NW Vlissingen  
E-mail adres: vano0001@hz.nl

Opdrachtgever: HZ University of Applied Sciences, Onderzoeksgroep Aquacultuur in Deltagebieden

Naam contactpersoon(en): Ing. T.M. van der Hiele; dr. Ir. J.W.M. Wijsman  
Postbus / straat: Edisonweg 4  
Postcode + plaats: 4382 NW Vlissingen  
E-mail adres: tony.vd.hiele@hz.nl; jeroen.wijsman@wur.nl

Naam Begeleider: drs. J.P.A. van der Vleuten  
Postbus / straat: Edisonweg 4  
Postcode + plaats: 4382 NW Vlissingen  
E-mail adres: j.van.der.vleuten@hz.nl

Toelichting omslagfoto: Off-bottom oesterteelt in mandjes in de Oosterschelde te Kattendijke, bij laagwater.

# Inhoudsopgave

## Voorwoord

## Samenvatting

<b>1. Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2. Theoretisch kader</b>	<b>7</b>
2.1. Geschiedenis en habitat	7
2.2. Voedsel en voedingswijze	7
2.3. Het DEB model	10
2.4. Invloed van omgevingsfactoren op voedingsactiviteit	11
<b>3. Data analyse</b>	<b>13</b>
3.1. Beschikbare velddata	13
3.2. Visualisatie	16
3.3. Filteren van artefacten	20
3.4. Conclusie	28
3.5. Discussie	29
<b>4. Modelsimulaties</b>	<b>31</b>
4.1. Resultaten	31
4.2. Conclusie	33
4.3. Discussie	33
<b>5. Conclusie</b>	<b>35</b>
<b>6. Aanbevelingen</b>	<b>36</b>
<b>Bibliografie</b>	<b>38</b>
<b>Bijlagen</b>	<b>42</b>
1. Stroomschema analyse van continu gemeten temperatuur en chlorofyl concentratie als input van een groei-model voor schelpdieren.	42
2. Centrum en spreiding data Kats	43
3. Centrum en spreiding data Kattendijke	44
4. Histogramverdeling temperatuurmetingen dataset dijkzijde Kats	45
5. Subset temperatuur en chlorofylmetingen Kattendijke boven	45
6. Subset temperatuur, chlorofyl- en troebelheidmetingen Kats dijkzijde	46
7. Subset onrealistische temperatuur- en chlorofylmetingen Kattendijke onder	46
8. Frequentie verdeling chlorofylmetingen Kats zeezijde bij wissel	47
9. Effect model 0, 1 en 2 op dagwaarde omgevingsvariabelen Kats dijkzijde	47
10. Correctie factoren chlorofylmetingen Kats	48
11. Hoogte van de fluorescentiemeters t.o.v. de bodem (in cm)	48
12. Dagwaarde troebelheid Kats dijkzijde	49
13. Correlatie troebelheid en chlorofylconcentratie dijkzijde Kats	49
14. Simulatie functionele respons dijkzijde Kats	50
15. Simulatie E in reserves dijkzijde Kats	50
16. Temperatuur dijkzijde Kats	51
17. Simulatie natgewicht dijkzijde Kats	51
18. Simulatie functionele respons Kattendijke boven	52
19. Simulatie E in reserves Kattendijke boven	52
20. Simulatie functionele respons Kattendijke onder	53
21. Simulatie E in reserves Kattendijke onder	53
22. R-script filter $0 < \text{chlorofyl} < 70 \mu\text{g l}^{-1}$	54
23. R-script filter droogval op basis van frequentie histogrammen	54

- |  |    |
|--|----|
| 24. R-script filter droogval op basis van het astronomisch getij | 54 |
| 25. R-script filter burst 10 secondenmetingen                    | 54 |

## Voorwoord

Aquacultuur wordt gezien als dé oplossing voor de wereldwijde uitputting van de visbestanden in de oceanen. Maar dit is niet altijd wat het lijkt. Bij gangbare aquacultuur praktijken ligt de focus vaak op zoveel mogelijk productie, zonder rekening te houden met de gevolgen voor het ecosysteem. Denk aan het gebruik van vismeel als voeder, die gemaakt is van wildvangst, de uitspoeling van geneesmiddelen en nutriënten, en habitat vernieling voor de aanleg van kwekerijen.

Zo'n kortzichtige praktijken kan ik niet aanvaarden. Daarom vind ik het belangrijk dat er andere, duurzame vormen van aquacultuur ontwikkeld worden waarbij voldaan wordt aan de behoeften van de mens, met zo weinig mogelijk negatieve impact op het milieu. Zo kunnen wij en onze kinderen ook later nog genieten van de rijkdommen van de oceanen.

Via deze minor heb ik de kans gekregen om een bijdrage te leveren aan de ontwikkeling van innovatieve en duurzame aquacultuur in de zuidwestelijke delta, wat aansluit bij mijn visie. Dit is voor mij een grote motivatie.

Tijdens mijn stage aan het Australian Institute of Marine Science lag de nadruk op verwerking en laboratorium analyse van staalnames, PhD assistentie met een gecontroleerd laboratorium experiment, en assistentie bij veldstaalname op zee. Deze minor was voor mij dan ook zeer leerrijk op het gebied van data verwerking en analyse, ook een belangrijke stap in de onderzoekscyclus.

Ik heb bewust gekozen voor deze minor om mezelf een uitdaging te geven. Ik werd dan ook regelmatig geconfronteerd met mezelf wanneer de dingen wat moeizamer verliepen. Zo heb ik veel tijd en energie moet spenderen aan het onder de knie krijgen van de R-programmeertaal, nodig voor het uitvoeren van mijn data analyse en model simulaties. Ook ondervond ik soms moeilijkheden om bij de essentie te blijven en mij niet te verliezen in detail.

Maar uiteindelijk ben ik tevreden met het resultaat en hoop ik met dit onderzoek een nuttige bijdrage geleverd te hebben voor de onderzoeksgroep.

Zonder de ondersteuning van mijn onderzoeksbegeleiders, Tony van der Hiele en Jeroen Wijsman, ging ik dit resultaat niet kunnen verwezenlijken. Daarom wil ik hen in het bijzonder bedanken voor hun professionele begeleiding, en het delen van hun expertise.

Ook wil ik Pauline Kamermans bedanken voor haar waardevolle bijdrage en ideeën.

Eva Hartog wil ik bedanken voor haar betrokkenheid en begeleiding in het veld. Jacob Cappelle dank ik voor de uitwisseling van data en inzichten.

Tevens wil ik Jan van der Vleuten bedanken voor het opvolgen en bijsturen van het proces.

Tot slot bedank ik Jouke Heringa, als programmaleider van Zilte Productie, voor het aanbieden van dit onderzoek en de positieve feedback.

Brecht Vanoverbeke,

30 juni 2015, Hertsberge, België

## Samenvatting

In het kader van het RAAK PRO project Zilte Productie wordt onder meer onderzoek uitgevoerd naar het effect van de lokale omgevingsvariabelen, temperatuur en chlorofyl concentratie, op de groei en ontwikkeling van schelpdieren. Hiervoor is continu data verzameld op twee kweeklocaties in de Oosterschelde bij Kats en Kattendijke. Deze gegevens worden gebruikt als invoer voor een generiek groeimodel (DEB) voor schelpdierenkweek. Dit onderzoek richt zich op pre-processing van de continu gemeten velddata naar daggemiddelde input die nodig is voor het model.

De hoofdvraag van dit onderzoek richt zich op het effect van lokale en temporele variatie van temperatuur en chlorofyl concentratie op de groei van de Japanse oester (*Crassostrea gigas*) in het Zilte Productie farmmodel. Daarbij is de verwachting dat continu gemeten data ter plekke accuratere groeivoorspellingen opleveren, die beter overeenkomen met de werkelijke situatie dan tweewekelijks tot maandelijks gemeten data van Rijkswaterstaat, op een nabijgelegen meetlocatie, zoals tot voorheen werd gebruikt.

Omdat de oesters en de fluorescentiemeters droogvallen moeten de metingen tijdens droogval uit de gegevens worden verwijderd. Bovendien zijn ook een aantal onrealistisch hoge waarden (tot  $470 \mu\text{g l}^{-1}$ ) gemeten. Na grondige data analyse zijn enkele filters ontwikkeld voor het automatisch verwijderen van deze artefacten uit de metingen.

Na analyse blijken, naast droogval een hoge waarden, meer artefacten aanwezig te zijn in de meetgegevens, mogelijk het gevolg van aangroei van macroalgen op de paal van bevestiging van de fluorescentiemeter, de aanwezigheid van bentische algen op de bodem, of het niet tussentijds kalibreren van de fluorescentiemeters. Voor het vermijden van deze additionele artefacten is een andere opstelling van de fluorescentiemeters aanbevolen, alsook tussentijdse kalibratie met een watermonster genomen ter plaatse op de meetlocatie.

Met nuancering van deze additionele artefacten in de metingen is geconcludeerd dat continu gemeten chlorofyl concentratie en temperatuur resulteren in een andere groei in het Zilte Productie farmmodel, dan met periodieke data van Rijkswaterstaat. Vanwege onrealistische simulatie resultaten ten gevolge van de instelling van de soort specifieke parameters is geen conclusie getrokken in vergelijking met werkelijke groei. Validatie met werkelijke groei resultaten is aanbevolen als onderwerp van vervolgstudie.

## 1. Inleiding

Dit rapport beschrijft de werkzaamheden van een onderzoeksminor in het kader van het voeren van toegepast onderzoek tijdens het zesde semester van de studie Aquatische Ecotechnologie. Bij de onderzoeksgroep Aquacultuur in Deltagebieden van de HZ University of Applied Sciences, wordt in het kader van het project RAAK PRO Zilte Productie, ondermeer onderzoek uitgevoerd naar het ontwikkelen van een model voor schelpdierenproductie voor off-bottom kweeksystemen in de zuidwestelijke delta.

Voorliggend onderzoek is onderdeel van dit project en richt zich op het optimaliseren van het productiemodel voor de Japanse oester (*Crassostrea gigas*), op basis van continu gemeten omgevingsvariabelen, temperatuur en chlorofyl concentratie.

### Aanleiding

De ontwikkeling van de aquacultuur kent een aantal randvoorwaarden vanuit de Europese wetgeving zoals de Kaderrichtlijn Water en de Natura-2000. Er mogen geen negatieve effecten optreden op de waterkwaliteit en voor diersoorten waarvoor instandhoudingsdoelen bestaan. Natura-2000 richt zich op instandhouding van de aantallen van soorten wat gemeten wordt via onder meer de voedselbeschikbaarheid en verstoring.

In combinatie met toenemende concurrentie van andere gebruikersfuncties als toerisme, natuur en kustverdediging, heeft de aquacultuursector in de zuidwestelijke delta tegenwoordig minder kansen om ruimtelijk uit te breiden. Deze situatie impliceert een economische stagnatie, en vraagt om onderzoek naar duurzame en innovatieve kweektechnieken om productiemaximalisatie te realiseren binnen de bestaande kweeklocaties (farm-scale niveau), zonder negatieve impact op de natuurlijke omgeving.

Er vindt al enkele jaren procesinnovatie plaats door schelpdierenkwekers in de zuidwestelijke delta. Door uitvoering van kleinschalige pilots wordt geëxperimenteerd met nieuwe kweektechnieken zoals hangculturen voor mosselen en off-bottom kweek van oesters in mandjes. Ook nieuwe locaties voor in-bottom kweek van kokkels en het kweken van een nieuwe soort, de tapijtschelp, worden verkend. Door ontwikkeling van nieuwe kweektechnieken tracht men optimaal gebruik te maken van beschikbare ruimte en voedsel in de waterkolom. Bovendien is er minder verlies door predatie van krabben en zeesterren in tegenstelling tot traditionele on-bottom kweek van oesters en mosselen. Er is echter nog nauwelijks kennis over het effect van lokale omgevingsfactoren en de invloed van tussentijds ingrijpen in het productieproces op de kwaliteit van schelpdieren. Uit interviews met kwekers rezen onder andere de vragen waarom productie met gelijke kweektechnieken verschilt per locatie, en hoe verschillend kweeklocaties zijn (HZ - Delta Academy, 2012).

### Zilte Productie

Om inzicht te verwerven in het complex aan factoren die een belangrijke rol spelen bij de optimalisatie van in- en off-bottom schelpdierproductie, is het vierjarig RAAK PRO project Zilte Productie (2013 – 2017) gestart. Dit project, gefinancierd door het ministerie van onderwijs, cultuur en wetenschap en bijdragen van ondernemers en onderzoeksinstituten, bestaat uit een samenwerking van de onderzoeksgroep aquacultuur van de HZ, IMARES, Wageningen UR, Dalhousie University (Canada) en innovatieve schelpdierenkwekers van de zuidwestelijke delta. Er wordt onderzoek verricht in drie verschillende watersystemen, de Oosterschelde, het Grevelingenmeer en het Veerse Meer. Hierbij worden 7 schelpdiersoorten bestudeerd, namelijk de Mossel (*Mytilus edulis*), Japanse oester (*Crassostrea gigas*), Platte oester (*Ostrea edulis*), Tapijtschelp (*Ruditapes philippinarum*), Kokkel (*Cerastoderma edule*) en een voor de aquacultuur in het gebied nieuwe soort met hogere marktwaarde, de Sint Jacobsschelp (*Chlamys opercularis*).

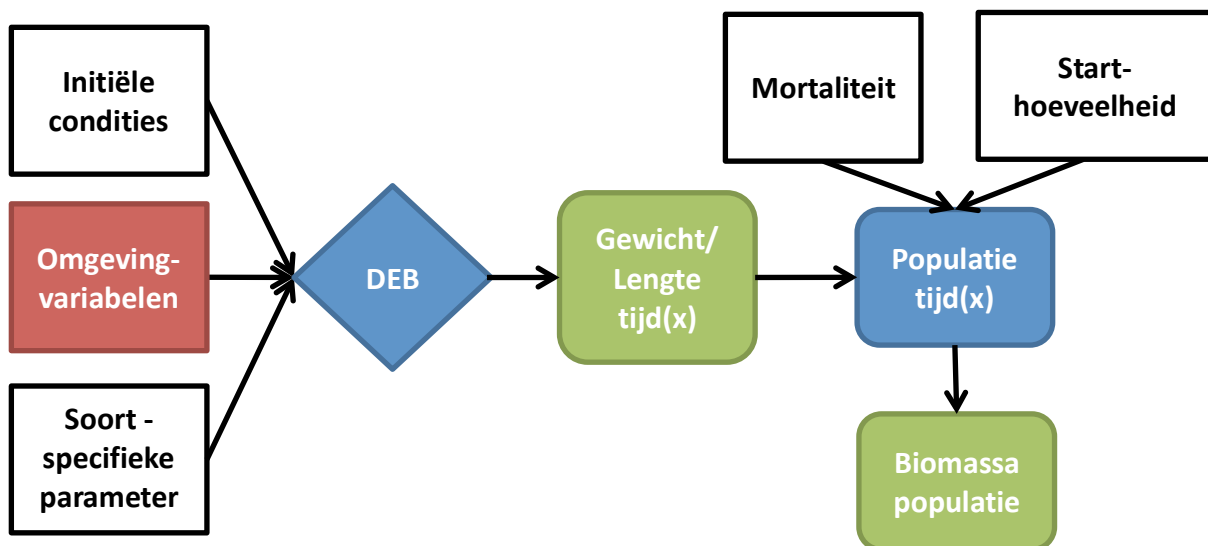
De onderzoeksvraag binnen Zilte Productie richt zich op het effect van stuurvariabelen op de buitendijkse in- en off bottom kweek van schelpdieren in relatie tot temporele variatie van omgevingsfactoren. Op basis van vergaarde kennis wordt een rekenmodel (het Zilte Productie farmmodel) ontwikkeld. Kwekers kunnen het model gebruiken om gericht in te grijpen in het productieproces om de opbrengst te verhogen.

Stuurvariabelen vormen het management gereedschap van de kweker. Ze bestaan uit begingrootte, zaaidichtheid van het uitgangsmateriaal, droogvalduur, en tijdstip en frequentie van uitdunnen. Men kan bijvoorbeeld variëren met het begin aantal en de begin grootte van de schelpdieren.

**Continu gemeten velddata**

Bestaande rekenmodellen die de formulerelaties tussen voedselaanbod en schelpdierengroei beschrijven volgens de Dynamic Energy Budget theorie (Kooijman, 2010) en mortaliteit en overleving (population dynamics) (Bijvoets, 2014), worden gebruikt om het Zilte Productie farmmodel voor de kweeklocaties in de zuidwestelijke delta te ontwikkelen.

De groei van een schelpdier wordt in het model omschreven volgens de DEB theorie, aan de hand van drie soorten input: omgevingsvariabelen, soort specifieke parameters en initiële condities van het organisme, zoals leeftijd en grootte. De uitkomst voor een individueel schelpdier kan gekoppeld worden aan een populatie dynamisch model voor het beschrijven van mortaliteit en overleving van een populatie (Afbeelding 1).



**Afbeelding 1: Schematische weergave modelstructuur voor de relatie van voedselopname, groei (Dynamic Energy Budget), mortaliteit en overleving (population dynamics) bij schelpdieren. Dit onderzoek richt zich op de input voor het model, omgevingsvariabelen (Bijvoets, 2014).**

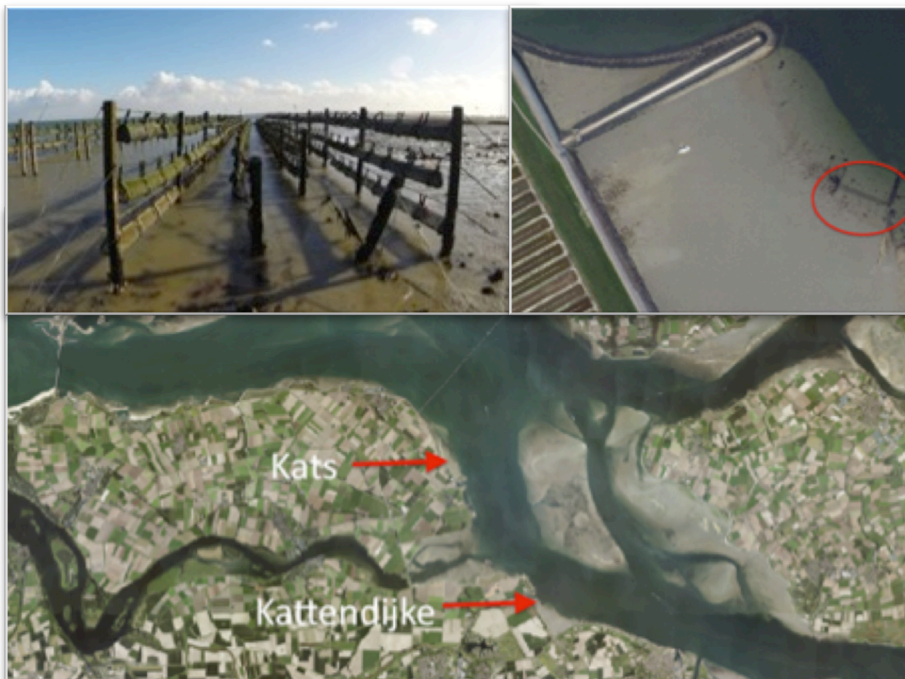
Tijdens het project Zilte Productie zijn fluorescentiemeters uitgezet op de specifieke kweeklocaties waarbij continu data voor omgevingsvariabelen temperatuur en chlorofyl concentratie gemeten worden. Op deze manier wordt het Zilte Productie farmmodel ontwikkeld op basis van continu gemeten data over de voedselomstandigheden.

Uitvoerige praktijkexperimenten naar groei en overleving bieden data voor het kalibreren en valideren van het model. In 2014 hebben enkele manipulatieve groei experimenten in de Oosterschelde bij Kats en Kattendijke de afrondings- en uitvoeringsfase respectievelijk bereikt (afbeelding 2 & 3). Temperatuur en chlorofyl data permanent ingewonnen tijdens deze meetcampagnes bieden de voeding voor dit onderzoek.





Afbeelding 2: Locatie van oesterteelt in zakken op tafels op de kweeklocatie bij Kats in het centrum van de Oosterschelde (onder & links boven). Het effect van begingrootte, droogvalduur en positie op het perceel op de groei en ontwikkeling van de Japanse oester is onderzocht, waarbij continu temperatuur en chlorofyl concentratie gemeten zijn (Capele, van Heumen, & Kamermans, 2014). Links t.o.v. de kweeklocatie bevindt zich een slik (Provincie Zeeland, 2015) (rechts boven).



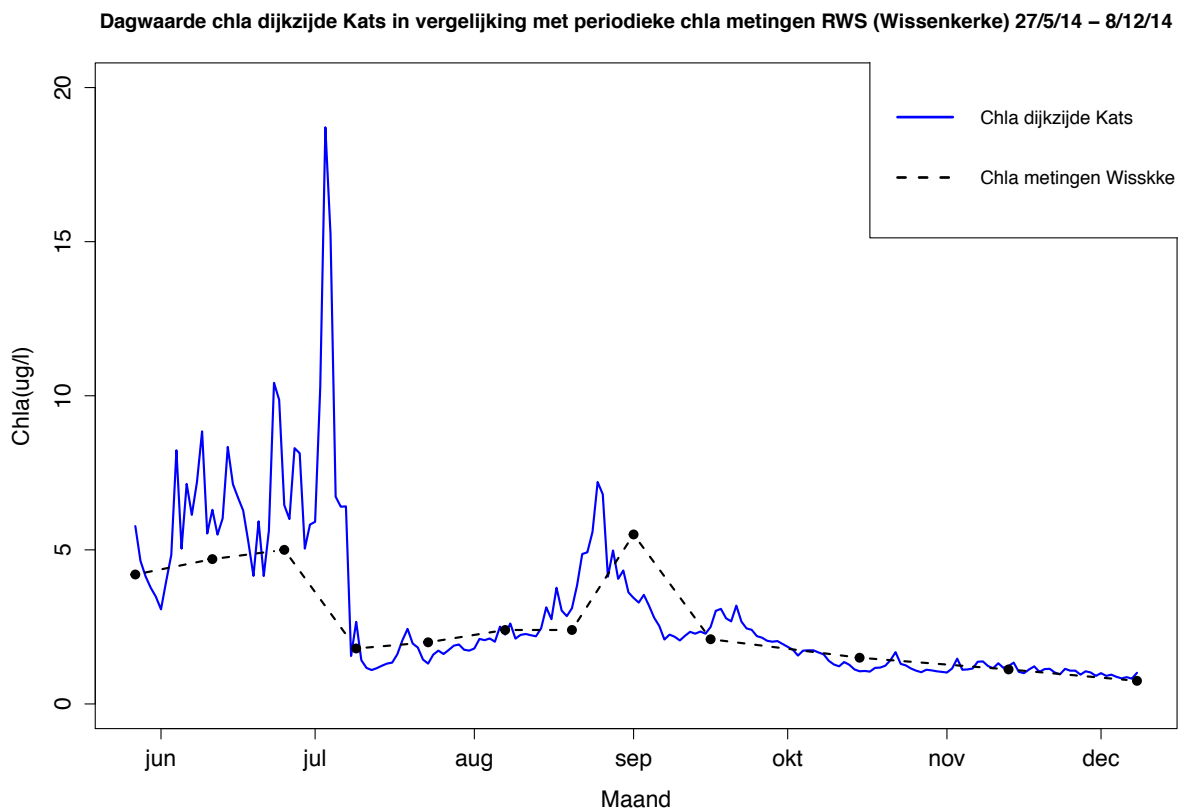
Afbeelding 3: Oesterteelt in mandjes op de kweeklocatie bij Kattendijke in het intergetijdengebied (onder & links boven). Het effect van droogvalduur op de groei en ontwikkeling van de Japanse oester wordt onderzocht, waarbij eveneens continu temperatuur en chlorofyl concentratie gemeten worden (Capelle & Hartog, 2014). De kweeklocatie ligt verder landinwaarts t.o.v. Kats, in de beschutting van een strekdam (rechts boven).

### Probleemstelling

Voor het genereren van een groeisimulatie in het Zilte Productie farmmodel wordt een daggemiddelde waarde voor temperatuur en chlorofyl concentratie gebruikt. Voor de Oosterschelde is data beschikbaar, gemeten door Rijkswaterstaat ter hoogte van Wissenkerke, Zijpe en Lodijkse Gat, op een periodieke basis van tweewekelijks of maandelijks (Rijkswaterstaat, 2015).

Deze waarden zijn niet continu, en niet lokaal gemeten op het kweekperceel (zie hoofdstuk, afbeelding 5). Daarbij is geen rekening gehouden met kortdurende fluctuaties in voedselaanbod. De Zilte Productie fluorescentiemeters hebben continu (per 10 of 20 min.) data verzameld ter plaatse van de kweeklocatie.

Tijdens laagwater, als de fluorescentiemeters droogvallen, is ook gemeten, maar omdat de meter dan niet in het water meet is deze meting een artefact (zie hoofdstuk 3, afbeelding 14). Bovendien geven de datasets ook een aantal onrealistisch hoge waarden weer (tot 470  $\mu\text{g Chla l}^{-1}$ ) (zie hoofdstuk 3, afbeelding 11). Een automatische verwerking van deze data, waarbij afwijkende waarden gefilterd worden, dient een betrouwbaar daggemiddelde op te leveren. Deze waarde kan ingevoerd worden in een aangepast Zilte Productie farmmodel, voor het genereren van groeisimulaties die zo goed mogelijk overeenkomen met de werkelijke situatie.



**Afbeelding 4: Chlorofyl dagwaarde dijkzijde meter Kats, in vergelijking met periodieke chlorofyl metingen van Rijkswaterstaat (tweewekelijks of maandelijks), gemeten op een nabijgelegen locatie te Wissenkerke (Rijkswaterstaat, 2015). Lokaal, continu gemeten chlorofyl concentratie fluctueert van dag tot dag. Door lineaire interpolatie van Rijkswaterstaat metingen loopt gemeten chlorofyl concentratie over een langere periode door.**

De hoofdvraag binnen dit onderzoek luidt:

Wat is het effect van lokale variatie in temperatuur en voedselconcentratie op de groei van de Japanse oester (*Crassostrea gigas*) in het Zilte Productie farmmodel?

#### **Deelvragen zijn:**

1. Hoe kan een datareeks met continu gemeten temperatuur en chlorofyl concentratie, gemeten op de kweeklocaties bij Kats en Kattendijke, vertaald worden naar een daggemiddelde als input voor het Zilte Productie farmmodel?
2. Wat is het effect van temperatuur en chlorofyl concentratie van verschillende locaties op de groei van de Japanse oester?
3. Hoe komen groeivoorspellingen met continu gemeten data overeen ten opzichte van groeivoorspellingen met periodieke data van Rijkswaterstaat?
4. Hoe komen groeivoorspellingen met continue data en periodieke data overeen met resultaten van groei experimenten uit het veld?

#### **Hypothese**

De hypothese van dit onderzoek stelt dat met de lokale, continu gemeten temperatuur en voedselconcentratie accuratere groeivoorspellingen gemaakt kunnen worden in het Zilte Productie farmmodel, dan met de tweewekelijks tot maandelijks gemeten data van Rijkswaterstaat op een nabijgelegen meetlocatie.

Chlorofyl concentratie kan fluctueren van dag tot dag (Cranford et al., 2011). De periodieke Rijkswaterstaat metingen worden voor het model lineair geïnterpoleerd tot dagelijkse modelinvoer. Wanneer deze metingen een extreem hoge chlorofyl concentratie bevatten, zal dit door interpolatie over een langere periode doorlopen (afbeelding 4). Bij gebruik van deze waarde in het model resulteert dit mogelijk in een verkeerde indicatie van groei.

#### **Doelstelling**

Er is in deze studie voortgebouwd op het onderzoek van twee studenten, (Tang, 2014) en (Bijvoets, 2014), met als resultaat een bruikbaar wiskundig productiemodel (het Zilte Productie farmmodel) voor groei en overleving van schelpdieren. Het doel binnen dit onderzoek omvat het verder ontwikkelen van het bestaande model, gebaseerd op continu gemeten temperatuur en chlorofyl concentratie. Zo kan inzicht verworven worden in het effect van lokale temporele variatie van deze omgevingsfactoren op de groei en ontwikkeling van de Japanse oester, van belang voor de aquacultuursector in de zuidwestelijke delta.

#### **Leeswijzer**

In het tweede hoofdstuk is ingegaan op de achterliggende theorie van voedselopname bij schelpdieren in relatie tot groei. De fysiologische processen die hierbij een rol spelen en de vertaling van deze theorie naar het productiemodel volgen hieruit. Tevens is de invloed van omgevingsfactoren op de voeding van schelpdieren onderzocht aan de hand van literatuurstudie.

Het derde hoofdstuk richt zich op de aanpak van de data analyse, uitgevoerd bij de verwerken van velddata tot bruikbare voeding voor het productiemodel. Dit hoofdstuk leidt tot een discussie en conclusie, die de fundering bieden voor hoofdstuk vier.

Hier zijn de resultaten van de model simulaties beschreven, waarbij resultaten van groeivoorspellingen met verwerkte velddata vergeleken zijn met periodieke data gemeten door Rijkswaterstaat. Ook de resultaten van groeiexperimenten uitgevoerd op de relevante kweeklocaties zijn weergegeven. Ook dit hoofdstuk bevat een discussie en conclusie waar gereflecteerd is op de resultaten en waarbij deze theoretisch gekaderd zijn.

Tot slot is een algemene conclusie getrokken en zijn aanbevelingen voor verder onderzoek aangereikt in de afsluitende hoofdstukken.



Afbeelding 5: Situering meetlocaties Rijkswaterstaat bij Wissenkerke, Zijpe en Lodijkse Gat, en de Zilte Productie kweeklocaties in de Oosterschelde bij Kats en Kattendijke. Rijkswaterstaat meetlocaties liggen niet in de nabijheid van de kweeklocaties (Google, 2015).

## 2. Theoretisch kader

In dit hoofdstuk is kort ingegaan op het voorkomen van de Japanse oester, de geschiedenis van oesterkweek in de zuidwestelijke delta, en het belang ervan voor de aquacultuursector. Vervolgens is de fysiologie van de Japanse oester geschetst met focus op de voedingswijze, en hoe energie uit het voedsel gehaald wordt. Verder is ook de vertaling van fysiologische processen naar het Zilte Productie farmmodel omschreven. Tot slot is onderzocht welke factoren variatie in omgevingsvariabelen kunnen teweeg brengen en daarbij van invloed kunnen zijn op de groei van de Japanse oester.

### 2.1. Geschiedenis en habitat

De Japanse oester (*Crassostrea gigas*) is een tweekleppig weekdier behorende tot de stam van de mollusken (Soortenbank, 2015). Het is een exoot voor de Nederlandse wateren, afkomstig uit Azië, die in de jaren 60 geïntroduceerd is in de Oosterschelde. De soort moest de aquacultuursector in Zeeland redden, na instorting van de inheemse Platte oester bestanden ten gevolge van een strenge winter en een geïntroduceerde ziekte (*Bonamia Ostrea*) uit Frankrijk in de jaren 70. Men verwachtte geen voortplanting van de Japanse oester in Zeeuwse wateren gezien de lage watertemperatuur (Kater, 2003). Tegen alle verwachtingen in gedijde de soort echter goed. Tegenwoordig is de Japanse oester wijd verspreid, en veruit de meest gekweekte oestersoort in de Oosterschelde (Provincie Zeeland, 2007).

De Japanse oester (*Crassostrea gigas*), leeft in open kustsystemen, in de benthische en/of epilithische zone (Dupuy et al., 1999) (afbeelding 6). Rotsbodems of stenen fungeren als substraat om zich aan vast te hechten. Ook andere oesters of mosselbanken kunnen als ondergrond dienen. De Japanse oester komt voor in zowel het intergetijdengebied als in het diepere litorale gebied en permanent onder water in beschutte sublitorale gebieden (Reise, 1998).



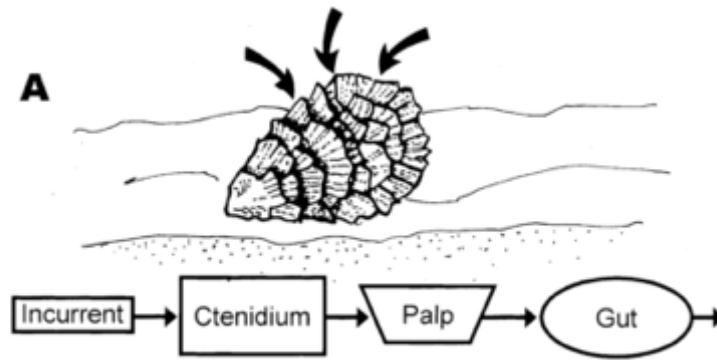
Afbeelding 6: De Japanse oester (links) (Wikipedia, 2015), en een oesterbank in Nederlandse kustwateren (rechts) (Wageningen UR, 2015).

### 2.2. Voedsel en voedingswijze

De Japanse oester voedt zich door middel van het filteren van zwevende deeltjes uit de waterkolom, meegevoerd met de stroming.

Door het bewegen van trilhaartjes (cilia), aanwezig op het kieuworgaan (ctenidium), wordt een waterstroom gecreëerd wat het mogelijk maakt om actief voedseldeeltjes over de kieuwen te laten stromen en naar binnen te transporteren wanneer de schelp geopend is (Ward et al., 1998) (afbeelding 7).

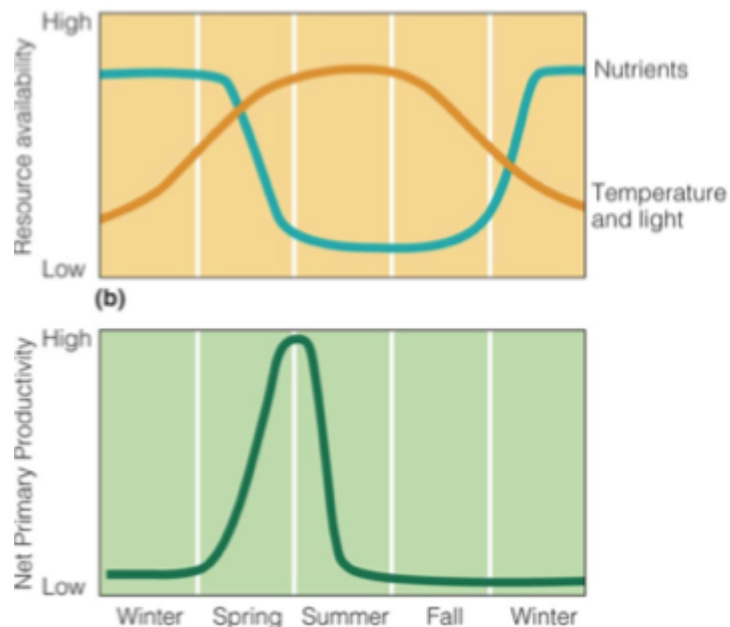
Deze beweging fungeert dus als een soort pomp, wat kan gemeten worden als pompcapaciteit of clearance rate, een maat voor de hoeveelheid water die gefilterd wordt van voedseldeeltjes die met een efficiëntie van 100% opgenomen worden per tijdseenheid (Cranford, Ward, & Shumway, 2011).



Afbeelding 7: Het voedselopname- en transportmechanisme van de Japanse oester (Ward & Shumway, 2004). Voedseldeeltjes in suspensie worden uit het water gefilterd en naar binnen getransporteerd door beweging van trilhaartjes. Ter hoogte van ctenidium en de labiale palpen vinden selectieprocessen plaats.

Bij filtratie ter hoogte van het ctenidium vindt een selectie plaats op grond van een mechanische beperking. Enkel deeltjes met een bepaalde grootte kunnen gefiltreerd worden. Kleine deeltjes (<2µm) worden niet behouden door de meeste soorten (Cranford et al., 2011). Zwevend materiaal waar de oester zich mee voedt, het seston, bestaat uit een samenstelling van organisch en anorganisch materiaal van verschillende vorm en grootte (Ward & Shumway, 2004). Het kan bestaan uit onder meer fytoplankton, zoöplankton, protozoa, bacteriën, detritus en anorganische partikelen, zoals sediment (Newell, 1965; Lopez and Levinton, 1987).

Slechts een fractie van het seston is bruikbaar voedsel voor de oester. Microalgen uit het plankton (fytoplankton) vormen de belangrijkste voedselbron, samen met ander afbreekbaar organisch materiaal.



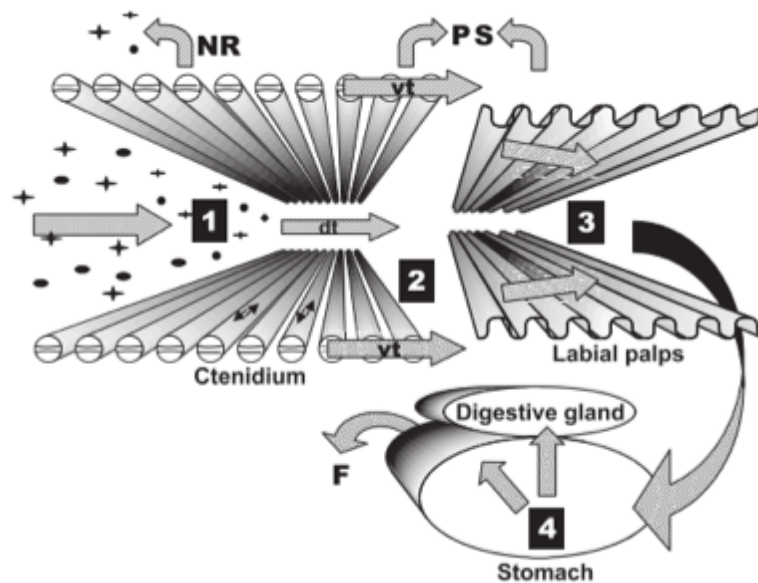
Afbeelding 8: De seizoencyclus van primaire productie. Een toename van lichtintensiteit en temperatuur in het voorjaar, samen met een hoge nutriëntconcentratie, zorgt voor een toename van primaire productie. Gedurende de zomer neemt de fytoplankton concentratie geleidelijk af ten gevolge van nutriëntenuitputting (bron: Powerpoint aquatische ecologie CU08655, Les 7 Nutrient Use and Mineralization, Maart 2014).

Gedurende de meetcampagnes van Zilte Productie is de voedselconcentratie in de waterkolom gemeten. Dit gebeurt via het meten van de chlorofyl a concentratie, het pigment die fytoplankton bezit voor het uitvoeren van fotosynthese.

De aanwezigheid van fytoplankton in het water varieert op lange termijn volgens de seizoenscyclus van primaire productie (afbeelding 8). Een verhoogde lichtintensiteit en temperatuur resulteren in een toename in het voorjaar. Gedurende de zomer neemt de concentratie geleidelijk af ten gevolge van nutriëntenuitputting. De voedselconcentratie voor schelpdieren is dus het hoogste in het voorjaar.

Fluctuatie op schaal van dagen tot weken kan teweeg gebracht worden door algenbloei, horizontale verdeling door menging van de waterkolom, of opwelling van het seston door wind en/of getij (Cranford et al., 2011).

Ook de soortensamenstelling kan variëren doorheen het seizoen, als gevolg van onderlinge competitie en predatie van zoöplankton (Water on the web, 2004).



**Afbeelding 9: Mogelijkheden tot voedselselectie bij schelpdieren. Ter hoogte van het ctenidium worden sommige deeltjes niet effectief behouden (1). Selectie en transport resulteren in het direct afvoeren van deeltjes als pseudo feces (2). Bij voorkeursselectie door de labiale palpen wordt een deel opgenomen in de mond, overige deeltjes worden eveneens afgevoerd als pseudo feces (3). Selectie in de maag zorgt voor de productie van feces, bestaande uit ongeabsorbeerd materiaal (4) (Ward & Shumway, 2004).**

Studies hebben aangetoond dat schelpdieren in staat zijn tot het selecteren en afvoeren van ongewenst materiaal, op basis van het formaat en kwaliteit van het seston. Door dit selectief voedingsgedrag zijn schelpdieren in staat hun energieopname te optimaliseren (Ribelin and Collier, 1977).

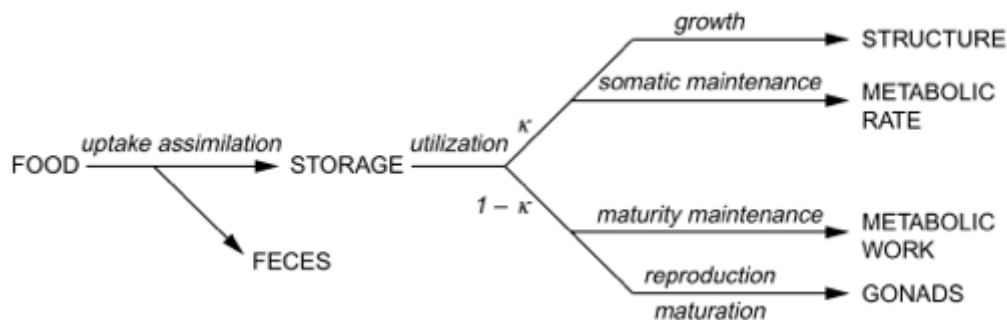
Doorheen het voedingsproces vinden verschillende selectieprocessen plaats (afbeelding 9). De mond is omgeven door twee labiale palpen, die fungeren als sorteerorganen die de hoeveelheid en de samenstelling van de voeding kunnen controleren (Deruytter, 2011). Ongewenste deeltjes worden meteen uitgescheiden als pseudofeces alvorens opname in de maag plaatsvindt. Ook bijvoorbeeld bij een zeer hoge concentratie algen wordt een deel meteen terug uitgestoten via de sifon (Heringa, 2014). Overige bruikbare voedseldeeltjes worden ingenomen via de mond, voor vertering en absorptie van energie in het maag - darmsysteem. Het deel van het voedsel die onverteerbaar is wordt uiteindelijk uitgescheiden als feces.

### 2.3. Het DEB model

De energiehuishouding van schelpdieren kan worden beschreven met de Dynamic Energy Budget (DEB) theorie (Kooijman, 2010). Geabsorbeerde energie uit het voedsel wordt opgeslagen in reserves die kunnen aangesproken worden voor groei. De DEB theorie beschrijft de opslag en het gebruik van energie door een individueel organisme voor groei, onderhoud en reproductie.

De mate waarin deze processen plaatsvinden is afhankelijk van de toestand van het organisme en zijn omgeving (Nisbet et al., 2000).

Voor het genereren van een groeisimulatie wordt de DEB theorie toegepast in het Zilte Productie farmmodel. Daarvoor worden drie soorten input gedefinieerd: omgevingsvariabelen, soort-specifieke parameters en de initiële condities, zoals leeftijd en grootte.



**Afbeelding 10: Schematische weergave van Kooijmans standaard DEB model. Energie verkregen uit het voedsel wordt opgeslagen in reserves die kunnen worden aangesproken voor groei, onderhoud en voortplanting van het schelpdier. Dit gebeurt volgens een vaste verhouding, de Kappa-regel (Kooijman, 1993).**

De input voor omgevingsvariabelen in het Zilte Productie farmmodel bestaat uit chlorofyl a concentratie en temperatuur. Om deze reden is ook temperatuur gemeten.

Particulair organisch materiaal en anorganisch materiaal kunnen ook als input voor het model gebruikt worden, maar zijn bij dit onderzoek buiten beschouwing gelaten.

Het DEB model is generiek, en kan gebruikt worden voor verschillende soorten in verschillende levensstadia door het gebruik van soort-specifieke parameters (Kooijman, 2001). Een schelpdier wordt beschreven aan de hand van drie soorten input, het structureel volume ( $V$ ,  $\text{cm}^3$ ), de hoeveelheid opgeslagen energiereserves ( $E$ , joule) en de hoeveelheid beschikbare energie voor reproductie ( $R$ , joule) (afbeelding 1).

De soort-specifieke parameters bepalen de ontwikkeling van de drie toestandsvariabelen als functie van voedsel en temperatuur (Wijsman, 2011). Ieder organisme heeft een specifieke temperatuurtolerantiemarge. Metabolische processen nemen logaritmisches toe met een stijgende temperatuur volgens de Arrhenius relatie (Van Der Veer et al., 2006), die het effect van temperatuur op de snelheid van een reactie beschrijft.

Het gebruik van energie uit reserves voor groei, onderhoud en reproductie gebeurt volgens een vaste verhouding, de Kappa-regel (Kooijman, 1993) (afbeelding 10). Een fractie van de opgeslagen energie in reserves  $\kappa$  wordt gebruikt voor het ontwikkelen van structuur door groei en onderhoud. Onderhoud is prioritair wanneer de reserves schaars worden. Het overige deel  $1-\kappa$  wordt gebruikt voor reproductie (ontwikkeling en productie van de gonaden) (Wijsman et al., 2009).

De uitkomst van het DEB model voor een individueel schelpdier kan gekoppeld worden aan een populatie dynamisch model voor het beschrijven van de mortaliteit en overleving (Bijvoets, 2014). Op deze manier is het mogelijk de opbrengst van een kwekerij te simuleren.



## 2.4. Invloed van omgevingsfactoren op voedingsactiviteit

De DEB theorie beschrijft de opbouw en gebruik van energie door een schelpdier, onder bepaalde omgevingscondities. De groei van schelpdieren wordt gelimiteerd door de voedselopname (Cranford et al., 2011). De mate van voedselopname wordt bepaald door de voedingsactiviteit (clearance rate), wat afhankelijk is van de toestand van het organisme (leeftijd, grootte etc.), en de toestand van zijn omgeving (Nisbet et al., 2010).

Bij ongunstige condities zoals een gebrek aan voedsel, vervuiling of verstoring kan dit leiden tot stress waardoor het organisme stopt met filtreren en de schelp sluit. Hierbij gaat het organisme teren op eigen lichaamsreserves (Heringa, 2014).

In deze paragraaf zijn enkele factoren beschreven die mogelijk van invloed kunnen zijn op de voedselactiviteit van de schelpdieren op de kweeklocaties bij Kats en Kattendijke.

### Voedselaanbod

Schelpdieren filteren voedseldeeltjes uit de waterkolom die meegevoerd worden met de stroming. Het voedselaanbod wordt bepaald door de stroming en de voedselconcentratie.

Ideale voedingsomstandigheden vormen een matige stroomsnelheid en matig turbulente stroming. Bij hogere stroomsnelheden en hevige turbulentie heeft het schelpdier meer moeite om water naar binnen te pompen (Cranford et al., 2011).

Ook de verblijftijd van het water op het kweekperceel is van belang. Bij een lange verblijftijd wordt het water meerdere malen gefiltreerd en blijft er minder voedsel over (Smaal et al., 2001). De hoogteligging in het intergetijdengebied beïnvloedt de droogvalduur en daarmee de voedingsperiode en voedselbeschikbaarheid.

Een studie naar verschillende schelpdiersoorten in de Waddenzee stelt een negatieve correlatie tussen de droogvalduur en groei (Wanink & Zwarts, 1993).

Het groei experiment bij Kats toont geen effect van droogvalduur op de lengte en het natgewicht van de Japanse oester. De conditie index, een maat voor het vleesgehalte in de schelp, is wel hoger bij afnemende droogvalduur (Cappele et al., 2015).

Zoals vermeld in voedsel en voedingswijze bestaat het seston uit een grote verscheidenheid aan verschillende soorten deeltjes. De samenstelling en mede ook de voedingswaarde (algenconcentratie), kan verschillen op lange en korte termijn.

Een studie in Spanje, naar de samenstelling stelt dat de voedingswaarde het hoogste was tijdens de lentebloei van het fytoplankton, en afnam tijdens de winter (Irisarri, Fernández-Reiriz, & Labarta, 2015). Clearance rate varieert met concentratie en chlorofylgehalte. Naarmate de concentratie toeneemt, zoals bij opwelling van sediment, neemt clearance rate van de Japanse oester af (Kater, 2003).

### Temperatuur

Op grote ruimtelijke schaal bepaalt temperatuur het begin en het einde van het groeiseizoen bij marine invertebraten (Beukema et al., 1985). Een hogere metabolische activiteit ten gevolge van een hogere temperatuur resulteert in een hogere filtratiesnelheid. In de zomermaanden ligt de filtratiesnelheid hoger dan in de winter. Volgens Boegrier et al., 1995 ligt de maximale filtratiesnelheid van de Japanse oester bij een watertemperatuur van 19-20°C.

Temperatuur beïnvloedt de reproductie cyclus. Voor spawning (kuitschieten) is een temperatuur boven 16 – 18°C nodig (Mann et al., 1991; Reise, 1998). De optimale watertemperatuur voor spawning ligt tussen 20 en 25 °C (Mann et al., 1991).

### Populatie dichtheid

De populatiedichtheid heeft een negatieve invloed op de voedselbeschikbaarheid en daarmee ook op groei. Naarmate de dichtheid van schelpdieren op een bepaalde oppervlakte groter wordt, wordt meer voedsel weg gefilterd, resulterende in minder voedsel per schelpdier (Cloern, 1982; Dame &

Prins, 1998). Het groeiexperiment bij Kats toont een negatief effect van dichtheid aan op lengte, natgewicht en conditie index van de Japanse oester (Capelle et al., 2015).

### 3. Data analyse

Aan de hand van een data analyse in het software programma R, is onderzocht hoe de in het veld gemeten data van temperatuur en chlorofyl concentratie vertaald kan worden naar een bruikbare dagwaarde, als input voor het Zilte Productie farmmodel. Allereerst is de data gesitueerd binnen de context van de groeiexperimenten.

Via visualisatie in grafieken is onderzocht welk deel van de data gebaseerd is op artefacten in de metingen. Vervolgens zijn een aantal filters ontwikkeld om de artefacten uit de data te verwijderen. De resultaten worden weergegeven, geanalyseerd en gekwantificeerd. Tot slot is de betrouwbaarheid van metingen belicht in een discussie, en is geconcludeerd welke filters er het beste gebruikt kunnen worden voor verdere groeisimulaties.

Aan de hand van het stroomschema in bijlage 1 is het proces van dit onderzoek weergegeven.

#### Veelgebruikte termen

Meetperiode: Een meetperiode omvat alle data(sets) gemeten met één of meerdere meters, van start tot einde van de meetcampagne.

Dataset: Een dataset van een meter bestaat uit gemeten data vanaf inzetten t.e.m. uitlezen.

Subset: Een subset bestaat uit een geselecteerde reeks metingen uit een dataset van enkele dagen.

Ruwe data: Gemeten data zonder bewerkingen.

Artefact: Een artefact is een meting die verkeerd geïnterpreteerd is door de fluorescentiemeter ten gevolge van een foutieve vertaling van gemeten fluorescentie intensiteit naar chlorofyl concentratie (zie werking fluorescentiemeter). Bijvoorbeeld een meting (chl<sub>a</sub> waarde) die gemeten is wanneer de meter niet in het water meet bij droogval. In deze situatie is toch een signaal opgevangen door lichtreflectie afkomstig van een object in uit de omgeving. Dit leidt tot een meting die niet overeen komt met de werkelijke situatie.

#### 3.1. Beschikbare velddata

In deze paragraaf is de ingewonnen data gesitueerd in de context van de uitgevoerde groei experimenten bij Kats en Kattendijke. De werking van de fluorescentiemeters wordt beschreven, alsook de meetopstelling, en een overzicht van de data.

#### Werking fluorescentiemeter

De gehanteerde fluorescentiemeters zijn uitgerust met een sensor voor het registreren van omgevingsvariabelen chlorofyl a concentratie, troebelheid en temperatuur in zoutwater.

Zoals eerder vermeld, bevat fytoplankton fotosynthetisch pigment (chlorofyl a) voor het absorberen van licht voor fotosynthese. De meter zendt een lichtstraal met specifieke golflengte uit, die geabsorbeerd wordt door het fytoplankton. Ongeveer 1% van het geabsorbeerde licht wordt teruggekaatst als fluorescentie, die terug opgevangen wordt uit de waterkolom door middel van een optische filter voor specifieke golflengte. Chlorofyl a concentratie kan bepaald worden door bestaan van een lineair verband met fluorescentie intensiteit.

Het gemeten signaal van fluorescentie intensiteit (in mV) wordt door het apparaat omgerekend naar chlorofyl concentratie via een kalibratie ijklijn, gebaseerd op de chlorofyl concentratie in een standaardoplossing (uranine).

De fluorescentiemeters hebben een initiële foutmarge van 1% met een resolutie van 0,01  $\mu\text{g l}^{-1}$  chlorofyl concentratie.

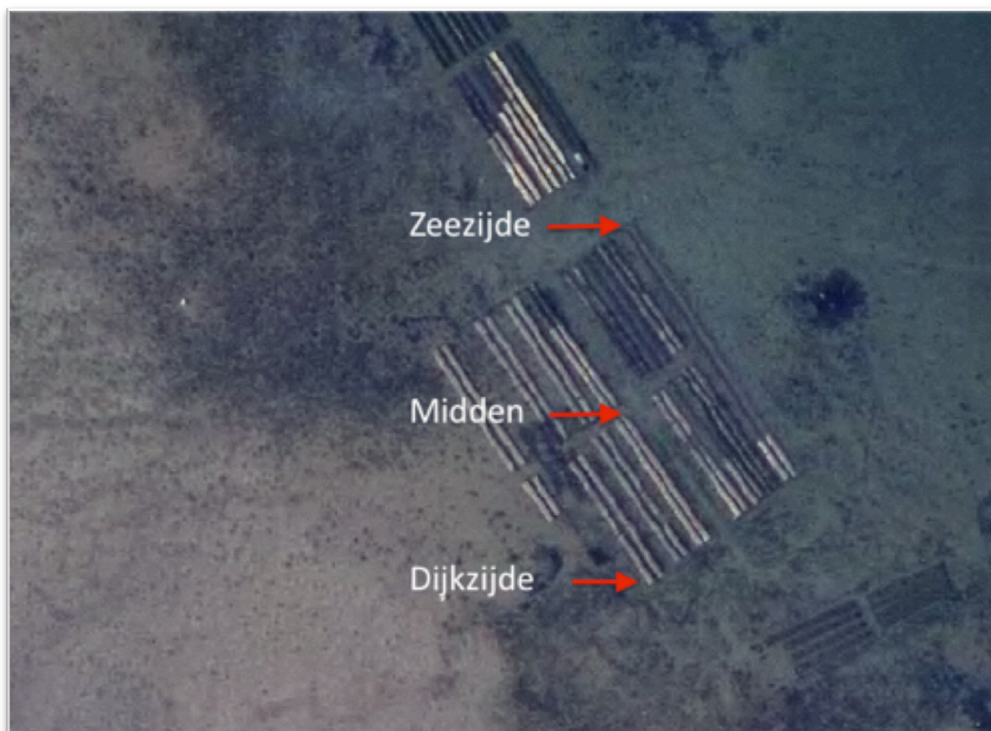
Tevens kan troebelheid gelijktijdig gemeten worden. Troebelheid is een maat voor zwevende deeltjes en opgeloste stof in de waterkolom (sediment, plankton, organisch materiaal etc.). Infrarood weerkaatsing wordt gebruikt als een index voor troebelheid.

Temperatuur wordt gemeten aan de hand van temperatuurgevoelige weerstand (JFE Advantech Co., Ltd., 2009).

De fluorescentiemeters zijn ingesteld voor een meetinterval van 10 of 20 minuten. Om een representatieve momentopname te maken is per meting, gedurende 10 seconden, elke seconde een meting verricht (een burst van 10 seconden).

### Meetopstelling

Zoals vermeld in de inleiding, is bij Kats het effect van begingrootte, droogvalduur en positie op het kweekperceel onderzocht op de groei van de Japanse oester. Deze zijn gekweekt in zakken op tafels, in het intergetijdengebied. De fluorescentiemeters zijn opgesteld aan de dijkzijde, in het midden en aan de zeezijde, diagonaal over het perceel, ter hoogte van de tafels (afbeelding 11) (Cappele, van Heumen, & Kamermans, 2014).



**Afbeelding 11: Positie van de fluorescentiemeters op het kweekperceel bij Kats, aan de dijkzijde, in het midden en aan de zeezijde, diagonaal over het perceel.**

Bij Kattendijke wordt het effect van droogvalduur op de groei van de Japanse oester, gekweekt in mandjes in het intergetijdengebied, onderzocht (Cappelle & Hartog, 2014). De fluorescentiemeters zijn verticaal opgesteld ter hoogte van bovenste en onderste lijn mandjes met een verschillende droogvalduur (afbeelding 12).

Met behulp van een DGPS systeem is de hoogte van de meters t.o.v. NAP bepaald (Tabel 1). In bijlage 11 is de hoogte t.o.v. de bodem (cm) terug te vinden.

**Tabel 1: Hoogte bepaling van fluorescentiemeters (m) bij Kats en Kattendijke t.o.v. NAP.**

Meter	Hoogte t.o.v. NAP (m)
Kats dijkzijde	-0,85
Kats midden	-1,17
Kats zeezijde	-1,24

Kattendijke boven	-0,61
Kattendijke onder	-1,27



**Afbeelding 12: Opstelling van de fluorescentiemeters op de kweeklocatie bij Kattendijke, ter hoogte van de bovenste en onderste lijn mandjes met een verschillende droogvalduur (Capelle & Hartog, 2014).**

### Overzicht ingewonnen data

Bij Kats is continu data ingewonnen gedurende een periode van 7 maanden vanaf eind mei 2014 t.e.m. begin december 2014. De meters zijn in deze periode vier keer uitgelezen wat vier datasets per meter geeft.

De meetcampagne bij Kattendijke is gestart eind juni 2014 en loopt tot eind december 2015. Van de onderste meter zijn 7 datasets beschikbaar van eind juni 2014 t.e.m. begin april 2015. De bovenste meter telt 6 datasets van eind juli 2014 t.e.m. begin april 2015 (tabel 2).

Data is opgeslagen als een komma gescheiden csv bestand, om vervolgens in te kunnen lezen in R.

Voor verdere analyse is de dijkzijde meter bij Kats onder de loep genomen. Omdat deze meter hoogst in het intergetijdengebied opgesteld is zijn voor deze meter de meeste artefacten als gevolg van droogval van de meter verwacht.

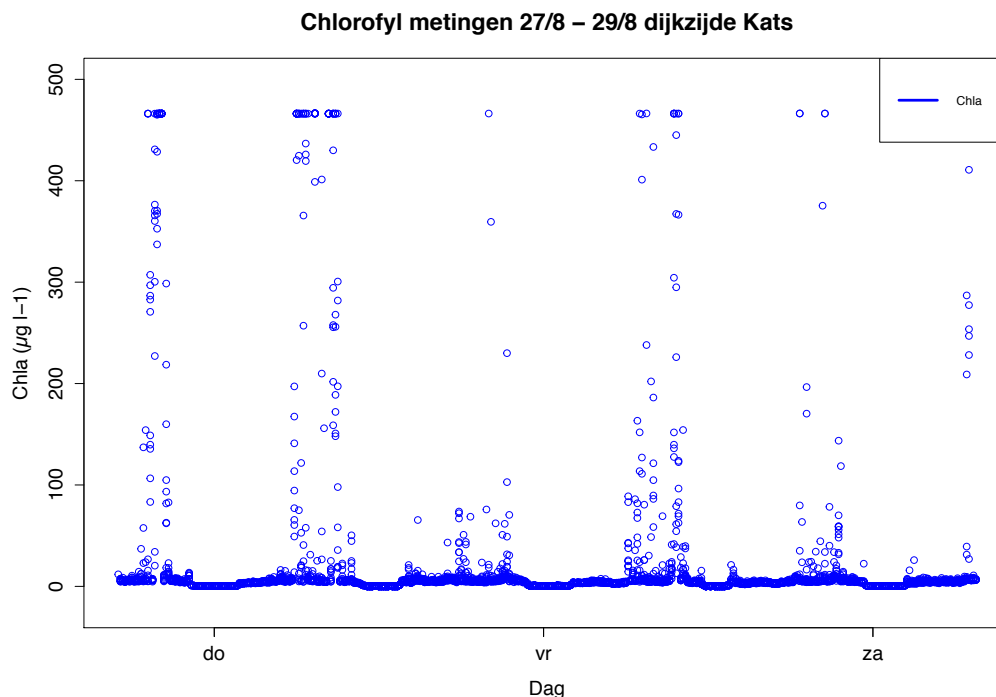
**Tabel 2: Ingewonnen data bij Kats en Kattendijke. Voor verdere analyse is data van de dijkzijde meter bij Kats gebruikt.**

Locatie	Meter	Meetperiode	Datasets	Interval
Kats	Dijkzijde	27/05/14 – 8/12/14	1) 27/05 – 8/07	20 min
			2) 8/07 – 26/08	20 min
			3) 27/08 – 29/09	10 min
			4) 2/10 – 8/12	10 min
Kats	Midden	26/05/14 – 8/12/14	1) 26/05 – 8/07	20 min
			2) 11/07 – 25/08	20 min
			3) 26/08 – 22/09	10 min

			4) 29/09 – 8/12	10 min
Kats	Zeezijde	27/05/14 – 9/12/14	1) 27/05 – 8/07	20 min
			2) 14/07 – 25/08	20 min
			3) 26/08 – 23/09	10 min
			4) 29/09 – 9/12	10 min
Kattendijke	Boven	30/07/14 – 2/04/15	2) 30/07 – 8/09	10 min
			3) 10/09 – 22/10	10 min
			4) 23/10 – 8/12	10 min
			5) 9/12 – 14/01	10 min
			6) 15/01 – 23/02	10 min
			7) 24/02 – 2/04	10 min
Kattendijke	Onder	27/06/14 – 7/04/15	1) 27/06 – 28/07	20 min
			2) 30/07 – 8/09	10 min
			3) 10/09 – 22/10	10 min
			4) 23/10 – 8/12	10 min
			5) 9/12 – 14/01	10 min
			6) 15/01 – 23/02	10 min
			7) 24/02 – 7/04	10 min

### 3.2. Visualisatie

Zoals aangegeven in de probleemstelling zijn ook metingen geregistreerd bij laagwater, wanneer de meters droogvallen. Bovendien bevat de data een aantal onrealistisch hoge chlorofyl waarden. Metingen gebaseerd op een artefact kunnen in twee groepen verdeeld worden als 'droogval' en 'uitschieters'. Artefacten van Kats dijkzijde zijn gevisualiseerd en gekwantificeerd om metingen vast te stellen die verwijderd moeten worden.



**Afbeelding 13: Weergave van 3 dagen chlorofyl metingen van de dijkzijde meter bij Kats. De data bevat uitschieters tot 470 µg l<sup>-1</sup>.**

### Uitschieters

Een uitschieter kan gedefinieerd worden als een ongewoon grote of kleine meetwaarde ten opzichte van de overige waarden in een gegevensverzameling. Hierbij kan de meetwaarde onjuist geregistreerd zijn of een zeldzame gebeurtenis zijn (Korevaar, 2012).

Om een beeld te vormen van de ruwe data is een R-script geschreven voor het inlezen en plotten van de in september gemeten data. De keuze voor deze dataset is willekeurig.

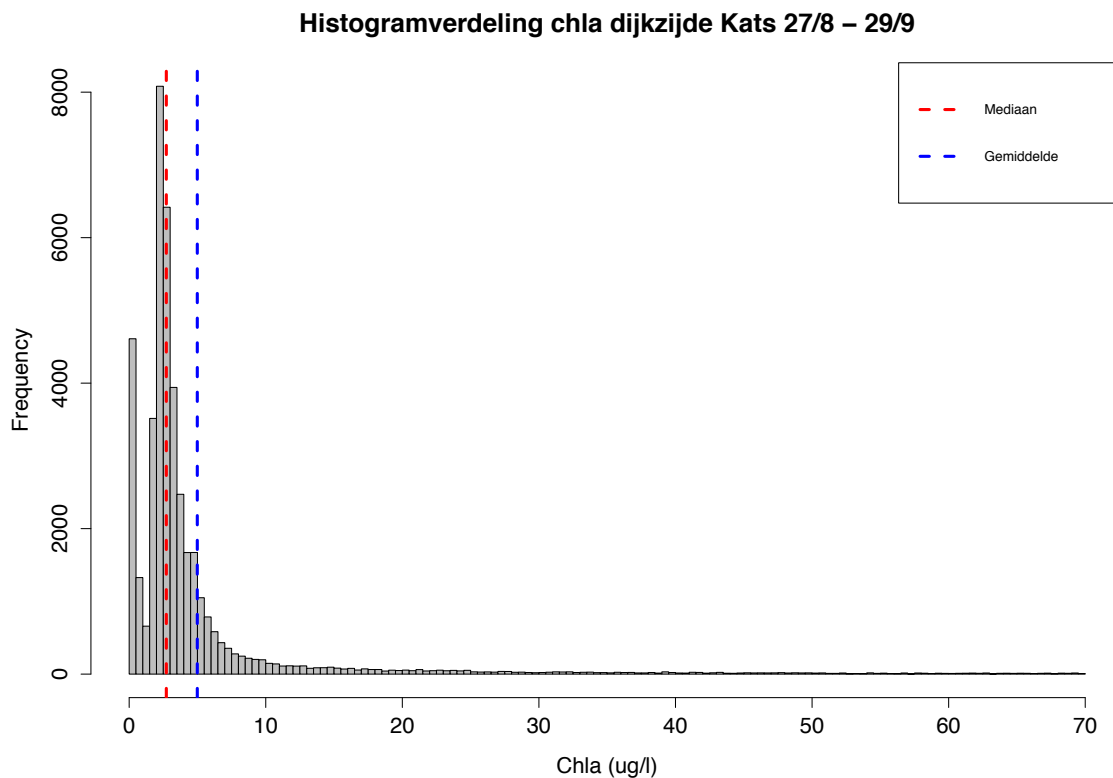
In afbeelding 13 vallen een aantal forse uitschieters op. Chlorofyl concentratie bedraagt in september gemiddeld  $24,5 \mu\text{g l}^{-1}$  met uitschieters tot  $470 \mu\text{g l}^{-1}$ , tevens het maximaal meetbereik van de fluorescentiemeter. Andere chlorofyl datasets kennen soortgelijke uitschieters. Verdere analyse moet aantonen of artefacten toevallige uitschieters zijn, geassocieerd kunnen worden met droogval, of andere verstoringen zoals benthische algen, de groei van macroalgen op de paal van bevestiging of niet kalibratie van de meter.

### Centrum en spreiding

Door beschrijving van het centrum en de spreiding is inzicht verworven in de verdeling van de data. Het centrum van een kwantitatieve gegevensverzameling beschrijft de neiging van gegevens om zich rond een bepaalde waarde te concentreren. De spreiding toont variabiliteit van de gegevens aan. Maten voor het centrum zijn onder meer het gemiddelde en de mediaan.

Door het vergelijken van gemiddelde en mediaan is de scheefheid van de data bepaald, omdat het gemiddelde en de mediaan gelijk zijn bij een normale verdeling. Extreem hoge uitschieters trekken het gemiddelde omhoog. De mediaan is minder gevoelig voor extreem hoge (of kleine) meetwaarden.

Een maat voor de spreiding van de meetwaarden is de standaardafwijking, of spreiding rond het gemiddelde, en is uitgedrukt in een getal gelijkwaardig aan de meetwaarden.



**Afbeelding 14: Frequentieverdeling chlorofyl metingen in een histogram dijkzijde Kats 27/8 – 29/9. Chlorofyl waarden groter dan  $70 \mu\text{g l}^{-1}$  zijn buiten beschouwing gelaten. Het gemiddelde ligt hoger dan de mediaan, duidend op een scheve verdeling naar rechts.**

Uit beschrijving van het centrum en de spreiding blijken de datasets van Kats en Kattendijke scheef naar rechts verdeeld te zijn. Door de aanzienlijke invloed van uitschieters ligt het gemiddelde doorgaans hoger dan de mediaan (Bijlage 2 & 3).

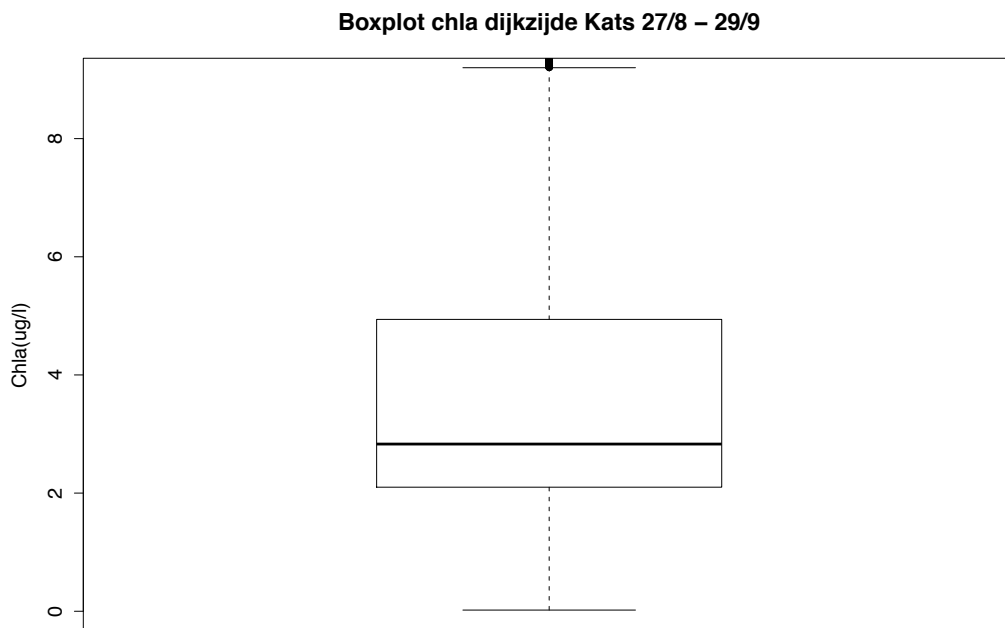
Middels frequentie verdeling in een histogram zijn de chlorofyl metingen grafisch weergegeven (afbeelding 14). Waarden groter dan  $70 \mu\text{g l}^{-1}$  zijn buiten beschouwing gelaten (zie paragraaf 3, filteren van artefacten). Een lange staart naar rechts kenmerkt de scheve dataverdeling.

Temperatuur daarentegen, is meer normaal verdeeld (Bijlage 4). Verandering van temperatuur door het seizoenverloop kan de verdeling enigszins beïnvloeden.

### Kwantificering uitschieters

Middels een box-plot (doosdiagram) zijn uitschieters gekwantificeerd (afbeelding 15). Een box-plot is een grafische methode voor het opsporen van uitschieters, gebaseerd op de kwartielen van een gegevensverzameling. Kwartielen zijn waarden die de gegevensverzameling in 4 groepen verdelen die elk 25% van de meetwaarden bevatten. Het eerste kwartiel is het 25<sup>e</sup> percentiel (Q1), het tweede kwartiel is de mediaan (Q2), en het derde kwartiel is het 75<sup>e</sup> percentiel (Q3). Een box-plot is gebaseerd op de kwartielafstand (KA), of de afstand tussen het eerste en het derde kwartiel.

50% van de metingen ligt tussen  $2,1 \mu\text{g l}^{-1}$  en  $4,9 \mu\text{g l}^{-1}$ . De bovenste binnenste omheining, op 1,5 KA, ligt bij  $9,2 \mu\text{g l}^{-1}$  (tabel 3). 15,9% van de meetwaarden ligt buiten de binnenste omheiningen en zijn mogelijke uitschieters. Dit zou minder dan 5% moeten, zelfs bij zeer scheve verdelingen (Korevaar, 2012). 75% van de metingen ligt tussen 0,02 en  $4,9 \mu\text{g l}^{-1}$ . Een hoog percentage uitschieters met een grote spreiding ligt tussen de bovenste binnenste omheining en de maximale meetwaarde van  $470 \mu\text{g l}^{-1}$ .



**Afbeelding 15: Boxplot van één dataset chlorofyl metingen van dijkzijde Kats 27/8 – 29/9. Hierbij zijn onderste en bovenste binnenste omheining, onderste en bovenste scharnier (Q1 & Q3), en de mediaan weergegeven.**



Tabel 3: Elementen van een boxplot, onderste en bovenste binnenste omheining, onderste en bovenste scharnier (Q1 & Q3), en de mediaan, voor één dataset chlorofylmetingen van dijkzijde Kats 27/8 – 29/9, met bijhorende waarde.

Element boxplot	Waarde ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )
Onderste binnenste omheining (1.5 KA)	0,02
Onderste scharnier doos (Q1)	2,1
Mediaan (Q2)	2,8
Bovenste scharnier doos (Q3)	4,9
Bovenste binnenste omheining (1.5 KA)	9,2

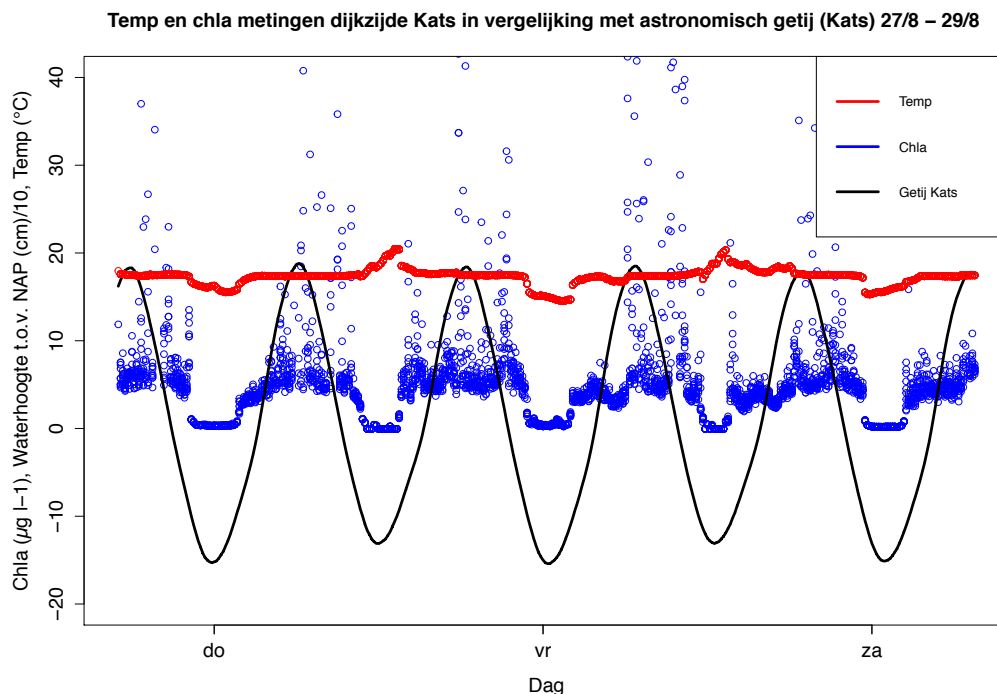
### Droogval

Om inzicht te verwerven in de artefacten in de metingen bij droogval is gebruik gemaakt van astronomische getijvoorspellingen, verkregen via Rijkswaterstaat (Rijkswaterstaat, 2015). Het getij is beschreven als een functie  $f(x)$  en geïnterpoleerd als functie van de tijd, in een subset van enkele dagen chlorofyl- en temperatuurmetingen. Een grafische weergave van deze bewerking is weergegeven in afbeelding 16.

De metingen vertonen een duidelijk patroon van onderbreking bij het droogvallen van de meters tijdens laagwater. Chlorofyl is gekenmerkt door een reeks meetwaarden in de buurt van  $0 \mu\text{g l}^{-1}$ , waarbij temperatuur een scherpe stijging vertoont overdag, en een daling s 'nachts, als gevolg van blootstelling van de sensor aan de buitenlucht. Dit patroon is tevens teruggevonden als piek in de eerste twee klassen van de frequentie verdeling in afbeelding 14.

Dergelijk patroon is eveneens teruggevonden in subsets van de andere meters bij Kats en bij Kattendijke (bijlage 5).

Ook troebelheid is grafisch vergeleken met het getij. Bij laagtij is er ook een duidelijke onderbreking (bijlage 6).



Afbeelding 16: Interpolatie van getij, chlorofyl- en temperatuur metingen als functie van de tijd, in een subset van drie dagen, van de dijkzijde meter bij Kats. Droogval bij laagwater is gekenmerkt door een reeks meetwaarden in de buurt van  $0 \mu\text{g l}^{-1}$  en een verstoring van temperatuur.

### Wisselperiodes

Voor het uitlezen en het downloaden van de velddata zijn de meters naar de HZ gebracht en binnen enkele dagen terug geplaatst. Gedurende transport zijn ook metingen geregistreerd, gebaseerd op een artefact. Bij visualisatie zijn deze metingen geïdentificeerd en verwijderd aan begin en eind van elke dataset.

Bij één dataset van de onderste meter bij Kattendijke is een opmerkelijk lange periode metingen van 8 dagen vastgesteld, die een onrealistisch patroon volgen (Bijlage 7).

Bij een aantal datasets toont een frequentieverdeling van chlorofylconcentratie een grote spreiding aan het eind van de dataset en een veel kleinere spreiding aan het begin van de volgende dataset als de meter weer op dezelfde locatie is uitgezet (bijlage 8).

### Conclusie visualisatie

- Ingewonnen chlorofyldata bij Kats en Kattendijke is scheef naar rechts verdeeld door een hoog percentage uitschieters met een grote spreiding en het gegeven dat de chlorofylconcentratie niet negatief kan zijn (Afbeelding 13, 14, 15).  
Op grond van deze bevinding is de mediaan gebruikt als dagwaarde voor chlorofylconcentratie in verdere analyse. Dit heeft als consequentie in het model een lagere gevoeligheid van de schelpdieren voor fluctuaties in voedselaanbod.
- Temperatuurmetingen zijn meer normaal verdeeld waarbij het gemiddelde gebruikt is als dagwaarde (Bijlage 4).
- Droogval van de fluorescentiemeters bij Kats en Kattendijke is gekenmerkt door een reeks meetwaarden in de buurt van  $0 \mu\text{g l}^{-1}$  chlorofylconcentratie, tevens terug te vinden als piek in de eerste klassen van een frequentie verdeling. Gelijktijdig zijn temperatuurmetingen verstoort ten gevolge van blootstelling aan de buitenlucht (afbeelding 16).  
Ook troebelheidsdata kent een soortgelijk patroon (Bijlage 7).  
Desbetreffende metingen bij het droogvallen van de meters zijn beschouwd als een artefact. Bovendien is hieruit geconcludeerd dat hoge uitschieters niet geassocieerd zijn met droogval.
- Wisselperiodes beïnvloeden de metingen. Tijdens de periode van het uitlezen zijn metingen op het droge geregistreerd. Deze metingen zijn beschouwd als een artefact en verwijderd. Ter opvulling is chlorofylconcentratie geïnterpoleerd.
- De data heeft vaak een grote spreiding aan het eind van de dataset en een veel kleinere spreiding aan het begin van de volgende dataset (Bijlage 8). Dit gegeven wijst op de mogelijke aanwezigheid van additionele artefacten in de metingen als gevolg van de groei van macroalgen op de paal van bevestiging.

### 3.3. Filteren van artefacten

Via visualisatie is onderzocht welk deel van de metingen gebaseerd is op een artefact. Vervolgens zijn een aantal filters ontwikkeld voor het verwijderen van artefacten. De verschillende filters zijn beschreven als een model. De R-scripts zijn terug te vinden in bijlage 22, 23, 24 en 25.

#### Model 0:

Model 0 bestaat uit de ruwe data en vormt een referentie voor het effect van ontwikkelde modellen.

#### Model 1: Filter $0 < \text{chlorofyl} < 70 \mu\text{g l}^{-1}$

Via de database van Rijkswaterstaat met o.a. historische waterkwaliteitsgegevens (Waterbase) is de maximaal gemeten chlorofylconcentratie opgezocht, in de recente geschiedenis van de Oosterschelde (Rijkswaterstaat, 2015) (afbeelding 5). Er is gekozen voor een tijdsperiode vanaf de komst van de Oosterschelde kering in 1986, wat een grote ecologische verandering met zich heeft meegebracht (Geurts van Kessel, 2004), tot op heden.

De maximale chlorofylconcentratie bedraagt  $66,3 \mu\text{g l}^{-1}$  (tabel 4). Op grond van deze bevinding is een filter ontwikkeld voor het verwijderen van waarden boven  $70 \mu\text{g l}^{-1}$ .

Bovendien is een ondergrens van  $0 \mu\text{g l}^{-1}$  gesteld aangezien chlorofylconcentratie geen negatieve waarde kan aannemen als biologische variabele.

Omdat chlorofyl data uit het veld uitschieters tot  $470 \mu\text{g l}^{-1}$  bevat, is een daling van de dagwaarde verwacht en het verdwijnen van forse pieken.

**Tabel 4: Chlorofyl a in  $\mu\text{g l}^{-1}$  in oppervlaktewater in de Oosterschelde gemeten door Rijkswaterstaat op de locaties Lodijkse Gat, Wissenkerke en Zijpe, vanaf de aanleg van de Oosterscheldekering in 1987, tot 2014 (Rijkswaterstaat, 2015). De hoogst gemeten chlorofylconcentratie bedraagt  $66,3 \mu\text{g l}^{-1}$ .**

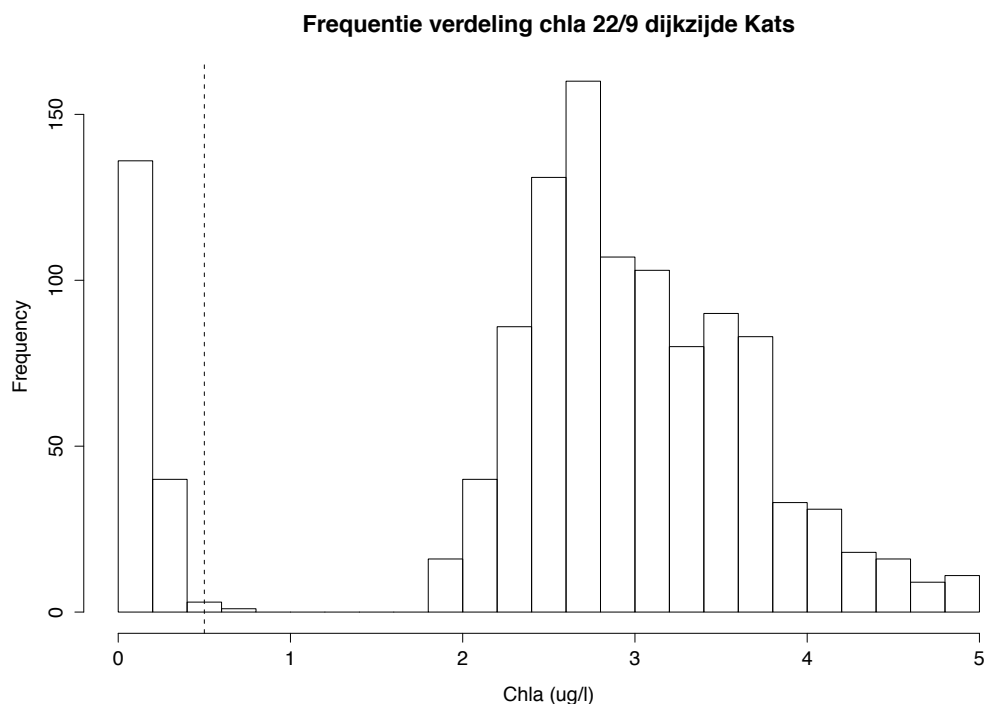
Locatie	Periode	Maximum chlorofyl ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )
Lodijkse Gat	1987 – 2014	29,9
Wissenkerke	1987 – 2014	66,3
Zijpe	1987 – 2014	51,6

### Model 2: Filter droogval op basis van frequentie histogrammen

Model 2 is een filter voor artefacten ten gevolge van droogval van de fluorescentiemeters, in combinatie met model 1.

Na visualisatie blijkt droogval in een frequentie histogram van chlorofylconcentratie gekenmerkt te zijn door enkele hoge klassen tussen 0 en  $1 \mu\text{g l}^{-1}$ . Vervolgens is een R-script geschreven voor het genereren van een histogram van de metingen tussen 0 en  $5 \mu\text{g l}^{-1}$  per dag (afbeelding 17). Via het bepalen van de minimum klasse binnen de eerste drie klassen is een grens gesteld voor het verwijderen van metingen onder deze grens. Verwijderde metingen zijn vervangen door 0 waarden omdat de voedselbeschikbaarheid voor de schelpdieren op dit moment  $0 \mu\text{g l}^{-1}$  is.

Temperatuur metingen onder de klassegrens zijn verwijderd wegens verstoring door de buitenlucht.



**Afbeelding 17: Frequentie verdeling in histogrammen voor chlorofylmetingen 22/9 van de dijkzijde meter bij Kats. Zwarte stippenlijn geeft de bovengrens van de filter aan.**

Bij toepassing van deze filter wordt een daling van de chlorofyldagwaarde verwacht en minder dagelijkse variatie van de temperatuur.

Door het gebruik maken van histogrammen is deze filter zeer gebruiksvriendelijk. Er hoeft geen data van getijvoorspellingen gedownload en ingelezen te worden.

### Model 3: Filter droogval op basis van het astronomisch getij

Model 3 beschrijft een tweede methode voor het filteren van artefacten ten gevolge van droogval van de fluorescentiemeters, in combinatie met model 1. Op basis van astronomische getijvoorspellingen voor Kats is een onder- en bovengrens gesteld voor het droogvallen van de meters. De hoogte van de fluorescentiemeters t.o.v. NAP is weergegeven in tabel 1.

Metingen binnen de grenzen zijn verwijderd en eveneens vervangen met 0 waarden, temperatuur metingen zijn verwijderd.

Na toepassing van model 3 is een daling van de chlorofyldagwaarde verwacht, en minder dagelijkse variatie van de temperatuur.

### Model 4: Filter burst 10 seconden

Zoals aangegeven bij de werking van de fluorescentiemeters bestaat elke meting uit een burst van 10 metingen per seconde. De meter kan automatisch een gemiddelde berekenen, maar dit is niet ingesteld. Naast het filteren van vastgestelde artefacten is een script geschreven voor het middelen van de 10 seconden-burst. Dit ter bepaling van het effect van deze bewerking bij automatische uitvoering. Naar verwachting is de invloed van deze filter minimaal omdat metingen per seconde geacht worden minimale afwijking te vertonen.

### Correctiefactoren

Met een kort experiment bij Kats gedurende een dag, zijn voor de start van de meetcampagnes correctiefactoren berekend voor onderlinge afwijking tussen de verschillende meters (zie paragraaf 1, beschikbare velddata) (tabel 5). Hierbij is meter 164 op 1 gesteld. Via het vermenigvuldigen van chlorofylmetingen met bijhorende factor is het effect van de correctie factoren bepaald.

Er is verwacht dat chlorofylconcentratie gemeten op dezelfde locatie op hetzelfde tijdstip nagenoeg gelijk is.

**Tabel 5: bepaalde correctiefactoren t.o.v. fluorescentiemeter 164. Fluorescentiemeters bij Kats zijn 167 (Kats dijkzijde), 170 (Kats midden) en 166 (Kats zeezijde).**

Meter	164	165	166	167	168	169	170
factor	1	1.175088	1.023541	1.218027	1.001001	1.203659	1.187648

### Effect en kwantificering

Het effect van de verschillende modellen is vergeleken op basis van het gemiddeld absoluut dagwaardeverschil.

$$\text{Gemiddeld absoluut verschil} = \sum_{i=1} \frac{|Model A - Model B|}{n}$$

De modellen zijn vergeleken met onafhankelijke chlorofylmetingen van Rijkswaterstaat op basis van de som van de gekwadrateerde residuen (verschil dagwaardes)<sup>2</sup>.

$$\text{Som van de gekwadrateerde residuen} = \sum \frac{(X_i - M_i)^2}{n}$$

$X_i$  = RWS chlorofylmeting

$M_i$  = Dagwaarde model x

### Resultaten

In deze paragraaf is het resultaat van de ontwikkelde modellen weergegeven. Het effect is gekwantificeerd en vergeleken met onafhankelijke periodieke chlorofylmetingen van Rijkswaterstaat. Tabel 6 geeft een overzicht van de inhoud van de modellen.

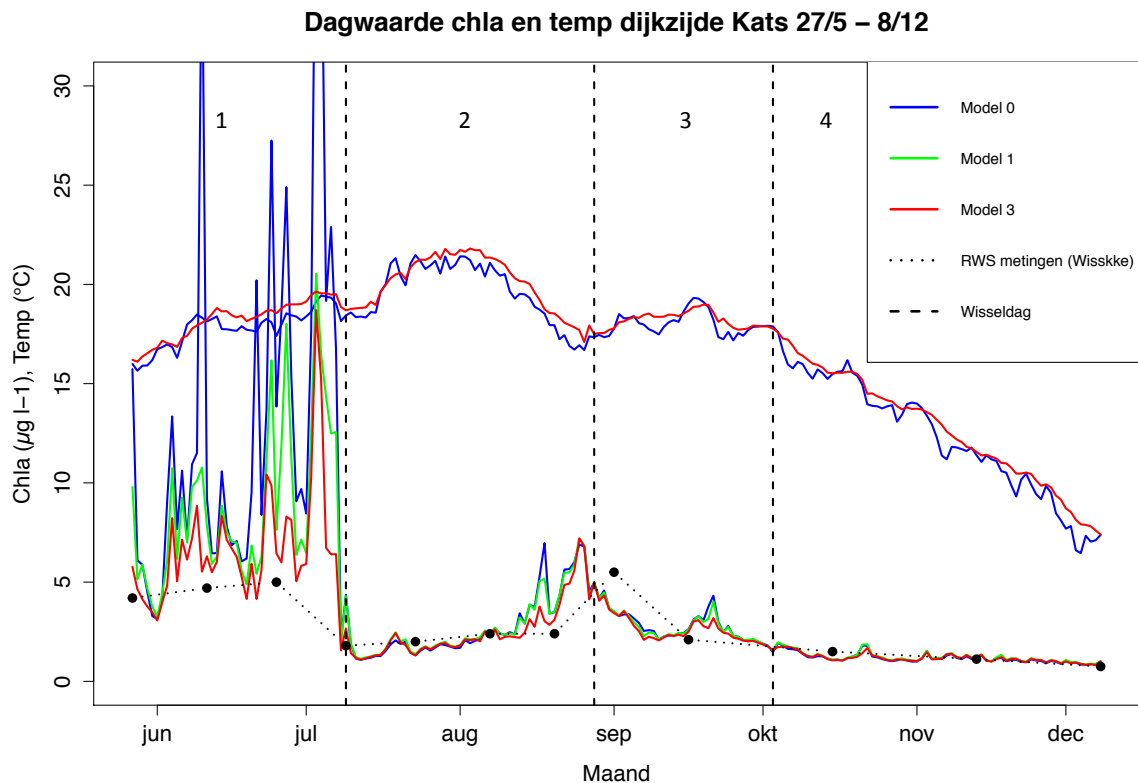
**Tabel 6: Overzicht inhoud modellen**

<b>Model 0</b>	Ruwe data (geen filter)
<b>Model 1</b>	Filter $0 < \text{chlorofyl} < 70 \mu\text{g l}^{-1}$
<b>Model 2</b>	Filter $0 < \text{chlorofyl} < 70 \mu\text{g l}^{-1}$ & Filter droogval op basis van frequentiehistogrammen
<b>Model 3</b>	Filter $0 < \text{chlorofyl} < 70 \mu\text{g l}^{-1}$ & Filter droogval op basis van het astronomisch getij
<b>Model 4</b>	Filter burst 10 secondenmetingen

### Kats

Afbeelding 18 toont de berekende dagwaarden van continu gemeten temperatuur en chlorofyl concentratie op basis model 0, 1 en 3, in vergelijking met periodieke metingen van Rijkswaterstaat. Ook de verschillende datasets zijn aangegeven.

Model 1 resulteert in een daling van chlorofylconcentratie, en lagere pieken ten opzichte van model 0. Model 3 geeft een verdere daling, en een afvlakking van temperatuur. Model 2 blijft gelijk met de ruwe data, en model 4 verhoogt (bijlage 9).



**Afbeelding 18: Dagwaarde van continu gemeten temperatuur- en chlorofylconcentratie van dijkzijde Kats, op basis van model 0, 1 en 3, in vergelijking met periodieke metingen van Rijkswaterstaat (Wissenkerke). De verschillende datasets zijn genummerd en de verticale stippenlijnen geven de wisseldagen aan. Model 3 resulteert in de grootste daling van chlorofylconcentratie, en een afvlakking van temperatuur.**

In het algemeen kent chlorofylconcentratie van ieder model forse pieken tot ongeveer  $40 \mu\text{g l}^{-1}$  in de eerste dataset, gevolgd door een scherpe daling aan het begin van de tweede dataset. In de loop van augustus en september vindt een tweede piek plaats tot ongeveer  $7 \mu\text{g l}^{-1}$ . Er treedt fluctuatie op, op schaal van dagen tot weken.

Periodieke gemeten chlorofylconcentratie piekt tot ongeveer  $5 \mu\text{g l}^{-1}$  in juni, en in het tweede deel van augustus tot half september.

Continue chlorofylconcentratie fluctueert in de eerste dataset aanzienlijk heviger dan de overige data, en in vergelijking met de periodieke metingen

Temperatuur neemt gelijkmatig af naarmate het vorderen van het seizoen.

In tabel 7 is het effect van de verschillende modellen weergegeven. Model 1 heeft een gemiddeld absoluut verschil van  $1,04 \mu\text{g l}^{-1}$  t.o.v. model 0. Model 2 chlorofylconcentratie is gelijk aan model 1. Model 3 chlorofylconcentratie heeft het grootste effect met een verschil van  $1,57 \mu\text{g l}^{-1}$  t.o.v. model 0 en  $0,57 \mu\text{g l}^{-1}$  t.o.v. model 1 en 2. Ook model 3 temperatuur heeft het grootste effect met  $0,48 \text{ }^\circ\text{C}$ . Model 4 toont het grootste verschil met  $1,41 \mu\text{g l}^{-1}$  t.o.v model 3.

**Tabel 7: Gemiddeld absoluut verschil van temperatuur en chlorofylconcentratie dagwaardes van de modellen voor Kats dijkzijde, in  $\mu\text{g l}^{-1}$  chlorofylconcentratie en  $^\circ\text{C}$  temperatuur. Model 3 heeft meest effect met een gemiddeld verschil van  $1,57 \mu\text{g l}^{-1}$  chlorofylconcentratie en  $0,48 \text{ }^\circ\text{C}$  t.o.v model 0.**

	Model 0	Model 1	Model 2	Model 3
<b>Model 1</b>	1,04	-	-	-
<b>Model 2 Chla</b>	1,04	0	-	-
<b>Model 3 Chla</b>	1,57	0,57	0,57	-
<b>Model 4</b>	1,13	0,92	0,92	1,41
<b>Model 2 Temp</b>	0,38	-	-	-
<b>Model 3 Temp</b>	0,48	-	0,17	-

In tabel 8 zijn de gekwadrateerde residuen van de modellen weergegeven in vergelijking met periodieke metingen van Wissenkerke. Model 0 heeft een verschil van  $244 \mu\text{g l}^{-1}$ . Model 1 verschilt minder met  $60 \mu\text{g l}^{-1}$ . Model 2 kent geen verschil t.o.v. model 1. Model 3 heeft het kleinste verschil van  $13 \mu\text{g l}^{-1}$ , en model 4 het grootste van  $257 \mu\text{g l}^{-1}$ , bovendien groter dan model 0.

**Tabel 8: Vergelijking van de verschillende modellen met periodieke chlorofylmetingen van Rijkswaterstaat, op basis van de gekwadrateerde residuen, in  $\mu\text{g l}^{-1}$ . Model 3 heeft het kleinste verschil en model 4 het grootste.**

	Som van de gekwadrateerde residuen ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )
<b>Model 0</b>	244
<b>Model 1</b>	60
<b>Model 2</b>	60
<b>Model 3</b>	13
<b>Model 4</b>	257

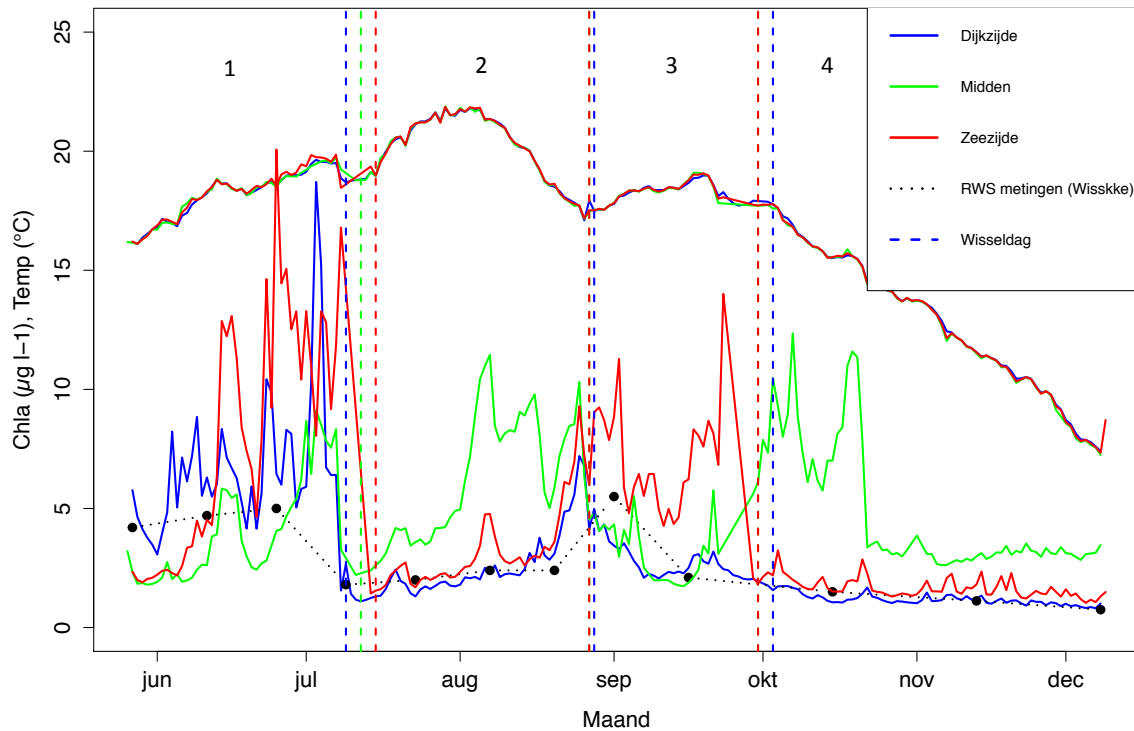
Model 3, met het meeste effect (grootste absoluut verschil t.o.v. model 0), en de kleinste som van de gekwadrateerde residuen, is vervolgens toegepast op de data van de overige fluorescentiemeters bij Kats (afbeelding 19).

Kats midden fluctueert hevig doorheen de volledige meetperiode, en heeft een sterk verschillend patroon t.o.v. de dijkzijde meter. Vanaf eind oktober is er een stabilisatie.

Ook Kats zeezijde metingen fluctueren onregelmatig en hebben een afwijkend patroon t.o.v. de dijkzijde en middelste meter. Chlorofylconcentratie stabiliseert hier eind september.

Er is m.a.w. grote onderlinge variatie waar te nemen, op een kleine ruimtelijke schaal.

**Dagwaarde chla en temp fluorescentiemeters Kats 27/5 – 8/12**



**Afbeelding 19: Dagwaarde van continu gemeten chlorofylconcentratie en temperatuur van Kats dijkzijde, midden en zeezijde, in vergelijking met periodieke chlorofylmetingen (Wissenkerke), gedurende de volledige meetperiode. Verticale stippenlijnen geven de dagen na het uitlezen aan, nummers geven de verschillende datasets aan. Chlorofylconcentratie varieert sterk op een kleine ruimtelijke schaal, en kent vaak een scherpe daling na het uitlezen. Temperatuurmetingen zijn nagenoeg uniform.**

In het algemeen neemt chlorofylconcentratie na het inzetten van de meter vaak geleidelijk toe, met vervolgens een drastische daling na het uitlezen. De wisseldagen zijn aangegeven met verticale stippenlijnen.

Het verloop van de temperatuurmetingen is voor iedere meter nagenoeg gelijk, en neemt geleidelijk af, met het vorderen van het seizoen.

**Correctiefactor**

Toepassing van de correctiefactor op chlorofyldata voor elke fluorescentiemeter bij Kats geeft een lichte verschuiving van de dagwaardes. Dagwaardes komen niet op gelijke hoogte te liggen, zoals verwacht bij opheffing van onderlinge afwijking (bijlage 9). Hierbij is vooral gekeken naar het chlorofylpatroon tussen midden oktober en december.

**Kattendijke**

Vervolgens is het model met het beste resultaat, model 3, ook toegepast op chlorofyldata van Kattendijke (afbeelding 20).

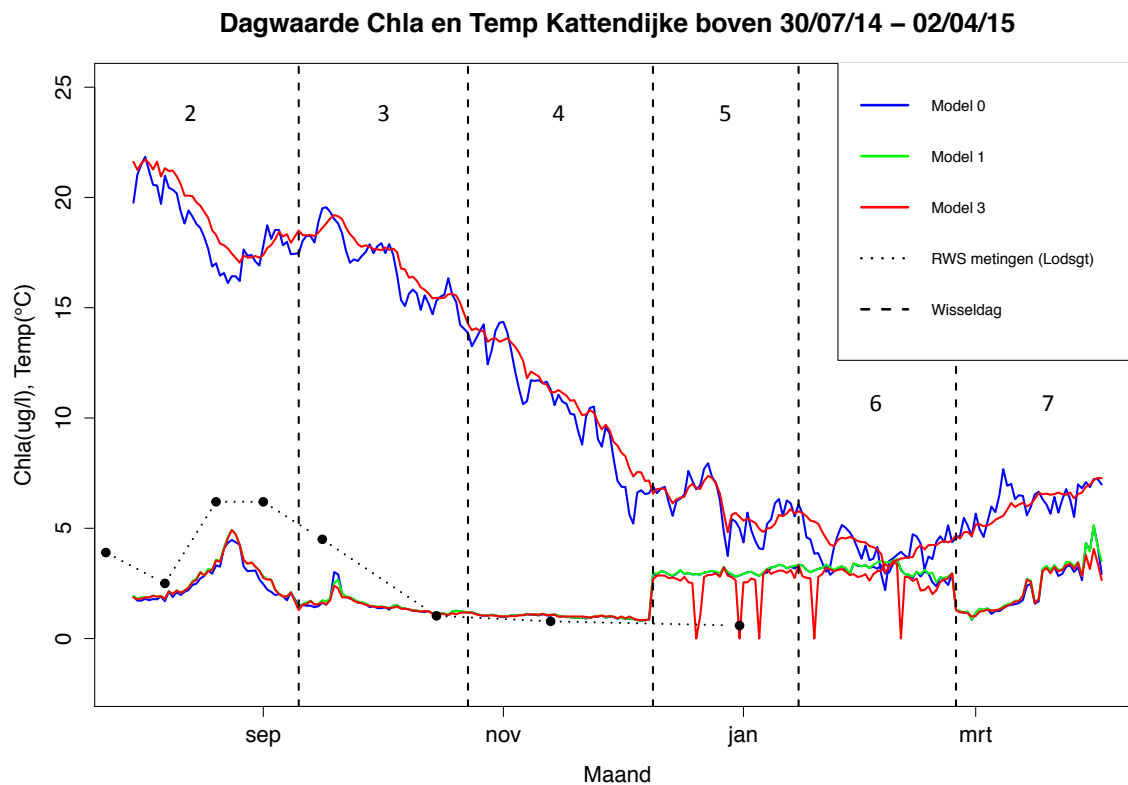
Model 0 piekt gedurende augustus/september tot ongeveer 5 µg l<sup>-1</sup>. Daarna is er een geleidelijke afname in het najaar. In de loop van december is na het uitlezen een plotse stijging waar te nemen. Chlorofyl loopt vervolgens gelijkmatig door in dataset 5 en 6, en zakt opnieuw na het uitlezen.

Er is een geleidelijke toename in het voorjaar, in combinatie met een toename van de watertemperatuur.

Model 1 en 3 zijn vrijwel identiek aan model 0.

Model 3 geeft resulteert in minder dagelijkse variatie van temperatuur, die geleidelijk afneemt doorheen de meetperiode.

De periodieke chlorofylmetingen volgens doorgaans hetzelfde patroon met piek gedurende augustus/september tot ongeveer  $7 \mu\text{g l}^{-1}$ , en nemen geleidelijk af vanaf oktober. Rijkswaterstaat data is slechts t.e.m. 31 december 2014 beschikbaar.



**Afbeelding 20:** Dagwaarde van continu gemeten temperatuur- en chlorofylconcentratie van Kattendijke boven, op basis van model 0, 1 en 3. In vergelijking met periodieke metingen van Rijkswaterstaat (Lodijkse Gat). De verschillende datasets zijn genummerd, en de verticale stippenlijnen geven de wisseldagen aan. Model 1 en 3 verschillen nauwelijks t.o.v. model 0, en model 3 temperatuur resulteert in een afvlakking van het patroon.

Het effect van de modellen op de data van Kattendijke is weergegeven in tabel 9. Model 1 verschilt weinig t.o.v. model 0 met gemiddeld  $0,08 \mu\text{g l}^{-1}$ . Model 2 verschilt ook nauwelijks met model 1. Model 3 chlorofyl heeft het grootste effect met  $0,21 \mu\text{g l}^{-1}$  verschil t.o.v. model 0,  $0,19 \mu\text{g l}^{-1}$  van model 1 en  $0,13 \mu\text{g l}^{-1}$  van model 2. Model 3 temperatuur heeft een behoorlijk verschil van  $0,6 \text{ }^\circ\text{C}$  t.o.v. model 0.

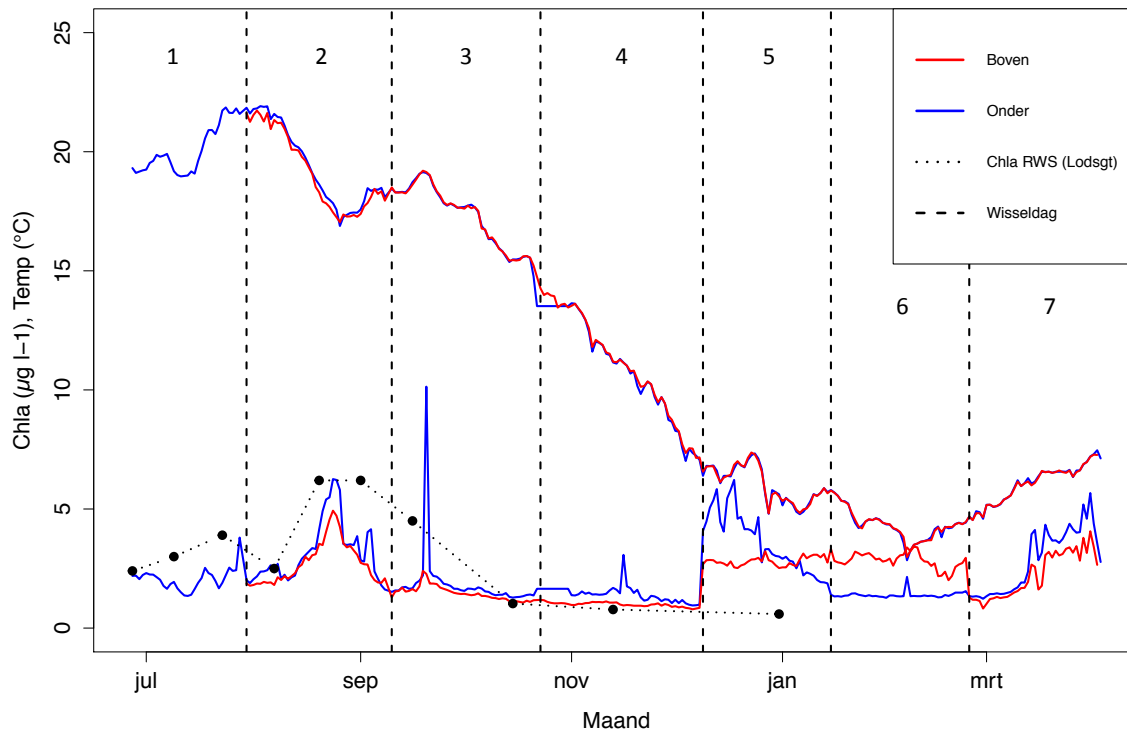
**Tabel 9:** Gemiddeld absoluut verschil van temperatuur- en chlorofylconcentratiedagwaardes van de modellen voor Kattendijke boven, in  $\mu\text{g l}^{-1}$  chlorofylconcentratie en  $^\circ\text{C}$  temperatuur. Model 3 heeft meest effect met een gemiddeld verschil van  $0,21 \mu\text{g l}^{-1}$  en  $0,6 \text{ }^\circ\text{C}$  t.o.v. model 0.

	Model 0	Model 1	Model 2
<b>Model 1</b>	0,08	-	-
<b>Model 2</b>	0,14	0,06	-
<b>Model 3 Chla</b>	0,21	0,19	0,13
<b>Model 3 Temp</b>	0,6	-	-

Vergelijking met periodieke metingen op basis van de gekwadraterde residuen is weergegeven in tabel 10. Model 0 heeft een verschil van  $36 \mu\text{g l}^{-1}$ . Model 1 verschil wat minder. Model 2 toont kleinste verschil ten opzichte van model 0 van  $27 \mu\text{g l}^{-1}$ . Model 3 is vrijwel identiek.



**Dagwaarde chla en temp fluorescentiemeters Kattendijke 27/06/14 – 04/04/15**



**Afbeelding 21: Dagwaarde chlorofylconcentratie en temperatuur fluorescentiemeters Kattendijke onder en boven gedurende de volledige meetperiode, in vergelijking met periodieke chlorofylmetingen van Rijkswaterstaat, gemeten op een nabijgelegen locatie, Lodijkse Gat. Gekleurde stippenlijnen geven dagen na uitlezen aan, kleur corresponderend met het kleur van dagwaarde voor iedere meter. Nummers geven datasets aan. Chlorofylconcentratie van beide fluorescentiemeters heeft overeenkomstig patroon alsook met chlorofylmetingen van Rijkswaterstaat.**

Vervolgens is model 3 ook toegepast op de data van de onderste meter bij Kattendijke (afbeelding 21). Ook hier piekt chlorofylconcentratie gedurende augustus/september. In de winter is er ook een plotse stijging, precies tussen twee momenten van uitlezen.

In het algemeen zijn de metingen van Kattendijke vrij consistent voor beide meters.

**Tabel 10: Vergelijking modellen met Rijkswaterstaat chlorofylmetingen op basis van de gekwadrateerde residuen in  $\mu\text{g l}^{-1}$ . Model 2 en 3 hebben meest overeenkomst met Rijkswaterstaat chlorofylmetingen met 27 en 28  $\mu\text{g l}^{-1}$  respectievelijk.**

	Som van de gekwadrateerde residuen ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )
<b>Model 0</b>	36
<b>Model 1</b>	32
<b>Model 2</b>	27
<b>Model 3</b>	28

**Conclusie filteren van artefacten**

De conclusie voor het filteren van artefacten in de metingen is gebaseerd op visuele interpretatie en kwantificering.

### Kats

- Model 3, bestaande uit een filter voor  $0 < \text{chlorofyl} < 70 \mu\text{g l}^{-1}$  en droogval, op basis van het astronomisch getij, blijkt het beste resultaat te geven voor het filteren van artefacten in de data. Ook heeft dit model de beste overeenkomst met periodieke metingen. Voor het uitvoeren van groeisimulaties in het Zilte productie farmmodel is model 3 toegepast op de data voor temperatuur- en chlorofylconcentratie.
- Model 2 heeft geen effect en model 4 resulteert in een verhoging van de chlorofyldagwaarde (tabel 7 & 8).
- Wanneer een 10 seconden-burst een hoger waarde bevat, zijn alle waarden gelijkaardig. Er is dus geen sprake van een individuele uitschieter, maar van een duidelijke verstoring.
- Chlorofylmetingen van de verschillende meters variëren sterk onderling, en in vergelijking met periodieke metingen, op een kleine ruimtelijke schaal. Enkel datasets 2, 3 en 4 van de dijkzijde meter toont overeenkomstig patroon met periodieke metingen, en volgen het verwachte patroon volgens de seizoenscyclus van primaire productie.
- Temperatuurmetingen van de verschillende meters zijn consistent en volgen het verwachte patroon met vordering van het seizoen (afbeelding 19).
- Toepassing van correctiefactoren geeft niet in alle gevallen het beoogde resultaat (bijlage 10). De correctiefactor wordt daarom niet meegenomen in verdere groeisimulaties.
- Bij een aantal datasets toont het chlorofylpatroon een scherpe daling na het uitlezen.

### Kattendijke

- Model 3 resulteert in het beste resultaat, en heeft meest overeenkomst met periodieke metingen. Model 3 is gebruikt voor groeisimulaties in het Zilte productie farmmodel (tabel 9 & 10).
- Beide meters tonen een consistent chlorofylconcentratie en temperatuur patroon, die ook overeenkomt met periodieke metingen van Rijkswaterstaat, en realistisch is volgens de seizoenscyclus van primaire productie.
- Dataset 5 en 6 van de bovenste meter en dataset 5 van de onderste meter vertonen een onrealistische toename in de winter, precies tussen de wisseldagen. Deze metingen zijn verwijderd en ter opvulling is chlorofylconcentratie geïnterpoleerd.
- Temperatuurmetingen zijn eveneens consistent voor beide meters (afbeelding 21).

### 3.4. Conclusie

- Ingewonnen chlorofyldata is scheef naar rechts verdeeld. Daarom is de mediaan gebruikt als dagwaarde voor chlorofylconcentratie.
- De temperatuurmetingen zijn meer normaal verdeeld, en is het gemiddelde genomen als dagwaarde.
- Model 3, bestaande uit een filter voor  $0 < \text{chlorofyl} < 70 \mu\text{g l}^{-1}$ , en droogval op basis van het astronomisch getij, resulteert het beste voor het filteren van artefacten in de data van Kats en Kattendijke. Dit model is toegepast op de data voor chlorofylconcentratie en temperatuur als input in het Zilte Productie farmmodel.
- In het algemeen in het effect van de filters matig. Er zijn geen grote veranderingen.
- Na het filteren van artefacten in de metingen is er nog steeds grote variatie tussen de verschillende meters bij Kats. Dit lijkt het gevolg te zijn van additionele artefacten door een verstoring uit de omgeving zoals de groei van macroalgen op de paal van bevestiging of benthische algen.
- De data van Kattendijke lijkt betrouwbaarder. De data van beide meters is consistent en minder scheef verdeeld.
- In de winter meten beide meters een plotse toename van chlorofylconcentratie na het uitlezen. Dit lijkt het gevolg te zijn van het niet kalibreren van de meters.

- Periodieke chlorofylmetingen van Rijkswaterstaat geven een vertekend beeld van de werkelijkheid. Gedurende de zomermaanden is er fluctuatie van dag tot dag.

### 3.5. Discussie

Voor het filteren van artefacten ten gevolge van droogval is een onder- en bovengrens bepaald op basis van het astronomisch getij. Dit impliceert dat er geen rekening gehouden is met plaatselijke of tijdelijke invloeden op het getij, zoals luchtdruk, wind en afvoer (Rijkswaterstaat, 2015).

Metingen beschouwd als een artefact zijn deels gebaseerd op visuele interpretatie. Periodieke metingen zijn niet gedetailleerd genoeg om enkel conclusies uit te trekken op basis van kwantificering, vanwege dagelijks tot wekelijkse fluctuering van chlorofylconcentratie.

Alle ingewonnen temperatuurdata zijn consistent en nagenoeg normaal verdeeld, in tegenstelling tot de chlorofyldata. Dit is te verklaren doordat temperatuur via weerstandsverschil gemeten wordt en chlorofylconcentratie via het uitzenden van een lichtstraal en het meten van weerkaatste fluorescentie intensiteit.

In theorie is op seizoenstermijn een chlorofylpatroon verwacht volgens de cyclus van primaire productie. Hierbij is de fytoplanktonconcentratie het hoogst vroeg in het voorjaar, nog voor de start van de metingen. Gedurende de zomer is er een geleidelijke afname.

De metingen van de dijkzijde meter bij Kats bevestigen dit patroon, en zijn daarom als meest betrouwbaar beschouwd.

Kats midden en zeezijde vertonen een afwijkend patroon, wat wijst op additionele artefacten in de metingen, mogelijk veroorzaakt door de groei van macroalgen op de paal van bevestiging, bentische algen, of het niet kalibratie van de meter.

Uit een labexperiment bleek dat in een oplossing met anorganisch klei, zonder chlorofyl, toch chlorofyl gemeten is tussen 0,3 en 2,5  $\mu\text{g l}^{-1}$ . Deze concentratie nam ongeveer lineair toe met toevoeging van anorganisch klei. Slib lijkt dus de metingen te beïnvloeden.

Na contact met de leverancier blijkt dat lichtreflectie tegen de wand van de gebruikte bak bij het experiment de metingen verstoort i.p.v. toegevoegd slib.

Na verdere analyse blijkt dat troebelheid data van de verschillende meters een consistent patroon volgt (bijlage 12). Bovendien bestaat er geen duidelijke correlatie tussen chlorofylconcentratie en troebelheid (cor. coëfficiënt: 0,31) (bijlage 13).

Dit bevestigt dat de chlorofylmetingen waarschijnlijk niet beïnvloed zijn door een verhoogde concentratie slib, maar door een andere verstoring in de nabijheid van de sensor.

De meters zijn in het veld verticaal aan een paal bevestigd met de sensor naar beneden gericht (afbeelding 12). Macroalgengroei op de paal kan een mogelijke oorzaak zijn van additionele artefacten.

Aangroei resulteert mogelijk in de geleidelijk toename van chlorofylconcentratie, en het vergroten van spreiding van de metingen in een dataset. De algen kunnen opgetild worden en de sensor blokkeren tijdens hoogwater.

Hoge waarden zijn niet geassocieerd met droogval. Bij laagwater kunnen de macroalgen niet opgetild worden waarbij ze tegen de paal hangen, wat mogelijk resulteert in metingen in de buurt van 0  $\mu\text{g l}^{-1}$ . De scherpe daling aan het eind van de dataset kan vervolgens het gevolg zijn van verwijdering van macroalgen bij het ophalen van de meters (zie resultaten).

Een tweede mogelijke oorzaak voor additionele artefacten is de invloed van bentische algen. Deze kunnen opwellen door wind en golfwerking, in combinatie met de getijden.

Op advies van de leverancier dient de afstand van de sensor tot de bodem minimaal 20 tot 30 cm te bedragen. De nodige afstand hangt af van het type bodem (kleur, ruwheid, hardheid, etc.).

Kats dijkzijde hangt 46 cm boven de bodem, Kats midden 33 cm en Kats zeezijde 50 cm. Kattendijke onder hangt 68 cm boven de bodem en Kattendijke boven 134 cm.

Er valt op te merken dat Kats midden dicht bij de bodem hangt en bovendien grootste fluctuatie kent. Bovendien zijn de metingen van Kattendijke consistent, terwijl deze meters het hoogst boven de bodem hangen.

Het kweekperceel bij Kats ligt in een slikkengebied van droogvallende platen, blootgesteld aan de golfwerking. Bij wind uit noordwestelijke richting kan golfwerking en stroming bentische algen van het links gelegen slik in suspensie brengen, en aanvoeren op de kweeklocatie (afbeelding 2).

Gedurende de maanden mei, juni en juli is NW de overheersende windrichting ter hoogte van Wilhemindorp, een nabijgelegen locatie (Windfinder, 2015). Ook gedurende deze maanden is meest fluctuatie te zien bij iedere fluorescentiemeter van Kats.

Chlorofylconcentratie stabiliseert in de winter bij iedere meter, wanneer de algenconcentratie minimaal is volgens de seizoenscyclus van primaire productie.

De data van Kattendijke is consistent dan van Kats, terwijl de meters het hoogst boven de bodem hangen, en waarbij het kweekperceel bovendien beschermt ligt voor golfwerking, in de luwte van een strekdam (afbeelding 3).

De additionele artefacten bij Kattendijke hebben mogelijk verband met kalibratie van de meters omdat chlorofylconcentratie plots stijgt, vervolgens gelijkmatig doorloopt gedurende de volledige dataset, en terug daalt na het uitlezen aan het begin van de nieuwe dataset.

Kalibratie van de meters op basis van een watermonster genomen ter plaatse op de proeflocatie is belangrijk. Chlorofylfluorescentie kan verschillen naar gelang de soortensamenstelling van het fytoplankton (JFE Advantech Co., Ltd., 2009) (zie hoofdstuk 2).

Enkel bij aanvang van de meetcampagne zijn de meters gekalibreerd geweest, echter op basis van een artificieel samengesteld watermonster. Verder is er ook tussentijds, na het uitlezen, niet gekalibreerd.

Ook dit gegeven kan mogelijk rol spelen in het meten van additionele artefacten.

Tot slot is het mogelijk dat zowel de aangroei van macroalgen op de paal, lichtreflectie tegen objecten uit de omgeving, bentische algen, en het niet kalibreren van de fluorescentiemeters een rol spelen in de aanwezigheid van additionele artefacten in de data.

Geen enkele mogelijke oorzaak kan met volle zekerheid uitgesloten of bevestigd worden. Een experiment met een aangepast meetprotocol kan eventueel meer duidelijkheid brengen.

## 4. Modelsimulaties

Na toepassing van een filter voor artefacten en met nuancering van de aanwezigheid van additionele artefacten in de data, is de berekende dagwaarde voor omgevingsvariabelen temperatuur- en chlorofylconcentratie bij Kats en Kattendijke ingevoerd in het bestaand DEB model. Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van uitgevoerde groeisimulaties voor de Japanse oester. De resultaten zijn nader toegelicht in een discussie en tot slot is een conclusie getrokken.

### 4.1. Resultaten

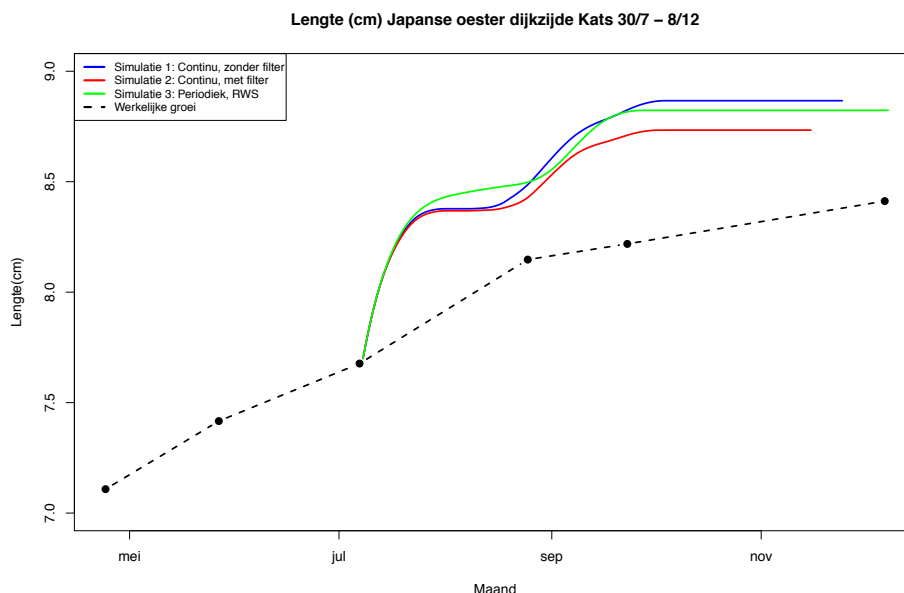
Bij volgende groeisimulaties is de modelinput voor de soort-specifieke parameters en de initiële condities gebaseerd op gevalideerde parametersets volgens Tang, 2014. Met continue data zijn simulaties uitgevoerd zonder een filter (ruwe data) (simulatie 1), en met een filter voor artefacten, volgens model 2 (simulatie 2). Vervolgens is vergeleken met een simulatie waarbij periodieke data van Rijkswaterstaat gebruikt is (simulatie 3).

Ook de resultaten van groeiexperimenten in het veld zijn weergegeven. Elke waarde is het gemiddelde van de genomen steekproef bij elke bemonstering.

- Simulatie 1: Zonder filter (ruwe data)
- Simulatie 2: Met filter volgens model 2 (Filter  $0 < \text{chlorofyl} < 70 \mu\text{g l}^{-1}$  + Filter droogval op basis van het astronomisch getij)
- Simulatie 3: Chlorofyldata van Rijkswaterstaat van een nabijgelegen locatie

### Kats

Afbeelding 22 toont simulaties van groei van de Japanse oester in lengte aan de dijkzijde van het oesterperceel bij Kats, over een periode van eind juli tot begin december. Daarbij is de meest betrouwbare continue data van temperatuur- en chlorofylconcentratie gebruikt voor simulatie 1 en 2 (zie conclusie data analyse). Voor simulatie 3 is data gebruikt gemeten bij Wissenkerke. De beginlengte van de oester is 7,7 cm, gekozen op basis van de gemiddelde, werkelijk gemeten lengte, tevens weergegeven in deze afbeelding.



**Afbeelding 22:** Simulatie van groei van de Japanse oester in lengte aan de dijkzijde bij Kats met ruwe continue data en met een filter voor artefacten, in vergelijking met periodieke data van Rijkswaterstaat, over een periode van eind juli tot begin december. Ook werkelijk gemeten groei is weergegeven van eind april tot begin december. Verschillende input resulteert in een ander resultaat. Elke simulatie kent een explosieve groei in de beginfase. In het algemeen is er weinig verschil tussen periodieke en continue data.

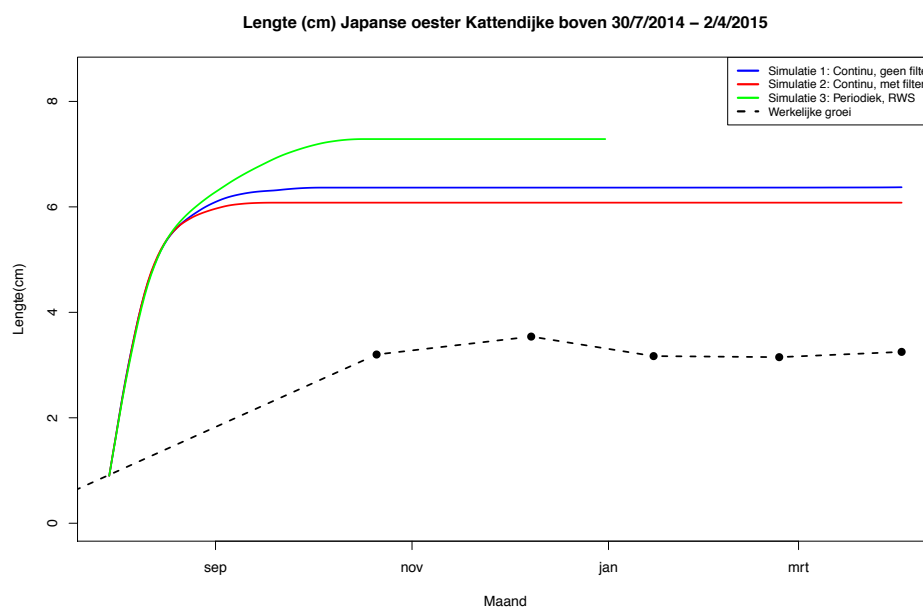
Verschillende input resulteert in een ander simulatieresultaat, waarbij simulatie 2 een lagere groei kent t.o.v. simulatie 3 en 1.

Groei is gekenmerkt door een explosieve groei in de beginfase in het eerste deel van augustus, gevolgd door afname in het tweede deel van augustus. In september vindt een tweede groeischeut plaats. Groei stagneert gedurende het najaar. In het algemeen kennen simulatie 1, 2 en 3 weinig onderling verschil.

Werkelijke groei is beduidend lager en is constanter doorheen het seizoen.

### Kattendijke

Afbeelding 23 toont simulaties van de groei van de Japanse oester in lengte, van de bovenste lijn kweekmandjes bij Kattendijke, over een periode van eind juli 2014 tot begin april 2015. Voor simulatie 3 is data gebruikt gemeten bij Lodijkse Gat, enkel beschikbaar tot eind 2014. De beginlengte is bepaald op basis van de gemiddelde werkelijk gemeten groei.

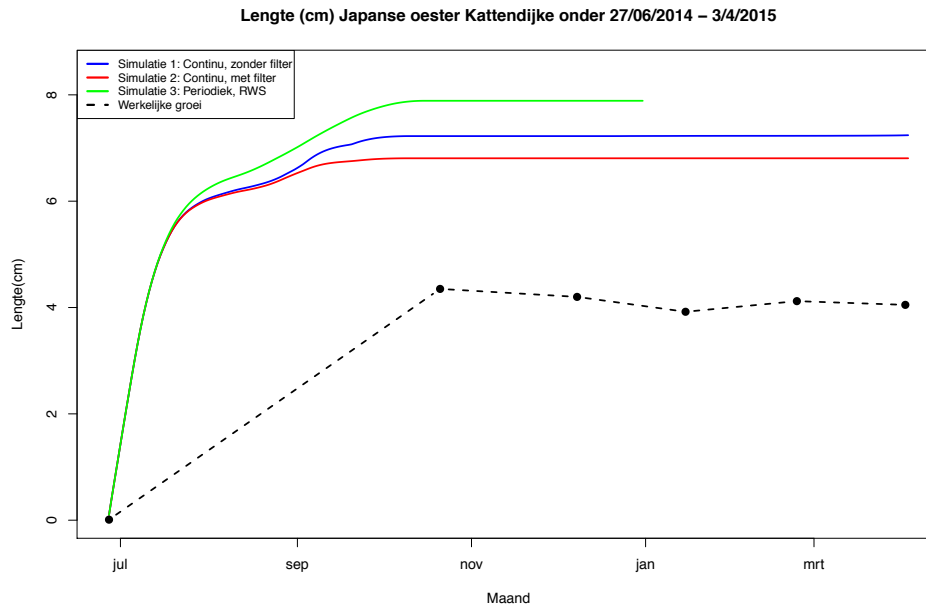


**Afbeelding 23: Simulatie van groei van de Japanse oester in lengte van de bovenste lijn kweekmandjes bij Kattendijke, over een periode van eind juli 2014 tot begin april 2015, met ruwe continue data en met een filter voor artefacten, in vergelijking met periodieke data van Rijkswaterstaat. Ook werkelijk gemeten groei is weergegeven. Verschillende input resulteert in een ander resultaat, en elke simulatie kent een explosieve groei in de beginfase.**

Verschillende input leidt tot ander resultaat, waarbij simulatie 2 de laagste groei kent t.o.v. model 1 en 3. Groei is explosief in de beginfase gedurende augustus, neemt af in september en stagneert vanaf oktober. In het algemeen verschillen simulatie 1, 2 en 3 weinig onderling.

Werkelijke groei is beduidend lager en is constanter doorheen het seizoen.

Afbeelding 24 toont simulaties van de groei van de Japanse oester in lengte, van de onderste lijn kweekmandjes bij Kattendijke, over een periode van eind juni 2014 tot begin april 2015. De beginlengte is 10mm, bepaald op basis van de gemiddelde lengte van het oesterbroed bij aanvang van het kweekexperiment.



**Afbeelding 24: Simulatie van groei van de Japanse oester in lengte van de onderste lijn kweekmandjes van Kattendijke, over een periode van eind juni 2014 tot begin april 2015, met ruwe continue data en met een filter voor artefacten, in vergelijking met periodieke data van Rijkswaterstaat. Ook werkelijk gemeten groei is weergegeven. Verschillende input resulteert in een ander resultaat, en elke simulatie kent een explosieve groei in de beginfase.**

Verschillende input leidt tot een ander resultaat, waarbij simulatie 2 de laagste groei kent t.o.v. model 1 en 3. Groei is explosief in de beginfase in juli en neemt af in augustus. In september vindt opnieuw een korte groeischeut plaats. Groei stagneert vanaf oktober. In het algemeen verschillen simulatie 1, 2 en 3 weinig onderling.

Werkelijke groei is beduidend lager en gelijkmatiger doorheen het seizoen.

#### 4.2. Conclusie

- Verschillende input leidt tot een ander resultaat waarbij simulatie 2, met continu lokaal gemeten temperatuur- en chlorofylconcentratie, na het toepassen van een filter voor artefacten in de metingen, in een lagere groei resulteert t.o.v. 3, met periodieke data van Rijkswaterstaat.
- De groeisimulaties zijn explosief in de beginfase.

#### 4.3. Discussie

Het groeipatroon van de Japanse oester bij Kats is onder meer te verklaren op basis van de functionele respons output (f). Dit is een maat voor de voedselopnamecapaciteit van het schelpdier op schaal van 0 tot 1, een index voor de relatie tussen voedselconcentratie en energieopname uit het voedsel. Energieopname is afhankelijk van de grootte van de darmen en soort-specifieke enzymen, in het model vertaald naar een soort-specifieke parameter.

Een toenemende voedselconcentratie in juli en het eerste deel van augustus resulteert in een snelle groei, en een afname in het tweede deel zorgt voor een dalende groei. Een tweede groeischeut is het resultaat van een tweede piek in september. In het najaar daalt de voedselconcentratie, met minder beschikbare energie voor het schelpdier tot gevolg (Bijlage 14).

In het algemeen is een functionele respons tot maximum 0,4 vrij laag, waarbij toch een explosieve groei mogelijk is in de beginfase.

Volgens de instelling van de soort-specifieke parameters is het initiële energie gehalte in reserves van de oester zeer hoog (Bijlage 15). Dit resulteert in explosieve groei in de beginfase. De tweede groeischeut volgt na aanvulling van reserves in augustus door een toename van de

voedselconcentratie. In het najaar, wanneer niet genoeg voedsel aanwezig is voor groei, gaat het organisme teren op eigen lichaamsreserves.  
Bij simulatie 1 en 2 treedt er sterfte op in de winter door uitputting van de reserves.

Groei stagneert in het najaar bij een daling van de watertemperatuur (Bijlage 16), de bepalende factor voor het begin en einde van het groeiseizoen, die van invloed is op de metabolische activiteit van het organisme.

Simulatie 2 kent een lagere voedselbeschikbaarheid als gevolg van het droogvallen van het perceel, en resulteert in een lagere groei. Het groeiexperiment bij Kats toont echter geen significant effect van droogval op de groei in lengte. Het vleesgehalte is wel negatief beïnvloedt door een toename van droogvalduur.

Via simulatie van het natgewicht kan groei ook gesimuleerd worden in gewicht. Zo kan naast grootte, ook een conclusie getrokken worden over de kwaliteit van het schelpier. Simulatie resulteert echter eveneens in onrealistische resultaten in vergelijking met de werkelijke situatie, als gevolg van de instelling van de soort-specifieke parameters (Bijlage 17).

Bij Kattendijke boven en onder is groei ook explosief in de beginfase. Hierbij is de functionele respons ook laag is tot ongeveer 0,3. Periodieke data resulteert in een meer groei, ten gevolge van een hoger gemeten voedselconcentratie en mede ook een hogere functionele respons (bijlage 18). Het reservegehalte bij de start is eveneens zeer hoog, wat explosieve groei in de beginfase kan verklaren (bijlage 19).

De oesters bij Kattendijke onder realiseren volgens de simulaties een snellere groei dan bij Kattendijke boven. Dit is te verklaren door minder droogval van Kattendijke onder, resulterend in een langere voedingsperiode, meer voedselbeschikbaarheid (Bijlage 20), en de mogelijkheid tot meer opbouw van reserves (Bijlage 21).

Groei stagneert in het najaar als gevolg van een daling van de watertemperatuur.

In het algemeen is de explosieve groei in de beginfase onrealistisch, ten gevolge van de instelling van de soort-specifieke parameters. Dit maakt vergelijking en kwantificering op basis van werkelijk gemeten groei niet relevant. In dit onderzoek is uitgegaan van de validiteit van het bestaand DEB model volgens het onderzoek van Tang, 2014, en moet op grond van deze bevinding enigszins genuanceerd worden. Verdere validatie ligt buiten het bereik van dit onderzoek.

De simulaties uitgevoerd voor dit onderzoek, met continu lokaal gemeten temperatuur en chlorofylconcentratie, resulteren na het filteren van artefacten in een lagere groei t.o.v. simulaties met periodieke data van Rijkswaterstaat. Dit is waarschijnlijk niet altijd het geval.

In werkelijkheid start het groeiseizoen al voor de simulatieperiode, bij een toename van de voedselconcentratie in het vroege voorjaar, voor de start van de meetcampagne. Hiermee is dus geen rekening gehouden in de simulaties. Periodieke metingen kunnen soms lager en soms ook hoger zijn, wat vervolgens in het model tot een hoger of lagere groei resulteert. Daarom is enkel geconcludeerd dat het gebruik continue data tot een andere groei leidt.

In het algemeen is geconcludeerd dat simulatie met continue data weinig verschillen van simulatie met periodieke data.



## 5. Conclusie

### Data analyse

Voor de vertaling van continu gemeten temperatuur- en chlorofylconcentratie tot een dagwaarde als input voor het Zilte Productie farmmodel zijn filters ontwikkeld voor het automatisch verwijderen van artefacten in de metingen.

Artefacten in de chlorofylmetingen als gevolg van het droogvallen van de fluorescentiemeters zijn verwijderd en vervangen door 0 waarden. Artefacten in de temperatuurmetingen zijn verwijderd. Hierbij is een onder- en bovengrens gesteld op basis van astronomische getijvoorspellingen voor Kats. Onrealistisch hoge chlorofylwaarden boven  $70 \mu\text{g l}^{-1}$  zijn verwijderd op basis van Rijkswaterstaat chlorofylmetingen in de Oosterschelde.

Na grondige data analyse blijken er additionele artefacten in de chlorofyldata aanwezig te zijn, mogelijk het gevolg van aangroei van macroalgen op de paal van bevestiging van de meter, de aanwezigheid van benthische algen, of het niet tussentijds kalibreren.

Via een horizontale opstelling, regelmatige controle voor algengroei op de paal, en tussentijdse kalibratie van de meters op basis van een watermonster genomen ter plaatse op de meetlocatie, kan deze veronderstelling onderzocht worden, voor het vermijden van additionele artefacten in de metingen.

### Model simulaties

Met nuancering van additionele artefacten is geconcludeerd dat continu lokaal gemeten data voor voedselconcentratie en temperatuur als input in het Zilte Productie farmmodel, resulteert in een andere groei van de Japanse oester, dan met voorheen gebruikte periodieke data van Rijkswaterstaat, gemeten op een nabijgelegen locatie.

Volgens de hypothese is niet bevestigd dat de continue data resulteert in accuratere groeivoorspellingen die beter overeenkomen met de werkelijke situatie, vanwege onrealistische simulatieresultaten ten gevolge van de instelling van de soort-specifieke parameters in het model.

Verder onderzoek naar validatie van groeivoorspellingen, via de instelling van soort-specifieke parameters ten opzichte van werkelijk gemeten groei, kan mogelijk accuratere groeivoorspellingen opleveren.

Via de simulaties is bovendien geconcludeerd dat er geen veelbeduidend verschil optreedt tussen het gebruik van continue data, en periodieke data van Rijkswaterstaat.

Daarbij kan men voor vervolgonderzoek de vraag stellen hoe exact groeivoorspellingen dienen overeen te komen met de werkelijke groei, om te beslissen of het continu meten van temperatuur en chlorofylconcentratie zinvol verder is.

Bovendien kan de ontwikkelde filter voor droogvalduur van model 3 ook toegepast worden op de periodieke data. Mogelijk is het verschil t.o.v. simulatie met continue data dan nog kleiner.

## 6. Aanbevelingen

Ter vermindering van het meten van additionele artefacten, en het verkrijgen van accuratere groeivoorspellingen, zijn een aantal zaken aanbevolen voor vervolgstudie.

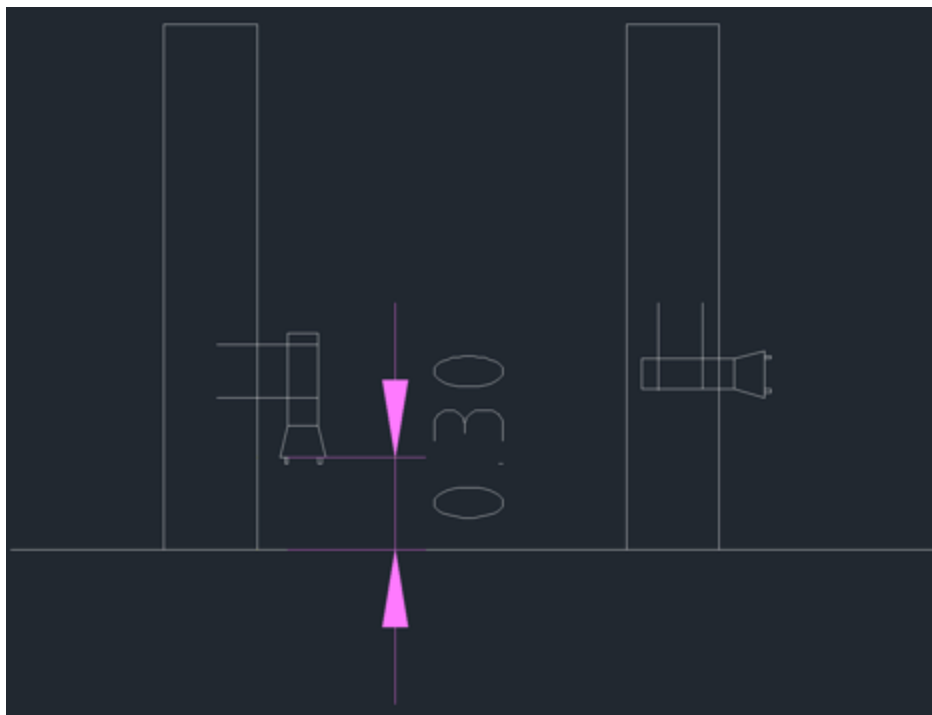
Ten eerste kan een experiment met de fluorescentiemeters opgezet worden met een verticale opstelling (zoals voorheen), waarbij de sensor naar de bodem gericht is (op een afstand van minimaal 20 – 30 cm), en ook horizontaal (afstand van de bodem is hierbij niet van toepassing) (afbeelding 25). Op deze manier wordt de lichtstraal, uitgezonden in de waterkolom, terug opgevangen, met minimale invloed van reflectie door objecten uit de omgeving, of materiaal op de bodem.

Bij voorkeur wordt het experiment uitgevoerd in het voorjaar of de vroege zomer, wanneer chlorofylconcentratie hoog is, en gedurende minimaal een week, om kortetermijnfluctuaties te kunnen registreren, en het gemeten patroon te kunnen beoordelen op consistentie.

Ter bepaling van de betrouwbaarheid van de data dienen de meters op dezelfde locatie en in de nabijheid van elkaar opgesteld te worden, minimaal in duplo.

De meters dienen ook gekalibreerd te zijn op basis van een watermonster genomen ter plaatse op de meetlocatie alvorens het starten, alsook tussentijds (ongeveer één keer per maand, na elk moment van uitlezen) gedurende de meetcampagne.

De gemeten chlorofylconcentratie kan tevens gevalideerd worden op basis van laboratoriumanalyse van een lokaal genomen watermonster.



**Afbeelding 25:** Schets van aanbevolen experimentopstelling. De fluorescentiemeters worden horizontaal (minimaal 20 – 30 cm boven de bodem), en ook horizontaal opgesteld. Via horizontale opstelling kan de invloed van lichtreflectie door objecten uit de omgeving of de bodem mogelijk vermeden worden.

Verder is het aan te bevelen om regelmatig (minimaal wekelijks) de aangroei van (macro)algen op de paal van bevestiging te controleren en indien aanwezig te verwijderen voor het vermijden van blokkering van de sensor.

Vanwege onrealistische simulatieresultaten ten gevolge van de instelling van de soort-specifieke parameters is tot slot een vervolgstudie aanbevolen naar de instelling van de parameters van de Japanse oester voor validatie van modelsimulaties aan de hand van werkelijk gemeten groei in het veld. Zo kunnen mogelijk accuratere groeivoorspellingen gemaakt worden die beter overeenkomen met de werkelijkheid.

## Bibliografie

- Beukema, J. J., Knol, E., & Cadée, G. C. (1985). Effects of temperature on the length of the annual growing season in the tellinid bivalve *Macoma balthica* (L.) living on tidal flats in the Dutch Wadden Sea. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 90(2), 129-144.
- Bijvoets, S. (2014). *Predicting yield on shellfish biomass using a Dynamic Energy Budget model*. HZ University of Applied Sciences.
- Bougrier, S., Geairon, P., Deslous-Paoli, J. M., Bacher, C., & Jonquières, G. (1995). Allometric relationships and effects of temperature on clearance and oxygen consumption rates of *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Aquaculture*, 134(1), 143-154.
- Capelle, J., & Hartog, E. (2014). *Effect van droogvalduur op oesters (T6) in mandjes in het intergetijdengebied*. Meetplan, HZ University of Applied Sciences.
- Capelle, J., Hartog, E., Creemers, J., & Kamermans, P. (2015). *Effects of stocking density, inundation time and within plot position on oyster (Crassostrea Gigas) performance in intertidal off-bottom culture in the Netherlands*. HZ University of Applied Sciences, IMARES Wageningen UR.
- Capelle, J., van Heumen, B., & Kamermans, P. (2014). *Gecombineerd effect van oesterbiomassa in zakken, droogvalduur, positie op het perceel, op de groei, overleving en kwaliteitsparameters van oesters op tafels in het intergetijdengebied*. Meetplan, HZ University of Applied Sciences, IMARES Wageningen UR.
- Coglan, A. (2013). *A Little Book of R For Multivariate Analysis*.
- Cloern, J. E. (1982). Does the Benthos Control Phytoplankton Biomass in South San Francisco Bay. *Marine ecology progress series. Oldendorf*, 9(2), 191-202.
- Cranford, P. J., Ward, J. E., & Shumway, S. E. (2011). Bivalve filter feeding: variability and limits of the aquaculture biofilter. *Shellfish aquaculture and the environment*, 81-124.
- Dame, R. F., & Prins, T. C. (1997). Bivalve carrying capacity in coastal ecosystems. *Aquatic Ecology*, 31(4), 409-421.
- Dégremont, L., Bédier, E., Soletchnik, P., Ropert, M., Huvet, a, Moal, J., Boudry, P. (2005). Relative importance of family, site, and field placement timing\ non survival, growth, and yield of hatchery-produced Pacific\ noyster spat (*Crassostrea gigas*). *Aquaculture*, 249, 213–229.
- Deruytter, D. (2011). Interactie van *Prorocentrum lima* met *Mytilus edulis*.
- Dupuy, C., Le Gall, S., Hartmann, H. J., & Bréret, M. (1999). Retention of ciliates and flagellates by the oyster *Crassostrea gigas* in French Atlantic coastal ponds: protists as a trophic link between bacterioplankton and benthic suspension-feeders. *Marine ecology. Progress series*, 177, 165-175.
- Geurts van Kessel, A. (2004). *Oosterschelde, een veranderend natuurmonument*. RIKZ.

Google. (2015). *Oosterschelde*. Opgeroepen op juni 28, 2015, van Google Maps: <https://www.google.be/maps/place/Oosterschelde,+Netherlands/@51.5632288,3.9525442,10z/data=!3m1!4b1!4m2!3m1!1s0x47c461a594252675:0x7a790cf45f7a7874?hl=en>

Hawkins, a. J. S., James, M. R., Hickman, R. W., Hatton, S., & Weatherhead, M. (1999). Modelling of suspension-feeding and growth in the green-lipped mussel *Perna canaliculus* exposed to natural and experimental variations of seston availability in the Marlborough Sounds, New Zealand. *Marine Ecology Progress Series*, 191(Bayne 1998), 217–232.

Heringa, J. (2014). *Practicum Filterfeeders*. Practicum beschrijving, HZ University of Applied Sciences.

HZ - Delta Academy. (2012). *Zilte Productie*. Projectvoorstel, HZ University of Applied Sciences.

Irisarri, J., Fernández-Reiriz, M.J., & Labarta, U. (2015). Temporal and spatial variations in proximate composition and Condition Index of mussels *Mytilus galloprovincialis* cultured in suspension in a shellfish farm. *Aquaculture*, 435, 207–216.

JFE Advantech Co., Ltd. (2009). *Infinity-series data logger user's guide*.

Korevaar, R. (2012). *Statistiek: een inleiding*.

Kater, B. J. (2003). *Ecologisch profiel van de Japanse oester*. Nederlands Instituut voor Visserijonderzoek (RIVO).

Kooijman, S.A.L.M. (1993) *Dynamic Energy Budget in Biological Systems: Theory and applications in Ecotoxicology*. Cambridge University Press, New York.

Kooijman, S. A. L. M. (2001). Quantitative aspects of metabolic organization: a discussion of concepts. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 356(1407), 331-349.

Kooijman, S. A. L. M. (2010). *Dynamic energy budget theory for metabolic organisation*. Cambridge university press.

Logan, M. (2013). *Tutorials and Workshops on R and Statistics*. Opgeroepen op mei 16, 2015, van <http://flutterbys.com.au/stats/index.html>

Lopez, G. R., & Levinton, J. S. (1987). Ecology of deposit-feeding animals in marine sediments. *Quarterly Review of Biology*, 235-260.

Mann, R., Burreson, E. M., & Baker, P. K. (1994). The Decline of the Virginia Oyster Fishery in Chesapeake Bay: Considerations for Introduction of a Non-Endemic Species, *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793). *Molluscan Introductions and Transfers: Risks Considerations and Implications*, 94(2), 25.

Newell, R. (1965). The role of detritus in the nutrition of two marine deposit feeders, the prosobranch *Hydrobia ulvae* and the bivalve *Macoma balthica*. In *Proceedings of the Zoological Society of London* (Vol. 144, No. 1, pp. 25-45). Blackwell Publishing Ltd.

Nisbet, R. M., Muller, E. B., Lika, K., & Kooijman, S. A. L. M. (2000). From molecules to ecosystems through dynamic energy budget models. *Journal of animal ecology*, 69(6), 913-926.

Provincie Zeeland. (2007). *Aquacultuur in Zeeland: de blauwe revolutie*.

- Provincie Zeeland. (2015). *Luchtfoto's van Zeeland*. Opgeroepen op juni 28, 2015, van Geoloket: <http://zldgwb.zeeland.nl/gw411sl/?Viewer=Luchtfotos>
- Rijkswaterstaat . (2015). *Getijvoorspellingen* . Opgeroepen op februari 15, 2015, van [http://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterdata\\_waterberichtgeving/watergegevens/getijvoorspellingen/](http://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterdata_waterberichtgeving/watergegevens/getijvoorspellingen/)
- Reise, K. (1998). Pacific oysters invade mussel beds in the European Wadden Sea. *Senckenbergiana maritima*, 28(4-6), 167-175.
- Ribelin, B. W., & Collier, A. (1977). Studies on the gill ciliation of the American oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin). *Journal of morphology*, 151(3), 439-449.
- Rijkswaterstaat. (2015). *Getij*. Opgeroepen op februari 18, 2015, van [http://www.rijkswaterstaat.nl/water/feiten\\_en\\_cijfers/getij/](http://www.rijkswaterstaat.nl/water/feiten_en_cijfers/getij/)
- Rijkswaterstaat. (2015, februari 20). *Het getij NL*. Opgehaald van [http://getij.rws.nl/getij\\_resultaat.cfm?location=KATSBTN](http://getij.rws.nl/getij_resultaat.cfm?location=KATSBTN)
- Rijkswaterstaat. (2015). *Waterbase*. Opgeroepen op februari 15, 2015, van Rijkswaterstaat: [http://live.waterbase.nl/waterbase\\_wns.cfm?taal=nl](http://live.waterbase.nl/waterbase_wns.cfm?taal=nl)
- Smaal, A., Stralen, M. V., & Schuiling, E. (2001). The interaction between shellfish culture and ecosystem processes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58(5), 991-1002.
- Soortenbank. (2015). Opgeroepen op april 5, 2015, van <http://www.soortenbank.nl/soorten.php?soortengroep=duikgids&id=244&menuentry=soorten>
- Tang, X. (2014). *An investigation of the set of DEB parameters values of four species of shellfish for an existing DEB model*. HZ University of Applied Sciences.
- van der Veer, H. W., Cardoso, J. F., & van der Meer, J. (2006). The estimation of DEB parameters for various Northeast Atlantic bivalve species. *Journal of Sea Research*, 56(2), 107-124.
- Wageningen UR. (2015). *Japanse oesters*. Opgeroepen op juni 13, 2015, van Wageningen UR: <http://www.wageningenur.nl/nl/Expertises-Dienstverlening/Wettelijke-Onderzoekstaken/Centrum-voor-Visserijonderzoek-1/Onderzoek/Schelpdieronderzoek/Japanse-Oesters-3.htm>
- Water on the web. (2004). *Algal succession*. Opgeroepen op juni 28, 2015, van Water on the web: [http://www.waterontheweb.org/under/lakeecology/14\\_algalsuccession.html](http://www.waterontheweb.org/under/lakeecology/14_algalsuccession.html)
- Wikipedia. (2015). *Japanse oester*. Opgeroepen op juni 13, 2015, van Wikipedia: [http://nl.wikipedia.org/wiki/Japanse\\_oester](http://nl.wikipedia.org/wiki/Japanse_oester)
- Wijsman, J. W. M., Brummelhuis, E. B. M., & Smaal, A. C. (2009). *DEB model for cockles (Cerastoderma edule) in the Oosterschelde* (No. C048/09, p. 44). IMARES.
- Wijsman, J. W. M. (2011). *Dynamic Energy Budget (DEB) parameters for ensis directus* (No. C116/11, p. 39). IMARES.

Windfinder. (2015). *Wind en weerstatistieken Wilheminadorp*. Opgeroepen op juni 16, 2015, van Windfinder: <http://nl.windfinder.com/windstatistics/wilhelminadorp>

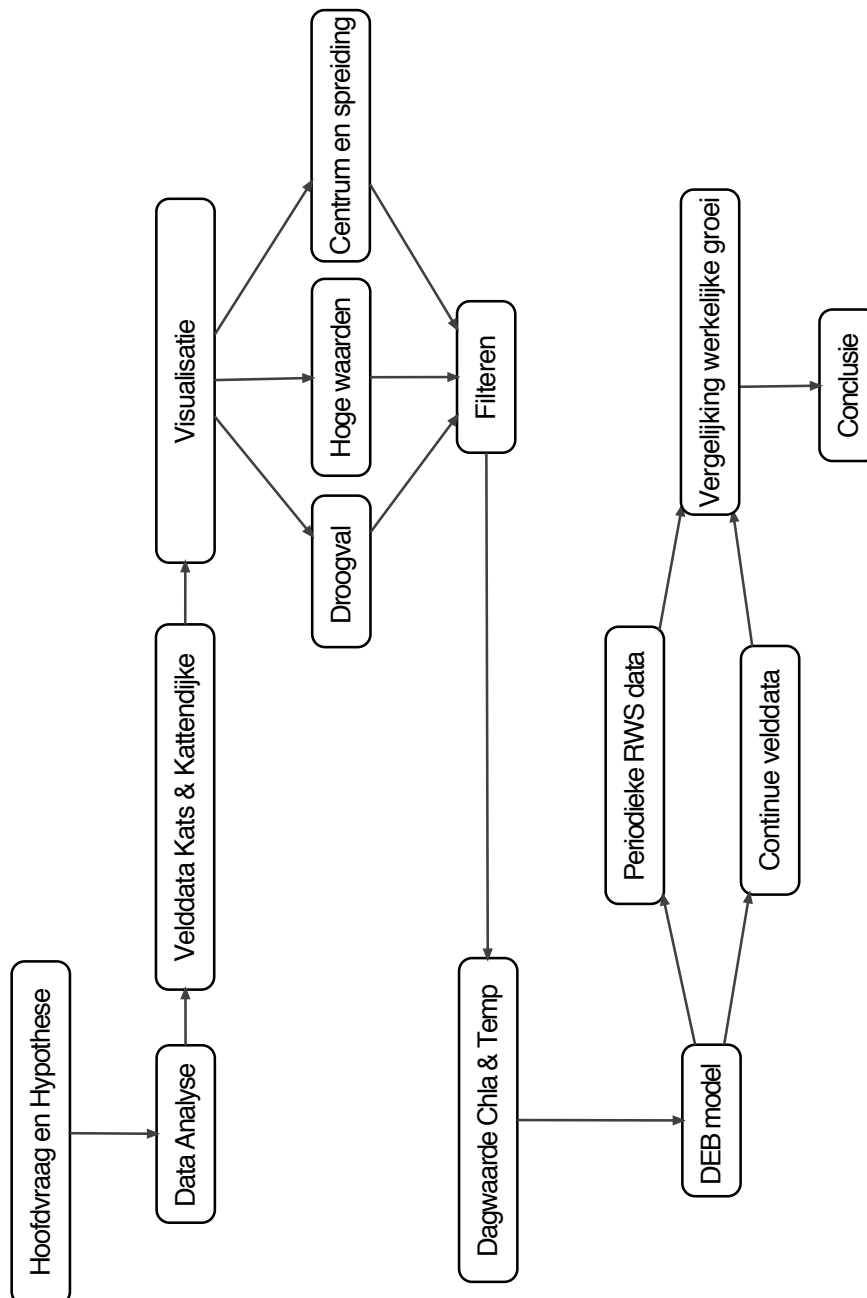
Wanink, J. H., & Zwarts, L. (1993). Environmental effects of the growth rate of intertidal invertebrates and some implications for foraging waders. *Netherlands Journal of Sea Research*, 31(4), 407–418.

Ward, J. E., Sanford, L. P., Newell, R. I. E., & MacDonald, B. A. (1998). A new explanation of particle capture in suspension-feeding bivalve molluscs. *Limnology and Oceanography*, 43(5), 741-752.

Ward, J. E., & Shumway, S. E. (2004). Separating the grain from the chaff: particle selection in suspension-and deposit-feeding bivalves. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 300(1), 83-130.

## Bijlagen

### 1. Stroomschema analyse van continu gemeten temperatuur en chlorofyl concentratie als input van een groeimodel voor schelpdieren.



Afbeelding 36: Voor het beantwoorden van de hoofdvraag en hypothese is gestart met een data analyse. Via visualisatie in grafieken is onderzocht welk deel van de velddata ingewonnen bij Kats en Kattendijke gebaseerd is op artefacten. Vervolgens zijn filters ontwikkeld om artefacten uit de data te verwijderen. Gefilterde data is ingevoerd in het DEB model als dagwaarde, voor het simuleren van groei. Tevens zijn simulaties uitgevoerd met periodieke data van Rijkswaterstaat. Tot slot zijn groeivoorspellingen vergeleken met werkelijk gemeten groei om een conclusie te trekken.



## 2. Centrum en spreiding data Kats

Tabel 11: Gemiddelde, mediaan en modus chlorofyl- en temperatuur metingen Kats.

Kats dijkzijde		Kats midden			Kats zeezijde	
Dataset	Chlorofyl ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	Chlorofyl ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	Chlorofyl ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )
<b>Dataset 1</b>						
Gemiddelde	46,8	17,5	15,3	17,7	67,1	17,9
Mediaan	10,1	18	3,26	18,1	9,88	18
sd	86,2	2	51,2	1,86	122,7	1,53
<b>Dataset 2</b>						
Gemiddelde	8,95	19,7	10,17	19,9	13,6	20,2
Mediaan	2,08	20	5,25	20,2	2,84	20,5
sd	39,7	2	29,25	1,8	51,7	1,58
<b>Dataset 3</b>						
Gemiddelde	23,09	17,9	13,3	18,1	9,25	18,3
Mediaan	2,76	18	3,21	18,2	6,62	18,3
sd	79,68	1,3	53,86	1,19	13,8	1
<b>Dataset 4</b>						
Gemiddelde	3,58	12,8	6,37	12,8	7,3	12,8
Mediaan	1,12	13,2	3,6	13,2	1,68	13,2
sd	29,6	2,9	14,5	3,2	33,9	3,1

Tabel 11 toont centrum en spreiding van ingewonnen data bij Kats voor chlorofyl- en temperatuur aan de hand van het gemiddelde, mediaan, modus en standaarddeviatie. Het Gemiddelde ligt bij elke dataset hoger dan mediaan wijzend op een scheve verdeling naar rechts, veroorzaakt door uitschieters. Standaarddeviatie toont voor iedere dataset een grote spreiding van de meetwaarden.

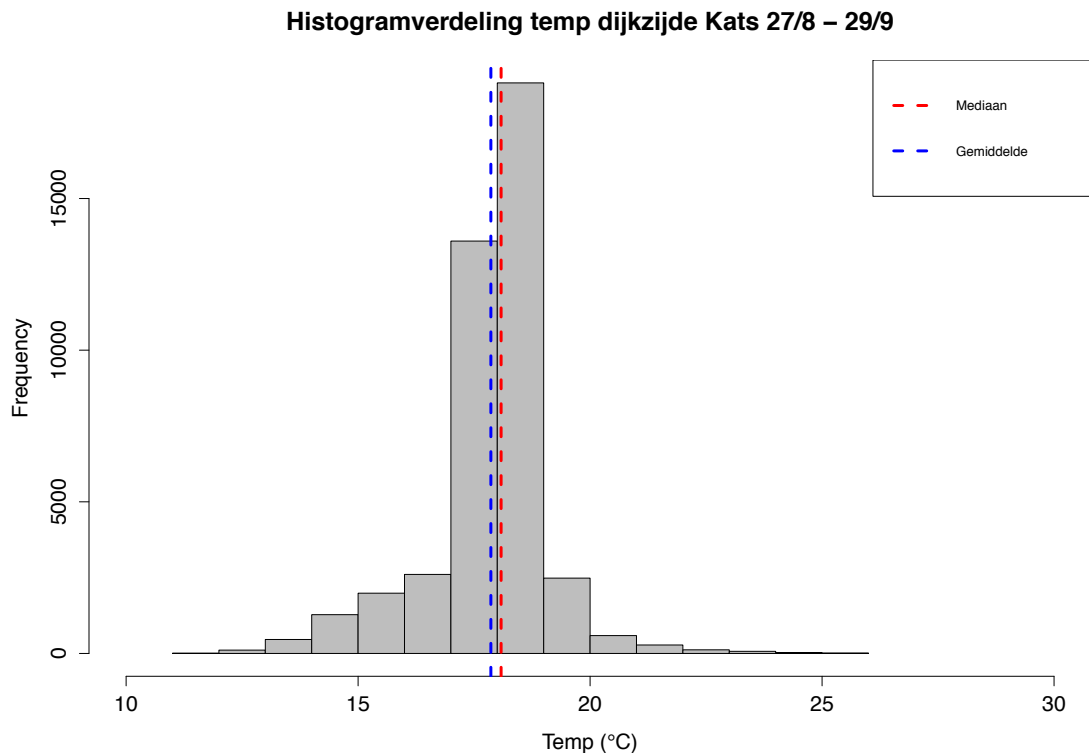
### 3. Centrum en spreiding data Kattendijke

Tabel 12: Gemiddelde, mediaan en modus chlorofyl- en temperatuur metingen Kattendijke.

Kattendijke boven		Kattendijke onder		
Dataset	Chlorofyl ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	Chlorofyl ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	Dataset	Chlorofyl ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )
<b>dataset 1</b>			<b>dataset 7</b>	
gemiddelde	2,42	3,33	gemiddelde	4,47
mediaan	2,1	2,11	mediaan	1,86
sd	5,16	10,64	sd	12,54
<b>dataset 2</b>				
gemiddelde	5,38	34,07		
mediaan	1,35	3,2		
sd	34,16	96,16		
<b>dataset 3</b>				
gemiddelde	1,31	4,4		
mediaan	0,97	1,65		
sd	7,71	27,29		
<b>dataset 4</b>				
gemiddelde	3,43	4,77		
mediaan	2,99	1,43		
sd	8,32	13,69		
<b>dataset 5</b>				
gemiddelde	3,37	4,39		
mediaan	3,06	3,23		
sd	6,46	4,85		
<b>dataset 6</b>				
gemiddelde	2,51	1,33		
mediaan	1,47	1,37		
sd	9,64	1,02		

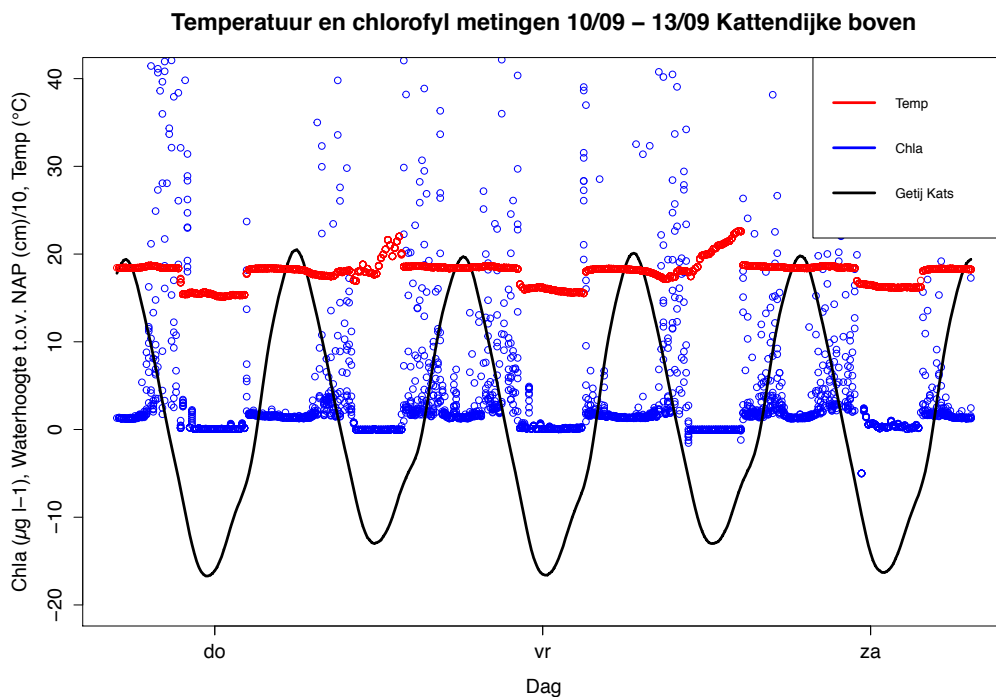
Tabel 12 toont centrum en spreiding van ingewonnen data bij Kattendijke voor chlorofyl- en temperatuur aan de hand van het gemiddelde, mediaan, modus en standaarddeviatie. Het Gemiddelde ligt bij elke dataset hoger dan mediaan wijzend op een scheve verdeling naar rechts, veroorzaakt door uitschieters. Standaarddeviatie toont voor iedere dataset een grote spreiding van de meetwaarden.

#### 4. Histogramverdeling temperatuurmetingen dataset dijkzijde Kats



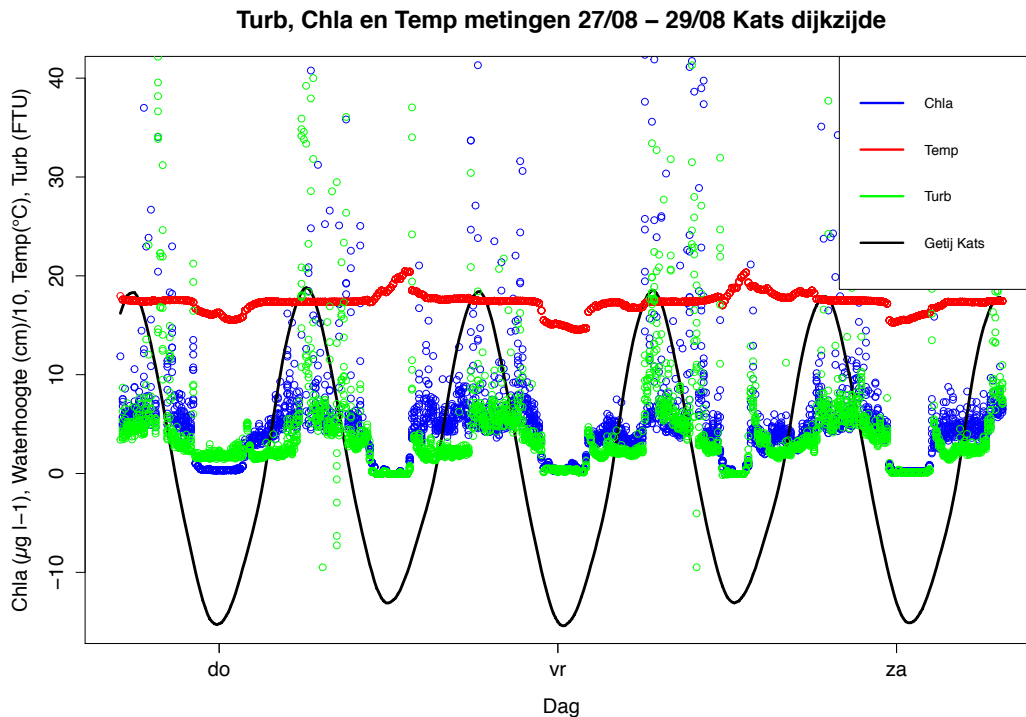
**Afbeelding 27:** Frequentieverdeling temperatuurmetingen in een histogram dijkzijde Kats 27/8 – 29/9. Temperatuurmetingen zijn nagenoeg normaal verdeeld. Verandering van temperatuur door het seizoensverloop kan de verdeling enigszins beïnvloeden.

#### 5. Subset temperatuur en chlorofylmetingen Kattendijke boven



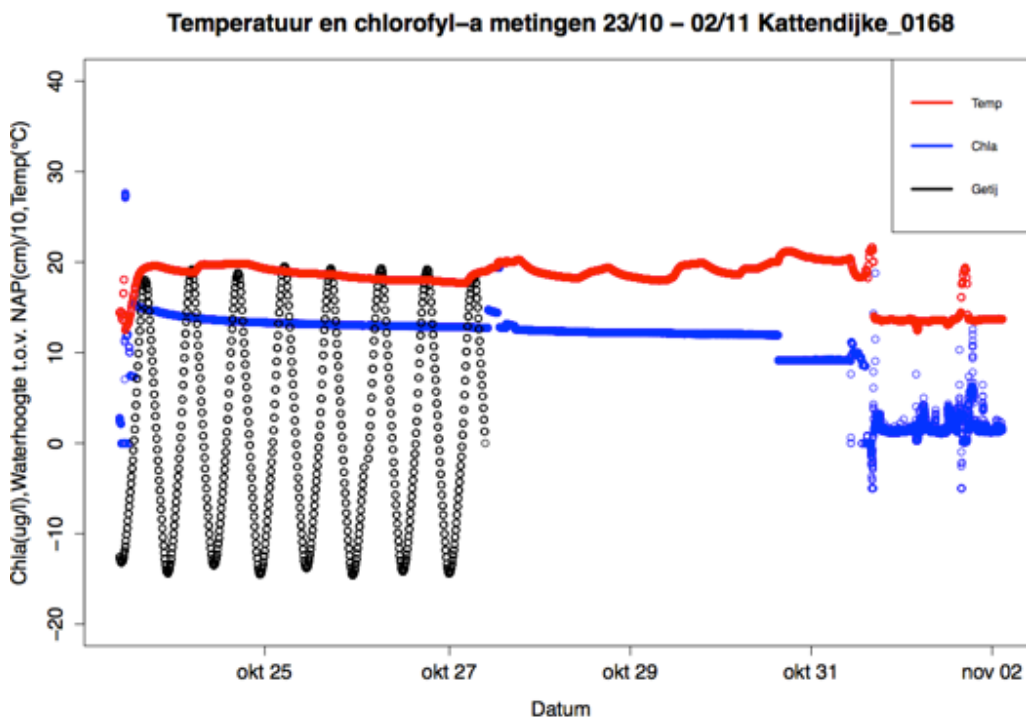
**Afbeelding 28:** Interpolatie van getij, als chlorofyl en temperatuurmetingen als functie van de tijd in een subset van vier dagen voor bovenste meter bij Kattendijke. Droogval wordt gekenmerkt door een reeks meetwaarden in de buurt van 0 µg l-1 en een verstoring van temperatuur.

## 6. Subset temperatuur, chlorofyl- en troebelheidmetingen Kats dijkzijde



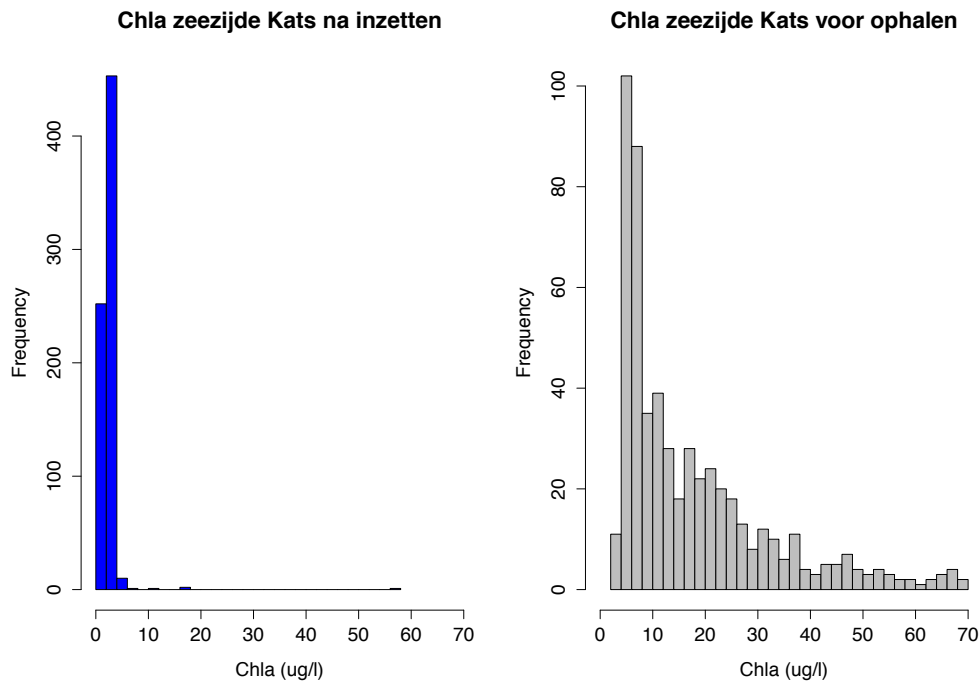
Afbeelding 29: Interpolatie van getij, troebelheid, chlorofyl- en temperatuurmetingen als functie van de tijd, in een subset van vier dagen voor de dijkzijde meter Kats. Droogval wordt gekenmerkt door een reeks meetwaarden in de buurt van 0 µg l-1, 0 FTU en een verstoring van temperatuur.

## 7. Subset onrealistische temperatuur- en chlorofylmetingen Kattendijke onder



Afbeelding 30: Interpolatie van getij, chlorofyl- en temperatuurmetingen als functie van de tijd, in een subset van 10 dagen voor de onderste meter bij Kattendijke. De metingen vertonen een onrealistisch patroon gedurende een periode van 8 dagen.

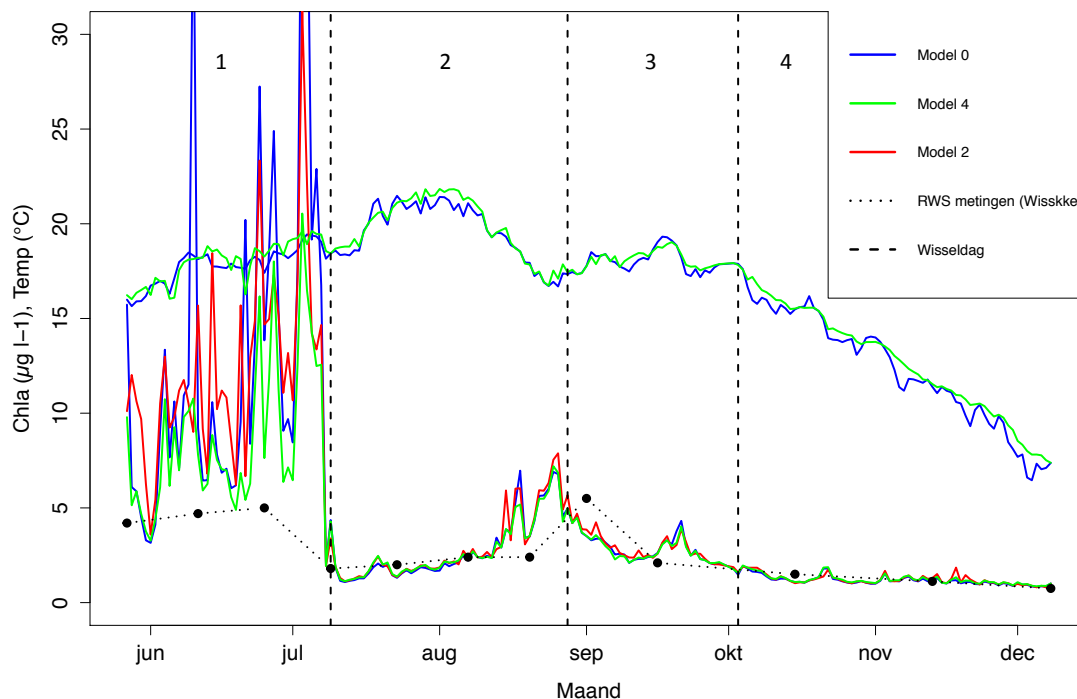
### 8. Frequentie verdeling chlorofylmetingen Kats zeezijde bij wissel



**Afbeelding 31:** frequentieverdeling chlorofyl zeezijde Kats na inzetten en voor ophalen. Chlorofylconcentratie heeft een grote spreiding voor ophalen en een minimale spreiding na inzetten.

### 9. Effect model 0, 1 en 2 op dagwaarde omgevingsvariabelen Kats dijkzijde

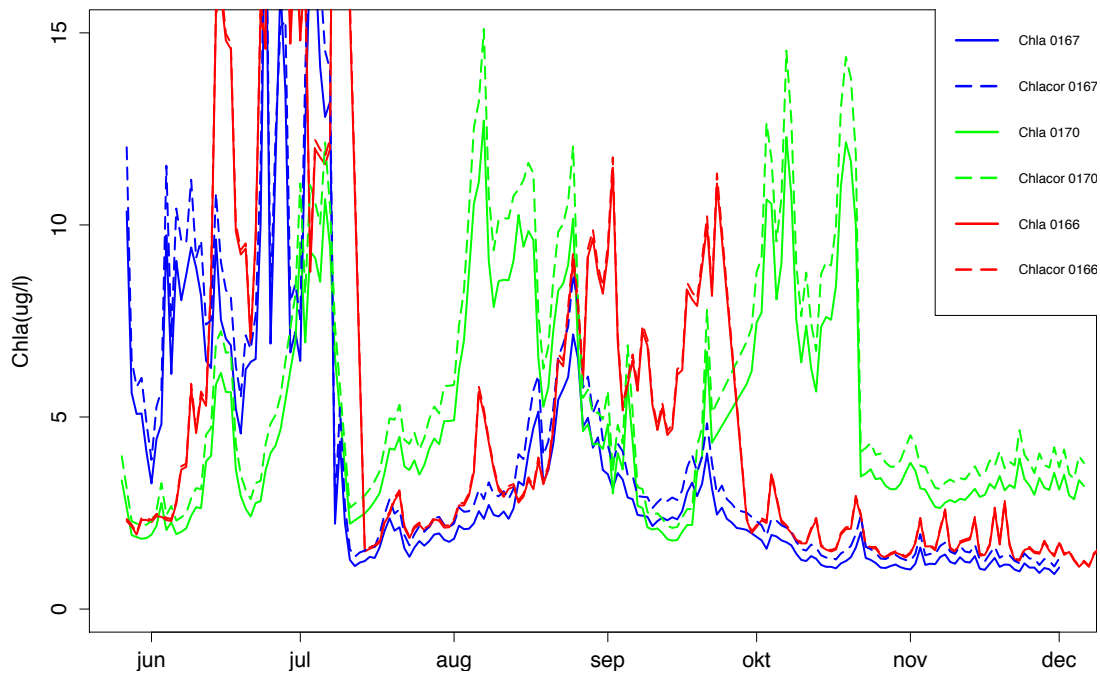
Dagwaarde chla en temp dijkzijde Kats 27/5 – 8/12



**Afbeelding 32:** Effect model 0 en 1 op chlorofyl dagwaarde en model 2 op chlorofyl en temperatuurdagwaarde van de dijkzijde meter Kats, in vergelijking met periodieke chlorofylmetingen van Rijkswaterstaat. Verschillende datasets zijn genummerd, verticale stippenlijnen geven wisselperiodes aan.

## 10. Correctie factoren chlorofylmetingen Kats

Daggemiddelde Chla Kats 27/5 – 8/12



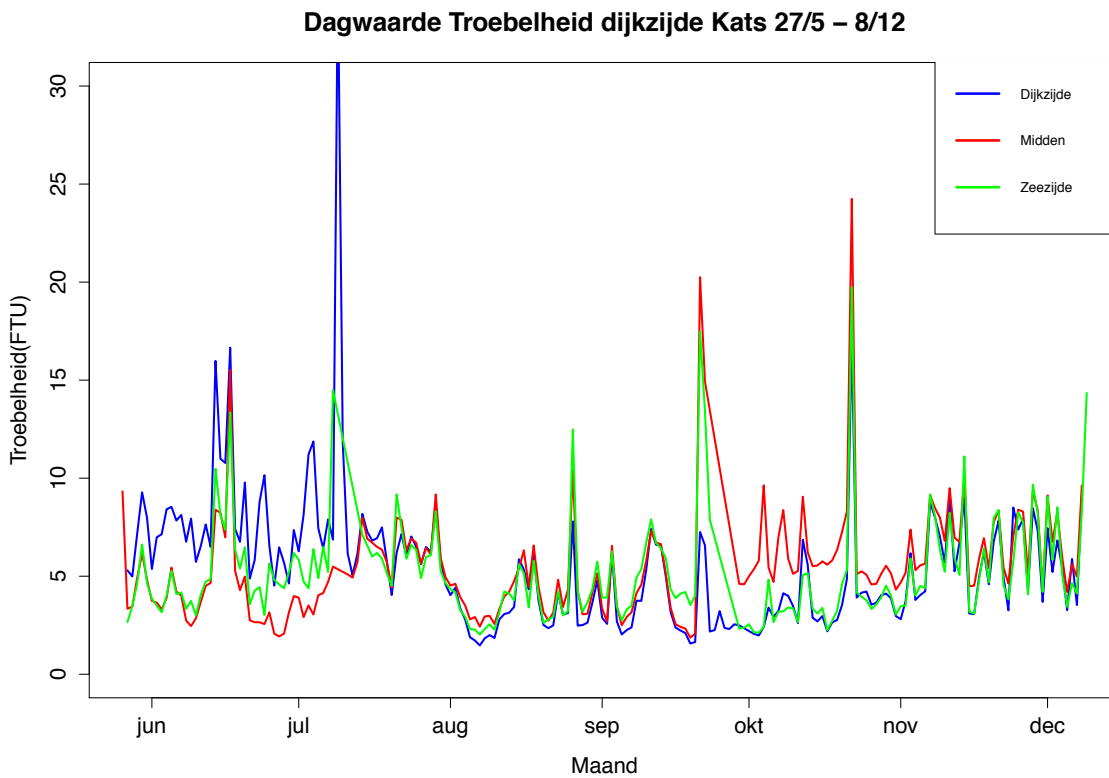
Afbeelding 33: Effect toepassing van correctiefactoren op de chlorofylconcentratiedagwaarde van meters dijkzijde, midden en zeezijde bij Kats, gedurende de volledige meetperiode. Gecorrigeerde dagwaardes (stippenlijnen) verschuiven licht, maar geven geen volledige correctie.

## 11. Hoogte van de fluorescentiemeters t.o.v. de bodem (in cm)

Tabel 13: Hoogte van de fluorescentiemeters t.o.v. de bodem (in cm). Kats midden hangt dichtst tegen de bodem. Fluorescentiemeters bij Kattendijke hangen hoger boven de bodem dan bij Kats.

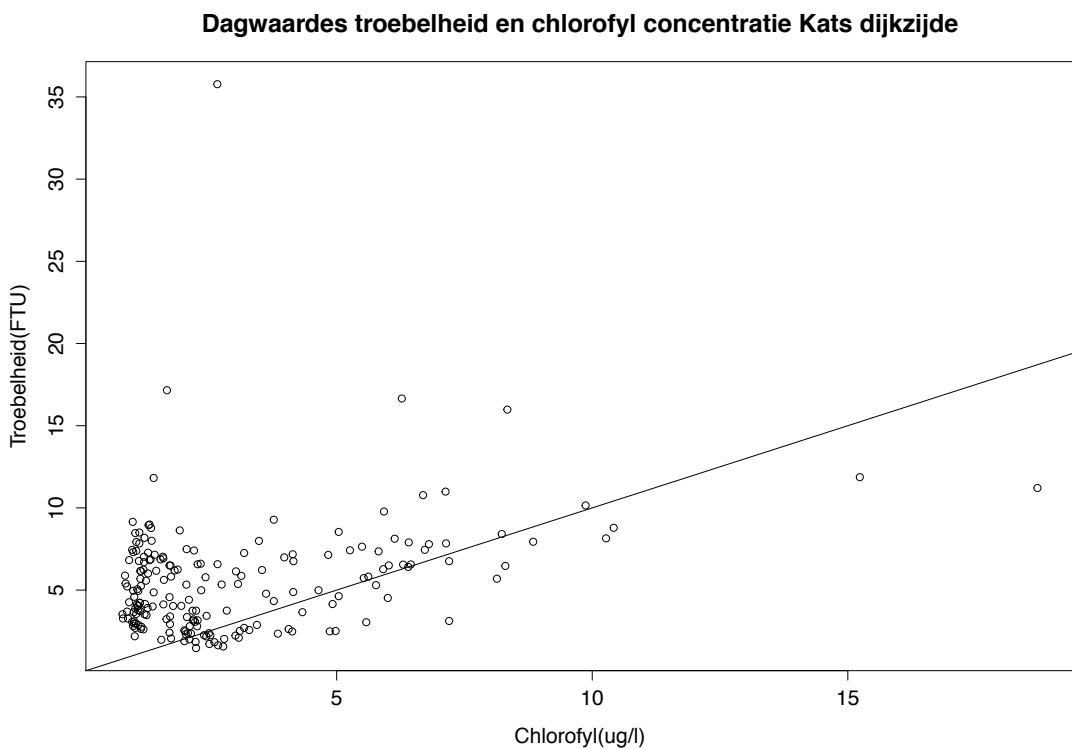
Fluorescentiemeter	Hoogte t.o.v. de bodem (in cm)
Kats dijkzijde	46
Kats midden	33
Kats zeezijde	50
Kattendijke boven	134
Kattendijke onder	68

## 12. Dagwaarde troebelheid Kats dijkzijde



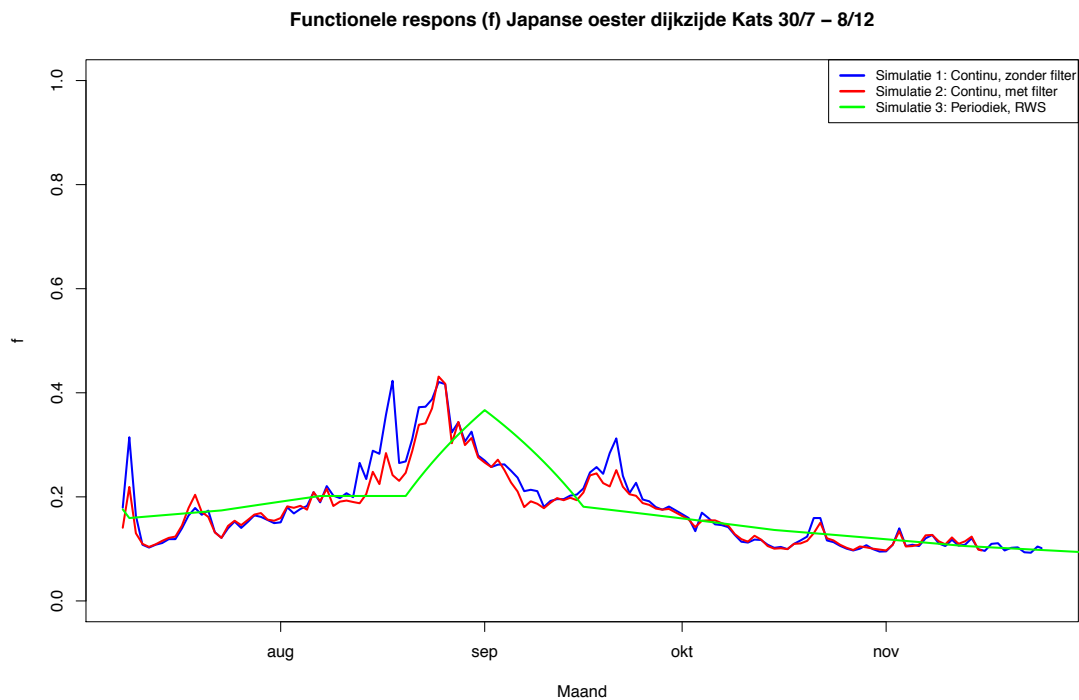
**Afbeelding 34:** Dagwaarde troebelheid fluorescentiemeters Kats over de volledige meetperiode. Troebelheid kent een algemeen consistent patroon tussen de verschillende meters.

## 13. Correlatie troebelheid en chlorofylconcentratie dijkzijde Kats



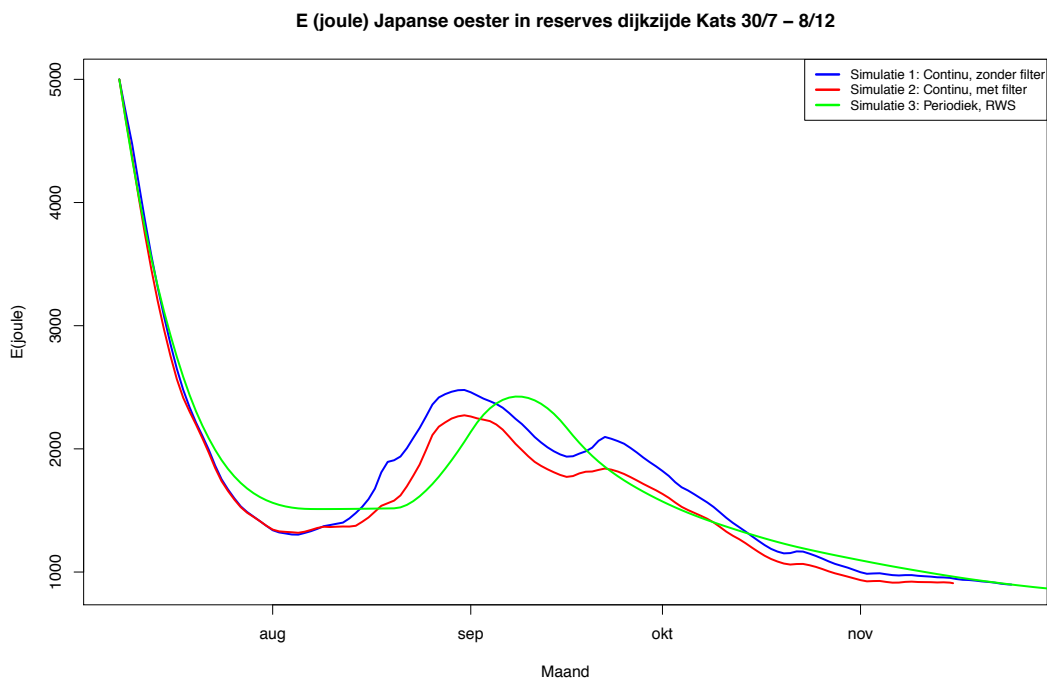
**Afbeelding 35:** Dagwaardes troebelheid en chlorofylconcentratie Kats dijkzijde. Een correlatiecoëfficiënt van 0,31 geeft geen duidelijke correlatie aan.

## 14. Simulatie functionele respons dijkzijde Kats



**Afbeelding 36:** Simulatie van de functionele respons (f) op schaal van 0 tot 1, voor de Japanse oester bij Kats dijkzijde. Een toenemende voedselconcentratie in juli, en het eerste deel van augustus resulteert in hogere energie opname in de beginfase. Een tweede groeischeut volgt bij een tweede piek in september.

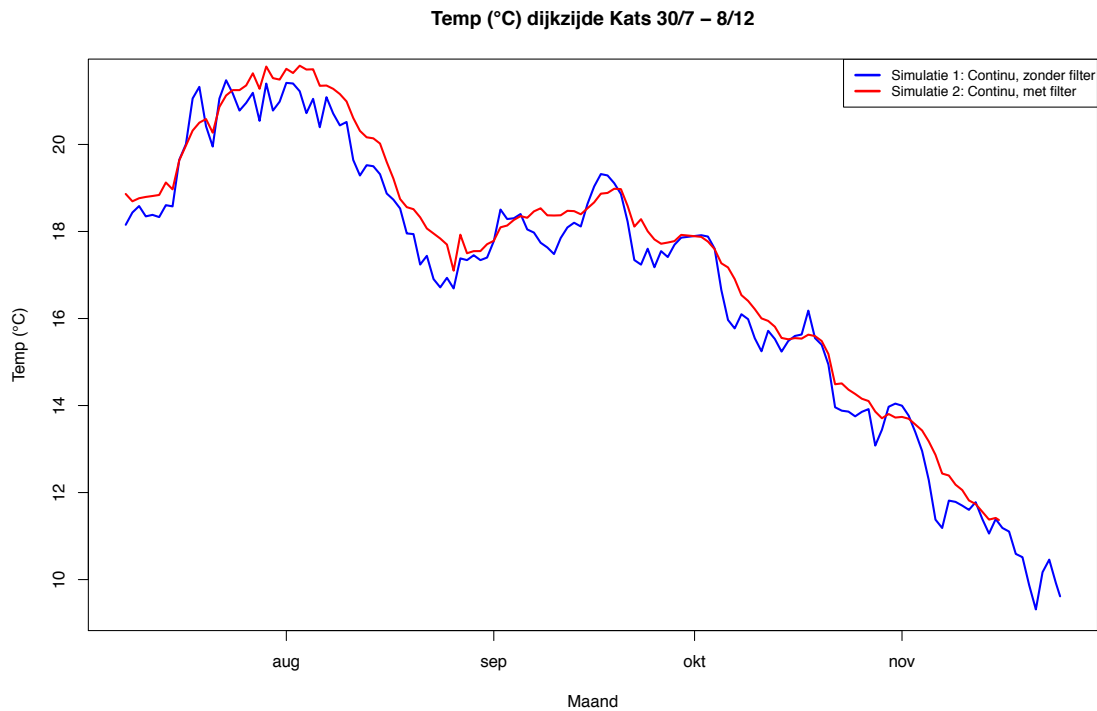
## 15. Simulatie E in reserves dijkzijde Kats



**Afbeelding 34:** Weergave van het energiegehalte in reserves (E) voor de Japanse oester bij Kats dijkzijde. Een hoog startgehalte resulteert in een explosieve groei in de beginfase. Een toename van voedselbeschikbaarheid in augustus zorgt voor aanvulling van de reserves en een tweede groeischeut.

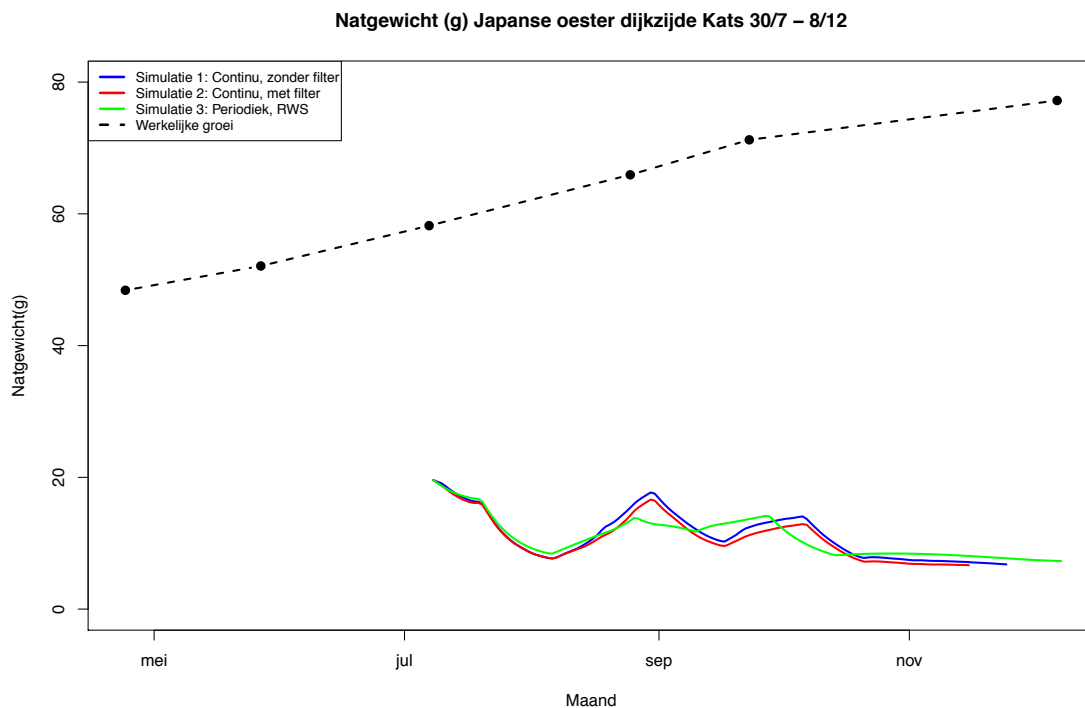


## 16. Temperatuur dijkzijde Kats



**Afbeelding 35:** Weergave van de watertemperatuur bij Kats dijkzijde doorheen de volledige meetperiode. In het najaar stagneert de groei van de Japanse oester ten gevolge van een daling van de watertemperatuur.

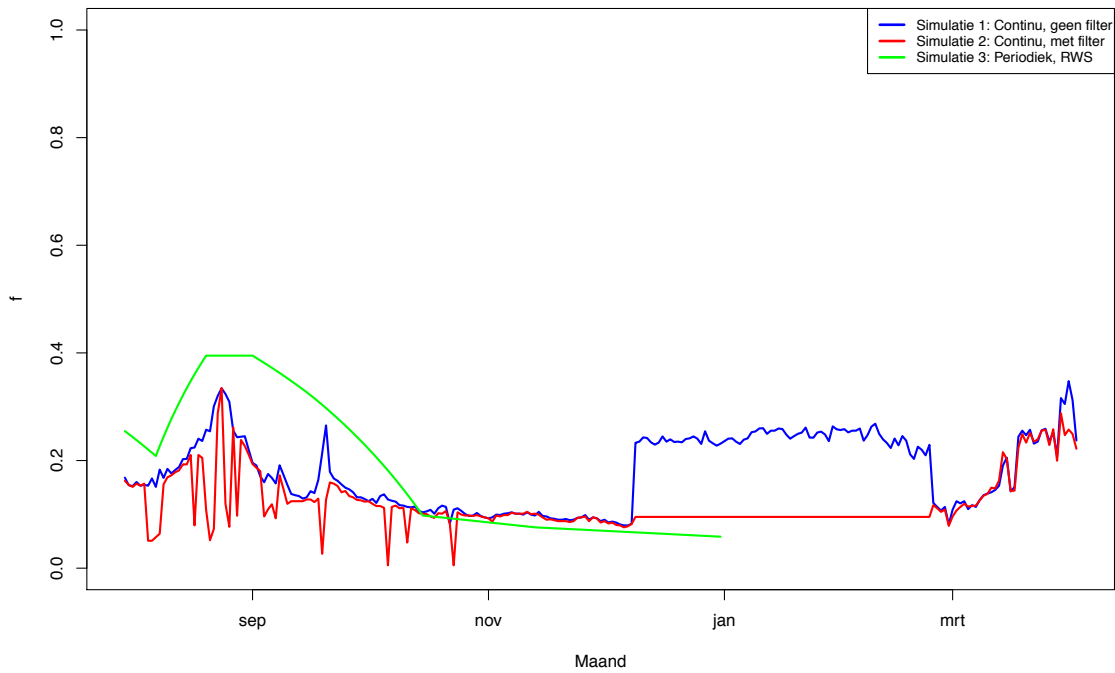
## 17. Simulatie natgewicht dijkzijde Kats



**Afbeelding 36:** Simulatie van natgewicht van de Japanse oester, aan de dijkzijde bij Kats met ruwe continue data en met een filter voor artefacten, in vergelijking met periodieke data van Rijkswaterstaat, over een periode van eind juli tot begin december. Ook werkelijk gemeten groei is weergegeven van eind april tot begin december. Natgewicht is onrealistisch in vergelijking met de werkelijke situatie.

## 18. Simulatie functionele respons Kattendijke boven

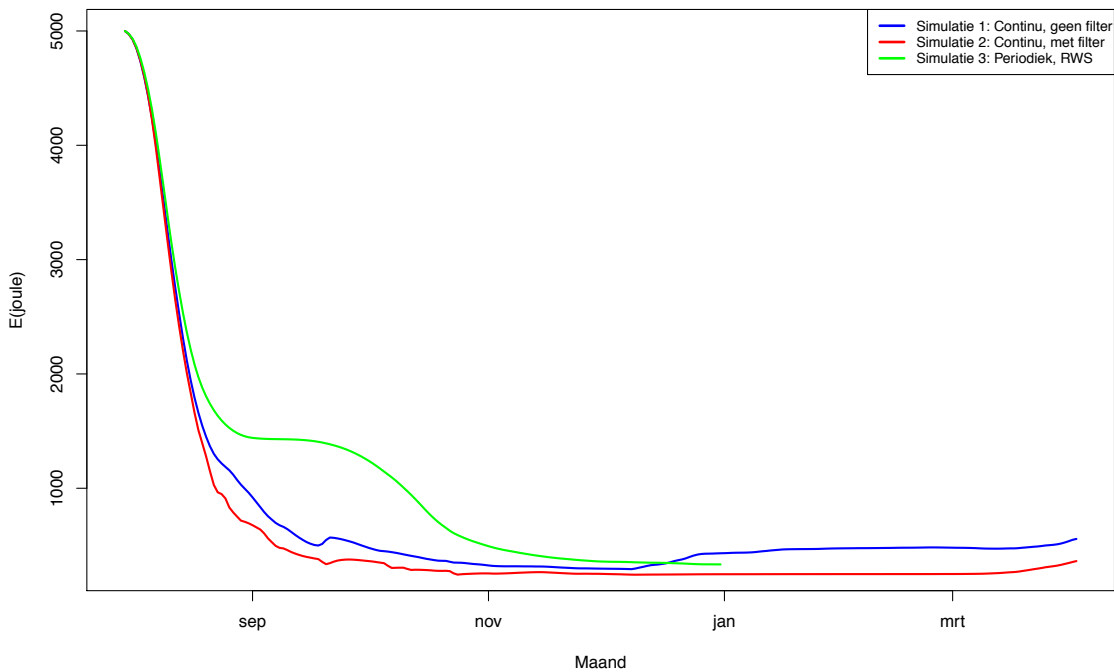
Functionele respons (f) Japanse oester Kattendijke boven 27/06/2014 – 2/4/2015



Afbeelding 7: Weergave van de functionele respons van de Japanse oester bij Kattendijke boven. Een stijging van de voedselconcentratie in augustus resulteert in een toename van de functionele respons, en en hogere energie opname.

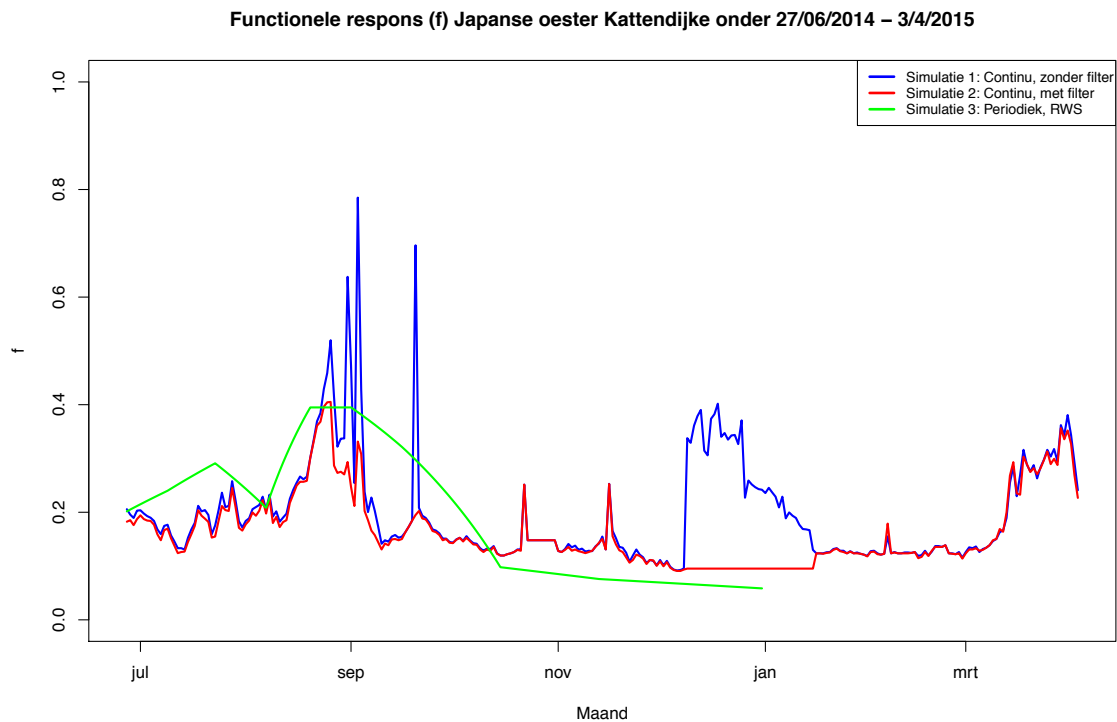
## 19. Simulatie E in reserves Kattendijke boven

E (joule) Japanse oester in reserves Kattendijke boven 27/06/2014 – 2/4/2015



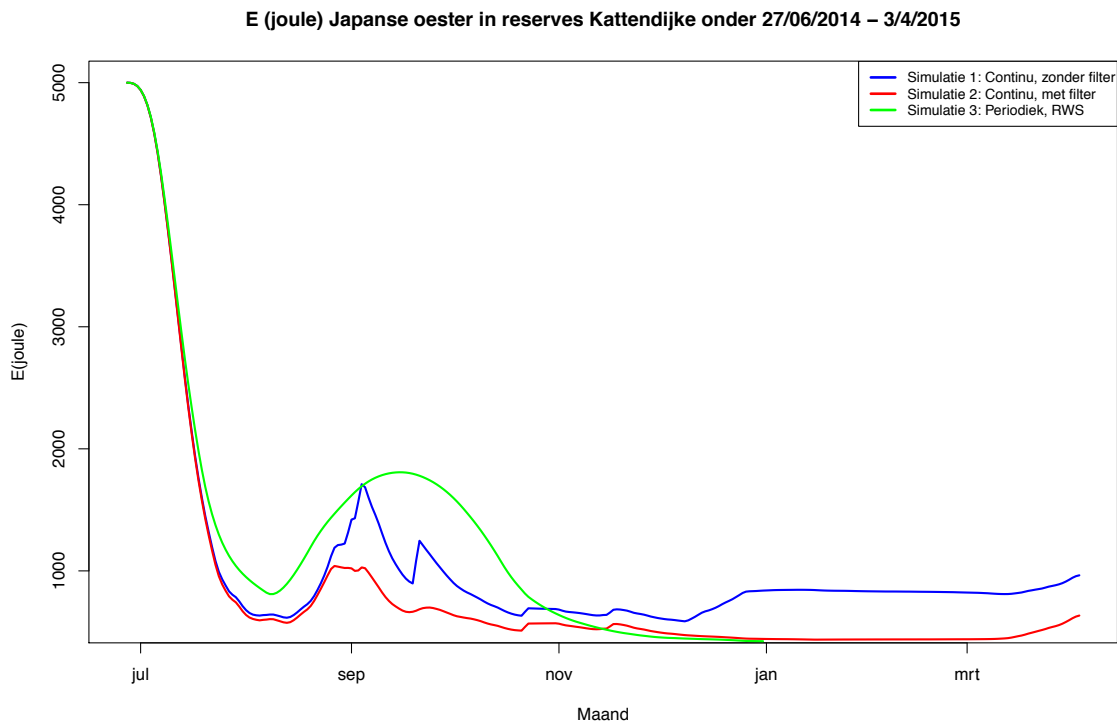
Afbeelding 8: Weergave van het energiegehalte (E) in reserves van de Japanse oester bij Kattendijke boven. Een hoog gehalte bij start van de simulatie resulteert in explosieve groei in de beginfase.

## 20. Simulatie functionele respons Kattendijke onder



**Afbeelding 9:** Weergave van de functionele respons van de Japanse oester bij Kattendijke onder. Een stijging van de voedselconcentratie in juli en augustus resulteert in een toename van de functionele respons, en een hogere energie opname.

## 21. Simulatie E in reserves Kattendijke onder



**Afbeelding 10:** Weergave van het energiegehalte (E) in reserves van de Japanse oester bij Kattendijke onder. Een hoog gehalte bij start van de simulatie resulteert in explosieve groei in de beginfase. Aanvulling van reserves in augustus zorgt voor een tweede groeischeut in september.

## 22. R-script filter $0 < \text{chlorofyl} < 70 \mu\text{g l}^{-1}$

```
AllData5 <- subset(AllData,AllData$Chla<70&AllData$Chla>0)
```

## 23. R-script filter droogval op basis van frequentie histogrammen

```
Day <- unique(AllData$Daynumber)
Grens <- vector(length=length(Day))
for(i in 1:length(Day))
{
  dagx<-subset(AllData,AllData$Daynumber==Day[i]&AllData$Chla<5)
  test<-hist(dagx$Chla,breaks=20,main=i)
  tmp<-ifelse(test$counts[1:3]==min(test$counts[1:3]),1,0)
  Grens[i]<-sum(test$mid[1:3]*tmp)
  abline(v=Grens[i],lty=2)
}
test <- as.data.frame(Grens)
head(Grens)
test$Daynumber <- Day
head(test)
AllData <- merge(AllData,test, by="Daynumber")
head(AllData)
AllData$Chla_hist <- as.numeric(ifelse(AllData$Chla<AllData$Grens,0,AllData$Chla))
AllData$Temp_hist <- ifelse(AllData$Chla<AllData$Grens,AllData$Temp==NA,AllData$Temp)
AllData6 <- na.omit(AllData)
```

## 24. R-script filter droogval op basis van het astronomisch getij

```
Getij <- as.data.frame(read.csv(file="~/Documents/farmmodel/Environmental data/getij-KATSBTN-
20140527-20141208.csv",header=TRUE, skip=0,sep=";"))
Getij <- Getij[c(1,2)]
colnames(Getij) <- c("Datum", "Waterhoogte")
Getij$Datum <- strptime(Getij$Datum,"%Y-%m-%d %H:%M")
Getijden <- approxfun(Getij$Datum,Getij$Waterhoogte,method="linear")
AllData$Waterhoogte <- as.numeric(Getijden(AllData$Datum))
AllData$Chla_droogval <- AllData$Chla
AllData$Chla_droogval <- ifelse(AllData$Waterhoogte<(-
85),AllData$Chla_droogval==0,AllData$Chla_droogval)
AllData$Temp_droogval <- ifelse(AllData$Waterhoogte<(-85),AllData$Temp==NA,AllData$Temp)
AllData7 <- na.omit(AllData)
```

## 25. R-script filter burst 10 secondenmetingen

```
AllData8 <- cut(AllData$Datum,breaks="20 mins")
AllData8 <- data.frame(AllData8)
AllData8$Chla <- AllData$Chla
AllData8$Temp <- AllData$Temp
colnames(AllData8) <- c("Datum", "Chla", "Temp")
AllData8$Timenumber <- as.numeric(AllData8$Datum)
meanChla_20mins <- tapply(AllData8$Chla,AllData8$Timenumber,mean)
meanTemp <- tapply(AllData8$Temp,AllData8$Timenumber,mean)
```

```
AllData_20mins <- as.data.frame(cbind(meanChla_20mins,meanTemp))  
AllData_20mins$Datum <- unique(AllData8$Datum)  
AllData_20mins$Daynumber <- as.numeric(as.Date(AllData_20mins$Datum)-Ref)
```