



2013-
2016

SPARK-UP; Seaweed production and refining of kelp, Ulva and Palmaria

Auteurs:

PRI-WUR: Julia Wald; Willem de Visser; Willem Brandenburg,
Raymond Jongschaap; Adrie van der Werf

Arkema: Berth-Jan Deelman

North Seaweed: Carola Helmendach-Nieuwenhuize

Maart 2016

Inhoud

1.	Samenvatting.....	0
2.	Inleiding.....	1
3.	Aanleiding.....	2
4.	Projectpartners.....	3
4.1	Arkema B.V. Locatie Vlissingen.....	3
4.2	North Seaweed B.V.....	3
4.3	Wageningen UR.....	3
5.	Uitvoering werkpakketten.....	4
5.1	WPA: Pilotrijp maken van de waterzuiveringsinstallatie.....	4
5.2	WPB: Aanpak onderzoek.....	8
5.3	WPC: Pilottesten met zeewier en analyse van zeewier met diverse variabelen.....	10
5.4	WPD: Raffinage van wieren.....	12
5.5	WPE: Uitwerken business cases, concrete marktperspectieven en follow-up.....	14
5.5.1	Businesscase 1: Zeewier als meststof.....	14
5.5.2	Businesscase 2: Eiwitten uit zeewier.....	18
5.5.3	Businesscase 3: Sodium alginaat.....	23
5.5.4	Economische risico's en onzekerheden.....	26
5.5.5	Conclusies businesscases.....	27
5.6	WPF: Projectmanagement.....	28
5.7	WP Publiciteit.....	29
6.	Toelichting financieel verslag.....	30
7.	Conclusies.....	32
7.1	Teelt.....	32
7.2	Raffinage.....	32
7.3	Business cases.....	32
	Overall.....	32
	Bijlagen:.....	33
	Bijlage A. Financieel Verslag.....	34
	Bijlage B. Accountantsverklaring.....	35
	Bijlage C. Verslag WP Teelt; PRI.....	0
	Inleiding.....	1
	Doelstelling.....	2
	Onderzoeksvragen.....	2

1.1	Locaties.....	3
1.1.1	Wierderij	3
1.1.2	Arkema	4
1.2	Waterkwaliteit.....	5
1.2.1	Stromingssnelheid	5
1.2.2	Nutriënten	6
1.2.3	Temperatuur	7
1.2.4	Saliniteit	8
1.3	Modelorganismen- Zeewieren	9
1.3.1	<i>Ulva lactuca</i>	9
1.3.2	<i>Chondrus crispus</i>	10
1.3.3	<i>Laminaria digitata en Saccharina latissima</i>	10
2.	Zeewierproeven Wierderij	11
2.1	Zomerteelt Wierderij 2014	11
2.1.1	Proefopzet.....	11
	Resultaten	12
2.1.2	Conclusie	13
2.2	Zomerteelt Wierderij 2015	14
2.2.1	Proefopzet.....	14
2.2.2	Resultaten	14
2.2.3	Conclusie	15
2.3	Discussie zomerteelten.....	15
2.4	Winterteelt Wierderij 2014	16
2.4.1	Proefopzet.....	16
2.4.2	Resultaten	16
2.4.3	Conclusie	17
2.5	Winterteelt 2015	18
2.5.1	Proefopzet.....	18
2.5.2	Resultaten	18
2.5.3	Conclusie	20
2.6	Discussie winterteelten	20
2.7	Algemene Conclusie zomerteelt en winterteelt Wierderij voor de onderzoeksperiode 2014 t/m 2015	22
3.	Zeewierproeven SPARK-UP	23
3.1	Zomerproeven SPARK-UP 2014 t/m 2015	23

3.1.1	Proefopzet.....	23
3.1.2	Resultaten	24
3.2	Winterteelt SPARK-UP 2013/ 2014 en 2014/2015.....	25
3.2.1	Proefopzet.....	25
3.2.2	Resultaten	27
3.3	Kwaliteit SPARK-UP bassin water	28
3.3.1	Stromingssnelheid.....	28
3.3.2	Nutriënten.....	28
3.3.3	Temperatuur en Saliniteit.....	30
3.3.4	Licht.....	30
3.3.5	Zware metalen	31
3.3.6	Overige	33
4.	Aquarium en Kolvenproeven Laboratorium Nergena	35
4.1	Aquariumproef 1 Groeirespons <i>Saccharina latissima</i> met water van verschillende herkomst	35
4.1.1	Proefopzet.....	35
4.1.2	Resultaten	37
4.1.3	Conclusie	39
4.2	Aquariumproef 2 Groeirespons <i>Saccharina latissima</i> met water van verschillende herkomst en bemesting met N en P	40
4.2.1	Proefopzet.....	40
	Conclusie	41
4.3	Kolvenproef 1 Groeirespons <i>Saccharina latissima</i> met water van verschillende herkomst en verschillende bemestingsparameters.....	42
4.3.1	Proefopzet.....	42
4.3.2	Resultaten	45
4.3.3	Conclusie	46
4.4	Kolvenproef 2 Groeirespons <i>Saccharina latissima</i> met water van verschillende herkomst en verschillende N/P verhoudingen	47
4.4.1	Proefopzet.....	47
4.4.2	Resultaten	49
4.4.3	Conclusie	51
4.5	Algemene conclusie.....	52
5.	Referenties	54
5.1	Literatuur.....	54
5.2	Internet.....	55

Bijlage I. Water analyses SPARK-UP	56
Bijlage II. Temperatuur	57
Bijlage III. Saliniteit	67
Bijlage IV. Productiecijfers Wierderij	77
Bijlage V. Zeeuwse Tong experiment	83
5.3 Proefopzet	83
5.4 Resultaten	84
Bijlage VII Aquariumproeven	89
Bijlage D. Verslag WP Raffinage	1
SPARK-UP – Raffinage van gesileerd bruinwier	1
Inleiding.....	2
Doel	2
Resultaat en conclusie.....	2
Aanpak	2
Resultaten van het zeewierextractieproces in de pilotopstelling	6
Conclusie	10
Vervolgstappen	10

1. Samenvatting

In het SPARK-UP project, waarin de partners Arkema, PRI-WUR en North Seaweed samenwerkten aan de ontwikkeling van toepassing van zeewier in de biobased economy, is de afgelopen jaren veel werk verzet. In een bassin op het terrein van Arkema, heeft PRI een teeltsysteem opgezet en in gebruik genomen, om onder gecontroleerde omstandigheden zeewier te telen in Westerscheldewater dat in het bassin was ingenomen. Arkema heeft gewerkt aan de raffinage van wieren, met name gericht op de suikers. North Seaweed heeft zich geconcentreerd op het ontwikkelen van businesscases van geraffineerde eiwitten en alginaten uit zeewier en bij het gebruik van de hele wieren als plantversterkers.

PRI-WUR heeft zowel een teelt in het bassin bij Arkema opgezet, als een teelt in de Oosterschelde, als controle. De kennis van zeewierteelt in het algemeen is nog niet ver ontwikkeld en PRI wilde kennis opdoen van teelt onder gecontroleerde omstandigheden. De teelt in het bassin is niet volgens verwachting verlopen. Het bleek lastig om zeewier in het bassin te telen. De kwaliteit van het Westerschelde water (lage saliniteit) en de aanwezigheid van zware metalen in combinatie met de beperkte mogelijkheden om het water te verversen, zijn hier hoogstwaarschijnlijk voor verantwoordelijk geweest. Verder onderzoek is gewenst om vast te stellen of land-gebaseerde systemen economisch rendabel te opereren zijn als de waterkwaliteit wel kan worden gegarandeerd, temeer daar op open-water-gebaseerde systemen voorlopig nog te duur zijn.¹

Binnen het SPARK-UP project heeft Arkema zich gericht op het raffineren van suikers uit de wieren. Er is een start gemaakt met de modificatie van suikers voor bioplastics. Er zijn specifieke analysemethoden ontwikkeld voor de analyse van suikers in zeewier. Extractietesten op zowel laboratoriumschaal als multi-ton semi-industriële schaal, met ultrafiltratie en omgekeerde osmose als concentratietechnieken, hebben laten zien dat raffinage van zeewier tot suikers en eiwitten technisch mogelijk is. De opbrengsten zijn echter nog te laag en verdere verbetering van de efficiëntie van het proces is noodzakelijk.

North Seaweed heeft in het project zich geconcentreerd op de ontwikkeling van businesscases, enerzijds met componenten zoals eiwitten en alginaten uit de wieren, anderzijds met aangespoeld zeewier. Alle drie de cases gaven bemoedigende resultaten, maar zijn nog niet marktrijp. Verdere ontwikkeling is nodig om tot een winstgevende business te komen.

Resumerend kan worden gesteld dat het SPARK-UP project de economische toepassing van zeewier in de chemie, in voedseltoepassingen en als meststof in de landbouw dichterbij heeft gebracht. Echter het project heeft ook een aantal concrete uitdagingen geïdentificeerd, met name op het gebied van teelt. Verdere ontwikkeling gericht op het oplossen van deze problemen zal nodig zijn om tot een *zeewier-gebaseerde economie* te komen.

¹ Dit is een van de conclusies van het TO2 rapport Noord-Zee-Wier-Keten van de samenwerkende partijen ECN, TNO, MARIN, Deltares en DLO dat binnenkort zal verschijnen.

2. Inleiding

De partijen Arkema Vlissingen, WUR-PRI en North Seaweed hebben elkaar gevonden in een ongebruikelijke alliantie, om gezamenlijk de mogelijkheden van zeewierproductie en toepassing in voedsel en chemie te verkennen. Als chemisch bedrijf is Arkema geïnteresseerd om alternatieven te vinden voor de chemische grondstoffen die ze momenteel toepassen. PRI wil graag de teelt van zeewier in de vingers krijgen en North Seaweed is gericht op de verkoop van zeewier en afgeleiden daarvan.

Gezamenlijk hebben de partijen aan dit doel gewerkt, in de periode januari 2013 tot en met december 2015. Er is in dat tijdvak veel kennis opgedaan over teelt, raffinage en markt, ieder op zijn eigen terrein, maar zeker ook daar buiten. Er is geleerd over de werkwijze van drie totaal verschillende organisaties; over de veiligheidsvoorschriften van een chemische fabriek, de wetenschapswereld en die van een klein MKB-bedrijf in de pioniersfase.

Het heeft geresulteerd in vele uiteenlopende bevindingen, tijdens dit boeiende en complexe project, die ieder voor zijn eigen discipline stof geeft voor een vervolg.

3. Aanleiding

Aanleiding van het project was een verkennende bijeenkomst tussen Food en Biobased Research (FBR), onderdeel van Wageningen Universiteit en Research Centrum (WUR), en Arkema in 2012 op het gebied van mogelijkheden van verschillende soorten biomassa als groene grondstof voor de chemie. Een van de opties die door FBR werd voorgesteld was zeewier. Zeewier leek Arkema een interessante grondstof, omdat er veel suikers in zitten, die mogelijk als grondstof zouden kunnen dienen voor haar huidige producten. Tegelijkertijd bleek tijdens die gesprekken, dat het bedrijf over een groot bassin beschikte, dat op dat moment geen dienst meer deed. Binnen WUR is de kennis over teelt van zeewier geconcentreerd binnen Plant Research International (PRI). PRI was op zoek naar een geschikte locatie om op grotere schaal dan labschaal, teeltproeven te gaan doen. Zeeland had daarbij de voorkeur, omdat er in de Oosterschelde ook al een proeflocatie lag. Het bassin, dat op slechts 100 m van de Westerschelde ligt, was een ideale plek om zeewier onder gecontroleerde omstandigheden te gaan kweken. Teneinde meerdere toepassingen en mogelijkheden van zeewier te verkennen, werd ook het bedrijf North Seaweed gevraagd om te participeren. FBR werd als uitbestedingspartner betrokken bij het project vanwege haar interesse en kennis op het gebied van raffinage van zeewier.



Figuur 1. Het bassin waarin de zeewierteelt is aangelegd (foto van voor de modificaties).

4. Projectpartners

De partners in het project zijn:

- Arkema B.V. Locatie Vlissingen;
- North Seaweed B.V.;
- Wageningen UR, instituten PRI en FBR.

4.1 Arkema B.V. Locatie Vlissingen

Arkema is als wereldwijd opererend chemisch concern met 88 chemische fabrieken, 9 R&D-centra en een omzet van 5,9 miljard (waarvan jaarlijks ca. 150 miljoen in R&D geïnvesteerd wordt), op zoek naar biobased chemicaliën die passen in de marktsegmenten waarin Arkema actief is.

Doel van het managementteam van de Arkema vestiging in Vlissingen-Oost was om een belangrijke rol te gaan spelen in deze ambitieuze concernstrategie en daarmee de regionale vestiging verder te positioneren als biobased productielocatie, met een belangrijke kenniscomponent en een hecht netwerk van (regionale) stakeholders.

4.2 North Seaweed B.V.

North Seaweed BV is een jong bedrijf dat zeewier uit de Noordelijke wateren in- en verkoopt. Het bedrijf is in 2012 opgericht als pioniersbedrijf om in Nederland een zeewiermarkt te ontwikkelen. In eerste instantie wordt gewerkt met zeewier dat gekocht wordt in omringende landen, om zo een positie op de markt te veroveren, maar het is uitdrukkelijk de bedoeling om met lokaal geteeld wier aan de slag te gaan. Op lange termijn wil het bedrijf ook uit zeewier geraffineerde eiwitten gaan verkopen, omdat het verwacht dat daar een markt zal ontstaan, vanwege toekomstige mondiale eiwittekorten. Momenteel richt het bedrijf zich op de markt van veevoer en humane voeding.

4.3 Wageningen UR

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'to explore the potential of nature to improve the quality of life'. WUR werkt met 6.500 medewerkers en 10.000 studenten uit ruim honderd landen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving overal ter wereld, zowel voor overheden als voor het bedrijfsleven. Plant Research International (PRI) heeft als ambitie om de kwaliteiten van planten te benutten en daarmee aantoonbaar bij te dragen aan oplossingen voor voedsel-, grondstoffen- en energievraagstukken. PRI zet kennis over planten en faciliteiten in om de innovatiekracht van samenwerkingspartners te vergroten.

Food & Biobased Research (FBR) ontwikkelt duurzame, innovatieve en marktgerichte oplossingen voor gezonde voeding, biobased producten en stoffen, versketens en bio-energie. Dit in nauwe samenwerking met nationale en internationale opdrachtgevers zoals industriële bedrijven, overheden en kennisinstellingen.

5. Uitvoering werkpakketten

5.1 WPA: Pilotrijp maken van de waterzuiveringsinstallatie

Het zuiveringsbassin van Arkema is gedurende de looptijd van het project beschikbaar gesteld aan PRI. Dit voormalige beluchtingsbassin had een volume van 1250 m³ en was voorzien van een propeller om horizontale stroming en verticale menging te bewerkstellingen. De diepte van het bassin (bijna 4 m) maakt het bijzonder geschikt voor de teelt van meerdere soorten zeewier. Om het verder geschikt te maken voor de teelt, is het door een gespecialiseerd schoonmaakbedrijf met hoge druk gereinigd en zijn faciliteiten aangelegd om het bassin toegankelijk te maken voor teeltwerkzaamheden. In het gehele bassin zijn steigers aangebracht, er is een net aangebracht om te voorkomen dat er materiaal in de propeller terecht zou kunnen komen en er is een extra trappenhuis aangebracht. Vervolgens heeft PRI een teeltsysteem bedacht en gemaakt, om het zeewier aan te bevestigen. Ook werden extra faciliteiten aangebracht, om het voor de onderzoekers mogelijk te maken het zeewier te kunnen bereiken en te beoordelen. Daarnaast is tijdens het project een pomp en leidingwerk aangelegd om zeewater in te kunnen nemen aangezien het PRI bij nader inzien noodzakelijk leek om het bassinwater meerdere malen te verversen. Ook is er op het Kaloot strand een afsluiter met aanzuigslang geplaatst op de bestaande regenwaterafvoer van Arkema. Deze leiding kon vervolgens dienen voor afvoer van oud water en aanvoer van vers water naar het bassin.

Tijdens de uitvoering van het project is tevens een UV-C apparaat met rondpomp en rondpompleiding geïnstalleerd (capaciteit 100 m³/h) om microalgen te kunnen bestrijden en is de propeller aangesloten op een frequentieregelaar om de stromingssnelheid in het bassin te optimaliseren.



Figure 1. Dieselgedreven zelfaanzuigende vuilwaterpomp (max. 90 m³/h) voor het inzuigen van vers Westerscheldewater.

Een tijdrovende activiteit binnen het project was het verkrijgen van de benodigde vergunningen. Er is zowel met Zeeland Seaports als Rijkswaterstaat, het Waterschap en de Provincie Zeeland meerdere malen overleg gevoerd over welke vergunningen noodzakelijk waren voor de inname van het water, het lozen ervan en de teeltwerkzaamheden in het bassin. Uiteindelijk is het in goed overleg met alle betrokkenen gelukt om de benodigde vergunningen en toestemmingen te verkrijgen, zij het wel later dan gehoopt. Om het project toch nog voor de winter van 2013-2014 te kunnen starten is er middels tankauto's water uit de Kaloothaven ingebracht in het bassin.



Figure 2. In oktober 2013 werd het bassin met behulp van tankwagens gevuld met Westerscheldewater. Op de randen van het bassin waren opklapbare plankieren aangelegd

Onderstaande uitspraken, goedkeuring en vergunning zijn uiteindelijk verkregen:

- Uitspraak betreffende de noodzaak tot aanvraag van een vergunning in het kader van de Natuurbeschermingswet 1998 voor het kweken van zeewier in een bassin op het terrein van Arkema, voor de inname van water middels tankauto's uit de Kalloothaven, voor de ingebruikname van een pomp voor de inname van water uit de Westerschelde, en voor het lozen van het bij de zeewierproef gebruikte water op de Westerschelde (Voortoets Natuurbeschermingswet, Provincie Zeeland, 22 oktober 2013)
- Goedkeuringsbesluit voor het uitvoeren van een proefproductie met betrekking tot het kweken van zeewier (Provincie Zeeland, 23 oktober 2013)
- Wijziging Watervergunning ten behoeve van het kweken van zeewieren (Rijkswaterstaat, 27 januari 2014)



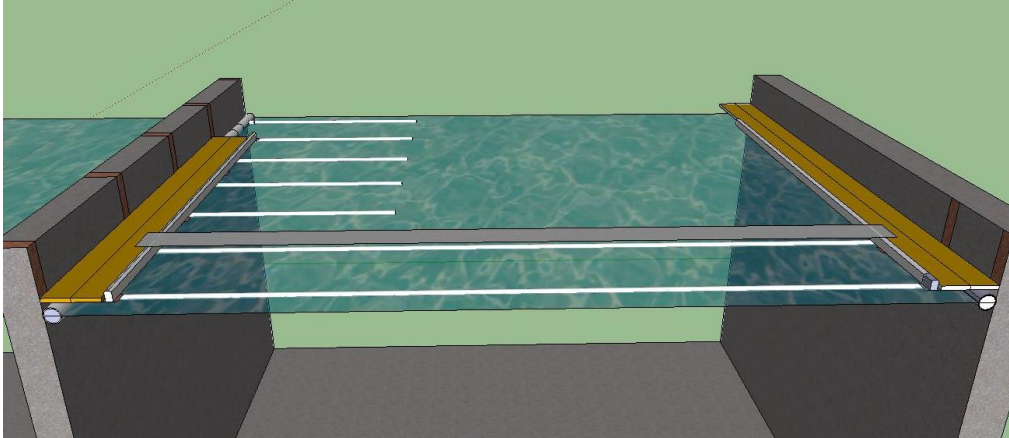


Figure 3. Het door PRI ontworpen teeltsysteem van plankieren met drijvende PVC buizen.



Figure 4. Een stalen net wordt geïnstalleerd ter bescherming van de propeller.



Figure 5. Tussentijds schoonmaken van het bassin.

5.2 WPB: Aanpak onderzoek

Het ontwikkelen van een jaarrond teeltsysteem stond in dit project voorop. Om dit te realiseren, is er voor gekozen om met drie verschillende soorten zeewieren te werken. Het groenwier *Ulva lactuca* is gekozen voor de zomerteelt, het betreft een wier dat veel licht en temperaturen boven de 15°C nodig heeft om optimaal te kunnen ontwikkelen. Hiernaast is er gekozen voor *Saccharina latissima* en *Laminaria digitata*, twee bruinwieren die met name in de winter bij lage temperaturen groeien. Ook is het roodwier *Chondrus crispus* opgenomen in het onderzoek. Economisch een wier met veel potentie, maar teelttechnisch nog weinig onderzocht. Drie jaar lang is de groei van de verschillende zeewieren op beide teeltlocaties onderzocht.

Het centrale doel binnen het SPARK-UP project is het ontwikkelen van een teeltsysteem met de mogelijkheid om het hele jaarrond zeewier te telen, waarbij een zo optimaal mogelijke productie aan inhoudsstoffen wordt nagestreefd.

Uit de doelstelling resulteren volgende onderzoeksvragen:

- Kunnen diverse zeewiersoorten (rood, bruin, groen) in één teeltsysteem worden gecombineerd om zodoende het jaar rond te kunnen produceren?
- Hoe verhoudt zich de productiviteit van de zeewieren onder semi-geconditioneerde omstandigheden (Arkema) ten opzichte van de productiviteit in open water (Wierderij)?

De zeewierteeltproeven voor het SPARK-UP project zijn uitgevoerd bij Arkema B.V., locatie Vlissingen. Voor de proeven werd gebruik gemaakt van een betonnen bassin met een volume van 1250 m³. Het bassin is gevuld met Westerscheldewater. Stroming in het bassin werd gegenereerd via een propeller. Voor de propeller hing een net, om mogelijk drijvend materiaal op te vangen. Met een UV-installatie is gewerkt aan de helderheid van het water en het bestrijden van microalgen in het bassin om concurrentie om voedingsstoffen te voorkomen. Het water is gedurende de onderzoeksperiode 1 maal in zijn geheel ververs. In het bassin is een drijvende PVC-constructie geïnstalleerd, die door PRI is ontworpen en gemaakt, waaraan droplines werden opgehangen.



Figure 6. De Wierderij in de Oosterschelde.

De “Wierderij” is een proeflocatie van Wageningen UR, welke de mogelijkheid biedt om verschillende zeewierteeltsystemen te bestuderen. De “Wierderij” ligt in de Oosterschelde op locatie van de Schelphoek op Schouwen-Duiveland te Zeeland (afbeelding). De “Wierderij” heeft een oppervlak van 6*10

meter en biedt ruimte voor 4 modules van 2.5*2.5 meter. Op de eerste twee modules bevinden zich op elke module 5 dwars balken om zeewierenlijnen te installeren in de vorm van droplijnen. Sinds 2011 wordt op deze locatie onderzoek gedaan naar verschillende soorten zeewieren. Voor de SPARK-UP proeven is deze locatie gebruikt als referentie.

Voorafgaand aan de proeven zijn van beide locaties een aantal gegevens verzameld, zoals stromingssnelheid en nutriëntenconcentratie. Deze zijn met elkaar vergeleken en waar mogelijk op elkaar afgestemd. Omdat in het SPARK-UP bassin geen uitwisseling van vers water plaatsvindt, anders dan op de Wierderij, heeft er een continu bemonstering van N en P plaatsgevonden. Waar nodig is er een bemesting uitgevoerd tot een concentratie van maximaal 0.27 P-mg/l en 5 N-mg/l, gecorreleerd aan de wettelijke lozingsnorm.

Hiernaast, zijn op beide locaties periodiek gegevens verzameld over de saliniteit en de watertemperatuur. Waaruit blijkt dat de saliniteit van het Westerschelde water met 25% aanzienlijk verschilt van het Oosterschelde water met 32%. Dit verschil relateert uit de invloed van de rivier de Schelde op het Westerschelde water. De temperaturen liggen seizoen afhankelijk gemiddeld tussen de 7-19°C. De gemeten watertemperatuur in het bassin komt iets boven het gemiddelde uit.



Figure 7. Het teeltsysteem is door PRI-WUR ontwikkeld én gemaakt.

5.3 WPC: Pilottesten met zeewier en analyse van zeewier met diverse variabelen

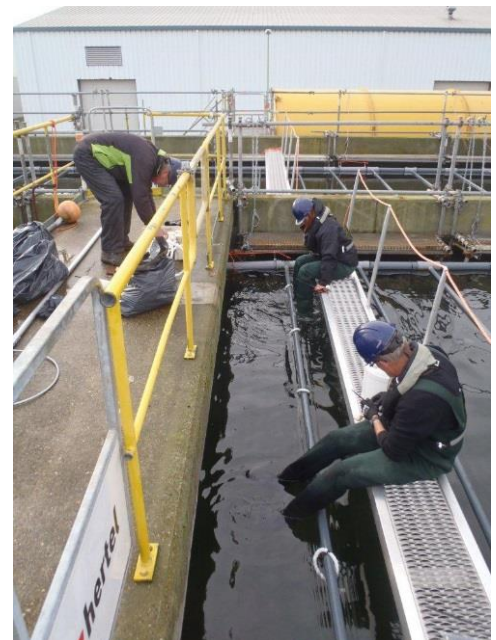
Kleinschalige laboratorium- en veldproeven hebben laten zien dat er veel potentie in zeewier zit om dit als gewas te telen. Er is een aantal zeewieren dat vanwege hun inhoudsstoffen economisch zeer waardevol kunnen zijn. Hiernaast halen sommige zeewieren een hoge groeisnelheid, waardoor meerdere oogsten en dus een hoge productiviteit behaald kan worden. Voor een business model is opschaling cruciaal.

Op de Wierderij is een productie van 17- 35 t ds ha⁻¹ behaald uitgaande van een jaarrond productie. De productie is sterk afhankelijk van omgevingsfactoren (bv. het weer). Zo zien we in het ene jaar een hogere productie dan in andere jaren, vergelijkbaar met producties van landbouwgewassen. De productie is behaald met groen- en bruinwieren. Binnen de onderzoeksperiode is het niet gelukt om *Chondrus crispus* (roodwier) te telen.

In het SPARK-UP bassin met Westerschelde water is nauwelijks zeewiergroei gerealiseerd. De resultaten uit deze proeven zijn de aanleiding geweest voor een reeks aan kleinschalige experimenten uitgevoerd in de zeewierkas van Wageningen. Mogelijke factoren die een rol hebben gespeeld bij de slechte groei van de zeewieren in het bassin zijn nader onderzocht, zoals:

- Stromingssnelheid
- Nutriënten
- Concurrentiedruk
- Temperatuur
- Saliniteit
- Licht
- Zware metalen
- pH
- Beton (bassin-constructie)

De experimenten zijn uitgevoerd met Westerschelde water uit het SPARK-UP bassin, Westerschelde water uit de omgeving (Vlissingen) en Oosterschelde water van de Wierderij. Uit de resultaten van de experimenten blijkt dat er geen aanwijzing is dat stromingssnelheid, nutriënten, concurrentiedruk, licht en het beton (deel van de teeltconstructie), de groei van de zeewieren negatief hebben beïnvloed. Echter, is er wel uit het onderzoek gebleken dat er tijdelijk sprake was van hoge concentraties aan zware metalen, met name Zn, in het SPARK –UP bassin met Westerschelde water (1160 en 1450 Zn-µg/l). Hiernaast heeft er eenmalig een analyse plaats gevonden met diatomeeën en *Ulva intestinalis*, die wel groeiden in het SPARK-UP bassin. Voor *Ulva intestinalis* zijn zinkgehalte gemeten van 9000mg/kg voor het diatomeeën monster is een concentratie van 10.200mg/kg gemeten. De gehalten aan zink in de diatomeeën zijn vergeleken met een monster aan diatomeeën verzameld in de Westerschelde, locatie Vlissingen. Uit deze bemonstering blijkt dat de gehalte aan Zn met 230mg/kg voor de diatomeeën verzameld in Westerscheldewater lager ligt dan de gehalten aan Zn in diatomeeën uit het SPARK-UP bassin. Maar ook voor de in het wild verzamelde diatomeeën in de Westerschelde liggen Zn gehalten boven het



groeiremmend niveau, zoals blijkt uit de literatuur. In de literatuur worden concentraties boven 1000 $\mu\text{g/l}$ als toxisch voor de groei van zeewieren beschreven. Een concentratie van 20 $\mu\text{g/l}$ werd als groeiremmend voor de groei van zeewieren beschreven. Hiernaast bleek uit literatuuronderzoek dat een lage zoutconcentratie de opname van zware metalen kan doen bevorderen (Westerschelde 25%; Oosterschelde 32%). Ook een hoge pH- concentratie en temperaturen boven de 20°C kunnen hierbij van invloed zijn. Echter dient dit nog nader onderzocht te worden.



Figure 8. Teeltwerkzaamheden in het bassin.

5.4 WPD: Raffinage van wieren

Zeewier is een rijke bron van suikers. Om deze suikers te kunnen benutten in het productportfolio van Arkema dienen deze verder gemodificeerd te worden. Een belangrijk interessegebied hierbij is het gebruik van suikers voor nieuwe kunststoffen. Door suikers te modificeren met polymeriseerbare groepen kunnen zij ingebouwd worden in nieuwe polymeren met nieuwe materiaaleigenschappen. Een andere aanpak is om suikers eerst om te zetten naar alcoholen en vervolgens deze alcoholen te gebruiken als bouwstenen voor nieuwe polymeren.

In de periode augustus 2013 en juni 2014 is er bij Arkema door een master student van de lerarenopleiding van Fontys te Tilburg en een bachelor student van de HZ University of Applied Sciences onderzoek gedaan naar de verestering van bio-gebaseerde alcoholen en suikers met acrylzuur. De gevormde acrylaat esters zijn interessant voor de ontwikkeling van nieuwe bio-gebaseerde kunststoffen. Binnen dit onderzoek is een geschikt katalysatorsysteem gevonden dat onder geoptimaliseerde condities acrylzuur kan veresteren met van-suikers-afgeleide alcoholen. De ontwikkelde technologie kan nu ingezet worden voor ontwikkeling van nieuwe bio-gebaseerde polyacrylaten.

De verestering van suikers zelf bleek een stuk lastiger te zijn doordat de suikers onder de reactieomstandigheden onvoldoende stabiel zijn en/of ook met de katalysator reageren. Hier zal dus nog verder onderzoek noodzakelijk zijn.

In 2015 is een onderzoek gedaan (HZ University of Applied Sciences stageproject in opdracht van Arkema) naar de analyse en samenstelling van zeewier uit de Oosterschelde middels vloeistof chromatografie (HPLC). De techniek is succesvol voor lagere hydrolyseerbare polysaccharides maar de niet hydrolyseerbare polysaccharides (o.a. alginaten) laten zich nog niet goed analyseren middels de ontwikkelde techniek.

Er is door FBR op verzoek van Arkema een literatuurstudie gedaan naar bekende raffinagetechnieken voor suikers en alginaat uit zeewier. De bestaande processen (hoofdzakelijk voor alginaat) zijn echter weinig aantrekkelijk in het kader van bioraffinage (duur, veel afvalstoffen). Arkema heeft daarom in 2015 verkennend onderzoek gedaan naar een eenvoudige raffinage van zeewier uit de Oosterschelde. Gedroogde monsters van *Sacharina Lattissima* (Wierderij, april 2014) zijn geanalyseerd, chemisch gehydrolyseerd en de extracten geïsoleerd. De extracten zijn bij FBR geanalyseerd op samenstelling. Hieruit bleek dat de extracten tot 18% eiwit en 10% mannitol bevatten. Daarnaast werden nog kleine hoeveelheden uronzuren (5%), fucose (2%) en mannose (2%) gevonden. De grote asresten in de extracten (60-73%) gaf echter aan dat een geavanceerdere extractiemethodiek noodzakelijk is, daarbij rekening houdend met het hoge initiële asgehalte in zeewier (53 gew%).

In de tweede helft van 2015 heeft Arkema, gedwongen door economische omstandigheden, moeten reorganiseren en heeft zij haar R&D afdeling opgeheven. Ook het werk aan zeewieraffinage is daarmee voortijdig gestopt. Een inmiddels door Hortimare ontwikkelde techniek bleek echter interessant voor extractie van grotere hoeveelheden eiwit (kilogrammen). Het resterende budget voor raffinage is daarom ingezet voor een raffinagetest bij Hortimare (zie ook bijlage d). Hierbij is 2300 liter gesileerd (= ingekuuld) zeewier (*Sacharina* en *Alaria*) geëxtraheerd en vervolgens geconcentreerd middels ultrafiltratie (UF) en reverse osmosis (RO). Dit resulteerde in een eiwit bevattend UF-concentraat (260 L, zie ook foto hieronder). Het grootste deel van het eiwit in het uitgangsmateriaal bleef echter achter in het residu. Hoewel het eiwitgehalte in het extract nog laag was (tot 16.5% van de droge stof), kon een deel van het UF concentraat (195 liter) gedroogd worden tot een eiwit bevattend poeder (2.7 kg).

De lage efficiëntie van de extractie is volgens FBR te wijten aan de nog beperkte ontsluiting van de biomassa. Conventionele eiwit extractiemethoden die werken voor landplanten zijn niet 1 op 1 toepasbaar op zeewier. Waarschijnlijk vormen, in analogie met microalgen, de sterke celwanden de grootste bottleneck en zijn specifieke celwand ruptuur technieken noodzakelijk om eiwit extractie uit zeewier mogelijk te maken.

Om business cases te ontwikkelen zal dus de ontsluiting van de biomassa verder onderzocht en verbeterd moeten worden. Het principe van de UF/RO concentratie lijkt echter te werken.



Figure 9. Extractie en concentratie van eiwit uit zeewier bij Hortimare. Op de voorgrond het eiwit concentraat. Linksachter de UF/RO membraanfiltratie unit.



Figure 10. Links de geraffineerde suikers, en rechts, het zwarte poeder, het eiwitconcentraat.

5.5 WPE: Uitwerken business cases, concrete marktperspectieven en follow-up

5.5.1 Businesscase 1: Zeewier als meststof

Aangezien er gedurende de projectperiode nog geen in Nederland geteeld zeewier voorhanden was, heeft North Seaweed zich verdiept in het zeewier dat momenteel in de natuur in de Zeeuwse Delta voorhanden is. Uit deze inventarisatie bleek dat er verschillende Zeeuwse kustgemeenten jaarlijks problemen ervaren met aangespoeld zeewier en dit op verschillende manieren oplossen.

North Seaweed heeft contact gezocht met de loonwerker die in het zomerseizoen een groot deel van de Walcherse stranden dagelijks schoonmaakt. Dit bedrijf ruimt regelmatig grote hoeveelheden zeewier op, dat afhankelijk van de wind en het weer, aanspoelt. Het bedrijf composteert dit wier en rijdt het in het najaar uit over akkerbouwgrond.

Met deze loonwerker zijn vervolgens afspraken gemaakt dat hij direct zou melden wanneer er een grotere partij zeewier zou aanspoelen. In het voorjaar van 2014 is er een eerste partij gespoeld en gedroogd. Handmatig is toen ook (een deel van de) vervuiling verwijderd. De partij bleek na het drogen echter nog steeds sterk vervuild te zijn, vooral visdraad was lastig te herkennen tussen het wier, omdat het dezelfde kleur had gekregen. Uiteindelijk bleek dit zeewier te sterk vervuild voor gebruik. Hierna is in de zomer van 2015 een nieuwe poging gedaan met een grote hoeveelheid aangespoeld wier. Aangezien het wier ongeschikt is om in de voedselketen in te brengen, was met diverse partijen besloten om het in de landbouw in te zetten, omdat zeewier van oudsher in kustgebieden als meststof wordt gebruikt, maar is verdrongen door kunstmest.

Een bedrijf dat compost verwerkt, heeft een vrachtwagen vol met zeewier (ca. 3 ton) gespoeld, om het zand er uit te krijgen (zie afbeelding), het lukte niet om het te zeven, omdat het te nat was. Vervolgens is het na twee dagen na het spoelen te drogen gezet. Dit bleek echter al te laat te zijn, het wier was namelijk al aan het rotten. Dit wier spoelde op donderdag aan. Op vrijdag is het opgehaald, op zaterdag gespoeld en op maandag voor een droogwand gezet. Vooraf hadden North Seaweed en Comgoed een draaiboek gemaakt, om direct aan de slag te kunnen als er een partij zeewier aanspoelde. Het was ongelukkig dat het net voor het weekend gebeurde, maar de bedrijven hadden niet voorzien dat het wier al binnen drie dagen zou rotten. Voor een volgende keer moet er een oplossing worden bedacht hoe het wier langer geschikt is te houden of nog sneller kan worden verwerkt.

Rottend wier is ongeschikt om toe te passen als meststof, omdat de celwanden afbreken en de planthormonen verloren gaan. Als compost kan het nog wel worden ingezet, zoals de akkerbouwer doet, maar dan heeft het een lagere waarde. De bederfelijkheid van zeewier is een probleem, in omliggende landen, waar reeds een zeewiersector is, zien we dat de hele infrastructuur daarop is aangepast, op een snelle verwerking ervan. Dit vergt grote droog- en verwerkingscapaciteit.





Figure 11. Het van het strand ingezamelde wier, bevat veel zand

Na deze poging, spoelde later die zomer nog een grote partij zeewier aan, maar de loonwerker gaf aan dat er te veel vervuiling in zat, om in de landbouw toe te kunnen passen.

Parallel aan deze inzameling van wild wier, zijn in het voorjaar van 2015 enkele proeven met zeewier ingezet bij een biologische akkerbouwer in Zeeuws-Vlaanderen. Voor deze proeven is zeewier ingekocht in het buitenland. De akkerbouwer heeft meerdere proeven uitgevoerd: een proef in aardappelen met toepassing van het wier in het voorjaar en een proef in de teelt van broccoli, met toepassing van het wier in de zomer.

Om te voorkomen dat het zeewier, dat in poedervorm beschikbaar was, zou wegwaaien, is het vooraf in pellets geperst, hetgeen ook een eerste proef was van een Nederlands bedrijf om zeewierpoeder te pelleren. Na een dag testen, bleek het poeder goed in het pellets te kunnen worden geperst, hetgeen gunstig is voor de verwerkbaarheid op het land (zie foto).

De biologische akkerbouwer heeft twee verschillende soorten zeewier aangebracht. Een soort, dat in de literatuur genoemd wordt tegen schimmels te werken, is toegepast in aardappelen. De schimmel *Phytophthora* is een groot probleem in de aardappelteelt. In de biologische teelt is er geen bestrijding tegen mogelijk. Wanneer het zou lukken om door toevoeging van zeewier deze ziekte te voorkomen, zou dat een belangrijke toegevoegde waarde geven en het product interessant maken voor toepassing.



Figure 12. Pellets van geperst zeewierpoeder

De akkerbouwer heeft in het groeiseizoen van 2015 visuele waarnemingen gedaan. Hij heeft meerdere rijen behandeld en steeds een rij onbehandeld gelaten. Op 8 augustus meldde de akkerbouwer dat het aardappelloof geklapt moest worden, vanwege aantasting door de gevreesde *Phytophthora*. Hij kon helaas geen verschil ontdekken tussen behandeld en onbehandeld met zeewier. Dit was een tegenvaller. Het is een duur zeewiersoort en als er geen enkel effect is te zien, geeft het momenteel weinig reden om aanvullende proeven op te zetten.

In broccoli heeft de akkerbouwer op 150 m² ca. 200 kg zeewier toegevoegd op de grond. Dit heeft hij bij meerdere teelten in het seizoen gedaan. In onderstaande tabel staan de sapmetingen in aardappelen, waarbij stikstof, Brix ed zijn gemeten. Van de Vijver: “De EC-waarde, daar zit het verschil in, je kunt zien dat er meer mineralen in zitten, ook het Kaligehalte is hoger, dat is gunstig, want we hebben altijd moeite om dat op peil te houden; dat is goed voor het zetmeelgehalte en de bewaarbaarheid. Het stikstofgehalte is laag, waardoor de gevoeligheid voor Phytophthora, maar ook voor luizen, lager is. Als de brixmeting troebel is, dan is de plant in goede conditie, dat zien we het liefst.” Wel constateert hij een verschil tussen de rassen, het stikstofgehalte bij Laura loopt (te) hoog op, na toepassing van zeewier. Verder zijn er enkel visuele waarnemingen gedaan en heeft de akkerbouwer geen grote verschillen kunnen constateren in opbrengst of lagere ziektedruk. Van de Vijver vindt het jammer dat er geen heel duidelijk resultaat is uit gekomen, hij gelooft namelijk wel in de potentie van toepassing van zeewier in de biologische landbouw. Hij is dan ook voornemens om zich er verder in te gaan verdiepen.

Bladsapmetingen 1-7-2015	zeewier	blad	Brix	Brix2	pH	EC	K	NO3
Aardappelen								
Alliance	zonder	jong	4	troebel	6	10,7	4100	2700
	zonder	oud	3		5,3	10,7	4000	4100
Aardappelen								
Alliance	met	jong	3	Troebel	5,3	11,3	4000	2800
	met	oud	3	Troebel	5,3	11,9	4500	4000
Aardappelen								
Laura	zonder	jong	4	Troebel	5,4	11,6	4100	860
	zonder	oud	4	Troebel	5,4	9,9	3400	3000
Aardappelen								
Laura	met	jong		Troebel	5,1	10,8	3800	1600
	met	oud		Troebel	5,3	9,8	3000	5800

Op basis van deze bevindingen, heeft North Seaweed besloten om in een vervolgonderzoek samen met een bedrijf in meststoffen nader onderzoek te verrichten naar de kansen die zeewier bieden. Het Louis Bolkinstituut, een onderzoeksinstituut voor de biologische landbouw, heeft opdracht gekregen om in de literatuur te zoeken naar de reeds bestaande kennis van effecten in de landbouw van de soorten die aan de Zeeuwse kust aanspoelen. Dit onderzoek wordt in 2016 opgeleverd en met het meststoffenbedrijf en het Louis Bolkinstituut worden proeven in de land- en tuinbouw opgezet en begeleid.

De kostprijs van het inzamelen en drogen van de partij aangespoelde zeewier is weergegeven in onderstaande tabel.

Kosten drogen zeewier van strand	aantal uur	tarief	kosten	totaal
bewerkingskosten 2350 kg nat zeewier				
inzamelen wier	4	€ 25,00	€ 100,00	€ 100,00
sorteren arbeid	4	€ 25,00		€ 100,00
drogen			€ 238,50	€ 238,50
verpakken, arbeid	1	€ 25,00	€ 20,00	€ 45,00
totale kosten				€ 483,50
hoeveelheid nat product in kilo	2350			
kilo product na drogen	425			
percentage product na drogen	18%			
totale kosten per kilo droog product	€	1,14		
opslag ketenpartner 1 30%	€	1,48		
opslag ketenpartner 2 30%	€	1,92		
verkoopprijs per kilo	€	1,92		

De berekende kostprijs is alleen realistisch als toepassing van het zeewier een duidelijke toegevoegde waarde geeft voor de biologische landbouw. Waarschijnlijk is er nog een efficiëncyslag te maken, met name in arbeid, maar dit was een vrij grote partij die aanspoelde, waar de droogkosten een flink stempel op drukken.

5.5.2 Businesscase 2: Eiwitten uit zeewier

In 2014 en 2015 is er een verkenning uitgevoerd voor de markt van alternatieve eiwitten, als vervanger van soja-eiwit dat momenteel meestal wordt gebruikt in vleesvervangers. North Seaweed wil zich in de toekomst op deze markt gaan richten, vanwege de verwachte eiwittekorten door de groeiende wereldbevolking en de groeiende welvaart in Azië. Reeds nu is al op de vleesmarkt (de belangrijkste bron van eiwitten in humane voeding) de verschuiving te merken dat China op steeds grotere schaal vlees gaat eten, in 2015 is dat al 60 kg per persoon, waar dat tien jaar geleden nog maar 46 kg pp was (Bron: Food and Agricultural Policy Center).

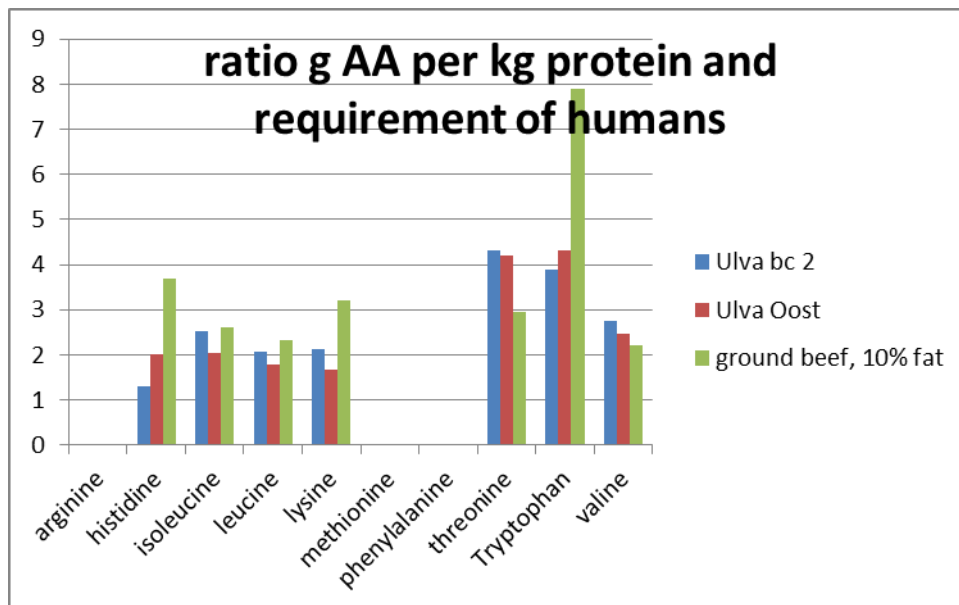


Figure 13. Vergelijking aminozuursamenstelling zeesla en rundvlees. Bron: WUR-PRI

In bovenstaande grafie is een vergelijking gemaakt tussen het eiwitprofiel van rundvlees en zeesla. Op basis van deze vergelijking scoort zeesla niet slecht. Meatless stelt dat zeewier een interessante grondstof kan zijn, omdat het een goed imago heeft qua milieubelasting. Mogelijk kan het maken van een vezelachtige structuur, o.a. door alginaat, van het eiwit de toepassingsmogelijkheden verhogen.

Ook het bedrijf Meatless uit Goes heeft een eiwitanalyse van zeewier beoordeeld. De marktwaarde van het zeewiereiwit wordt op basis van deze analyse door Meatless BV (producent van vleesvervangers) geschat op de waarde van vrij goedkoop plantaardig eiwit, tussen de 3 en 4 euro per kilo, bij een concentratie van 60% eiwit. Het bedrijf stelt echter dat de aminozuursamenstelling niet doorslaggevend is voor bedrijven die eiwitrijke grondstoffen toepassen. Directeur Jos Hugense: "Iedereen kijkt eerst naar de functionaliteit en de prijs."

Ter vergelijking: melkeiwit heeft momenteel een marktprijs van € 4,70 per kg eiwit. Friesland Campina verklaart de lagere melkprijs van dit moment door het hoge aanbod en terughoudende vraag (onder andere door het verdwijnen van het melkquotum).

De vraag naar eiwitten groeit explosief, zie onderstaande grafieken, waarin de omzet van eiwitten is opgenomen en de marktvraag enkel van soja een sterk stijgende lijn vertoont.

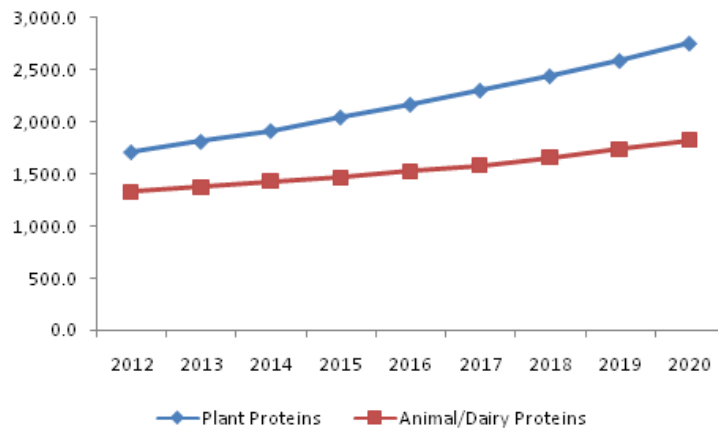
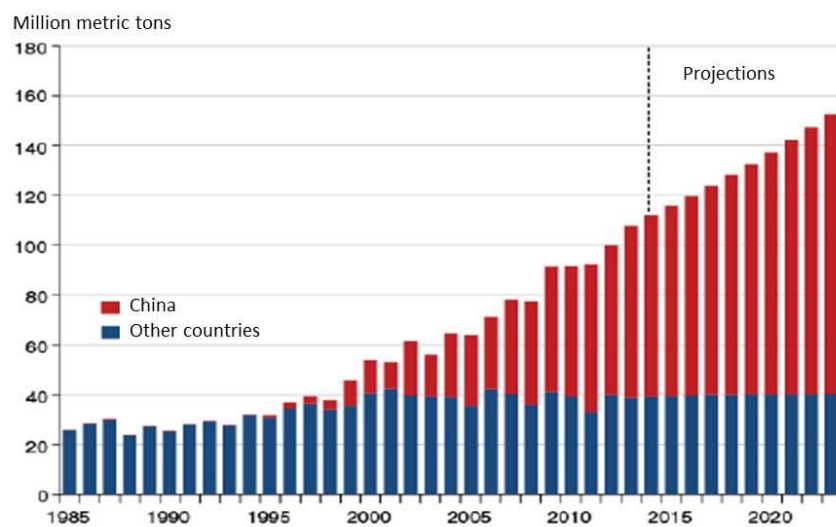


Figure 14. Global protein ingredients market revenues, by type, 2012-2020 (USD Million). Grand View Research, 2014.

China will continue to be dominant global soybean importer



Source: USDA Production, Supply and Distribution database and projections

De wereldmarkt van soja was in omzet 6,4 miljard dollar in 2012. In bovenstaande grafiek is te zien hoe deze markt zich ontwikkelt, omdat er een steeds grotere vraag naar soja-producten komt, met name door groeiende vraag uit Azië (Bron: Markets and Markets, USA). De prijs van sojabonen lag in december rond de € 400/ton, terwijl de wereldmarktprijs van graan op dat moment iets onder de € 300/ton lag (Food Security Portal). Soja-isolaat (eiwit) kost ca. € 2,50 tot € 3,- per kg.

5.5.2.1 Mogelijke toepassing zeewiereiwit

North Seaweed heeft gedurende dit project een verkenning gedaan naar de marktmogelijkheden bij producenten van vegetarische producten, met de gedachte dat zeewier een interessante bron van eiwit kan worden. De consumptie van vegetarische producten stijgt, nu een toenemend aantal Nederlanders niet meer elke dag vlees eet (slechts 10% eet nog dagelijks vlees). Het aantal Nederlanders dat ervoor kiest niet elke dag vlees te eten vanwege gezondheidsredenen, het milieu of dierenwelzijn (bewuste flexitariërs) is flink toegenomen: van 22% naar 35% (Bron: Motivaction). De voedselindustrie speelt hierop in met de ontwikkeling van alternatieven voor vlees. Waar voorheen vooral tofu (sojaproduct) en burgers gebaseerd op bonen werden aangeboden, om in de benodigde

eiwitten te voorzien, is er nu een veel grotere creativiteit te zien in de producten in het winkelschap. Wel zijn de dragers van deze vegetarische producten nog vaak sojabonen, vanwege het hoge eiwitgehalte in dit gewas.

North Seaweed heeft 12 Nederlandse producenten en/of ontwikkelaars van vegetarische producten benaderd en gesproken plus 2 bedrijven die zich toelagen op de ontwikkeling van eiwit-supplementen, o.a. voor sporters en voor ouderen. Op enkele bedrijven na, die zich hebben gespecialiseerd in de verwerking van zeer geconcentreerde eiwitten, stonden alle partijen positief tegenover zeewiereiwit als ingrediënt en wilden ze graag monsters van zeewiereiwit testen.

Bij de aanbevelingen heeft de Gezondheidsraad rekening gehouden met een gemiddeld Nederlands eetpatroon met meer dierlijke dan plantaardige producten. Vegetariërs en vooral veganisten hebben meer eiwit nodig om alle essentiële aminozuren binnen te krijgen. Dat komt doordat plantaardig eiwit minder essentiële aminozuren bevat dan dierlijk eiwit. Veganisten hebben tot 25% meer eiwit nodig. Dat komt neer op zo'n 15 gram per dag extra voor een volwassene. Verder moeten vegetariërs maar vooral veganisten erop letten dat ze verschillende bronnen van eiwit eten. Dat is belangrijk om voldoende van alle essentiële aminozuren binnen te krijgen. Bron: Voedingscentrum

De ontwikkelaars zijn namelijk zonder uitzondering op zoek naar nieuwe eiwitbronnen en meerdere partijen hebben zich al verdiept in micro-algen en eendenkroos als eiwitbron. Bij het testen van deze grondstoffen, liepen ze tegen verschillende problemen op. Labeij Food Products, een bedrijf dat vegetarische producten ontwikkelt, vaak onder private label, heeft een paar procent microalgen-eiwit toegevoegd aan producten en getest, maar constateerde direct smaakbederf. Het betrof hier een groen poeder en volgens het bedrijf is het belangrijk dat het eiwit geen groene kleur heeft, omdat dat de smaak sterk beïnvloedt. Dit aspect wordt ook door andere bedrijven benoemd, dat het poeder niet groen mag zijn, niet alleen vanwege de onaantrekkelijke kleur, maar vooral vanwege de smaak. Labeij is ook betrokken bij de ontwikkeling van de Weedburger, een veganistische burger die uit diverse componenten van zeewier en microalgen (in het broodje) is opgebouwd. Directeur Frank Lagas is zonder meer geïnteresseerd in zeewiereiwit en wil er graag testen mee doen. "Goed dat je belt", is zijn reactie. "Dit soort eiwit is heel interessant, maar ik heb een sample nodig om het te kunnen beoordelen, alleen een analyse zegt niet genoeg". Ook geeft hij aan, dat wanneer een eerste test met het materiaal positief uitpakt, het bedrijf interesse heeft om te participeren in verdere productontwikkeling.

Achtergrond belang eiwit en de samenstelling ervan

Eiwit is een voedingsstof, het levert calorieën en aminozuren. Aminozuren zijn bouwstenen voor het eiwit in lichaamscellen. Bijna alle levensmiddelen bevatten eiwit. Het komt voor in zowel plantaardige als dierlijke producten. De eiwitkwaliteit per product verschilt. Die hangt af van hoe goed het lichaam het kan verteren en van de hoeveelheid essentiële aminozuren.

Functies van eiwit

Het lichaam gebruikt de aminozuren uit het afgebroken eiwit om nieuw eiwit op te bouwen. Maar daarbij gaan ook aminozuren verloren. Eiwitten zijn ook betrokken bij veel regelprocessen in het lichaam. Zo zijn alle enzymen eiwitten, die spelen een belangrijke rol bij de spijsvertering en het afweersysteem.

Plantaardige bronnen van eiwit zijn:

- Brood
- Granen
- Peulvruchten
- Noten

Dierlijke bronnen van eiwit zijn:

- Vlees
- Eieren
- zuivel

Vlees is het rijkst aan eiwit: 20 tot 30%. Vis scoort ook goed.

Aardappels en rijst bevatten juist lage hoeveelheden.

Meerdere bedrijven geven aan belangstelling te hebben voor nader onderzoek. Vleesvervangerproducent Vivera heeft interesse omdat het een vervanging van kippeneiwit zoekt. Proviand BV biedt zich direct aan als launching customer, maar ook de andere producenten geven nadrukkelijk aan interesse te hebben om een monster zeewiereiwit te bestuderen en verdere samenwerking te bespreken. De bedrijven zijn allemaal concurrent van elkaar, dus met iedereen alle kennis delen bij het doen van onderzoek, betekende een beperking in het krijgen van feedback. Uiteindelijk is besloten met het familiebedrijf Schouten Europe in Giessen samen te werken. Dit is een toegankelijk bedrijf, dat diverse goedlopende vegaburgers heeft ontwikkeld, onder de naam 'Goodbite'. Schouten Europe heeft de monsters en analyse van de extractie beoordeeld, evenals Meatless BV uit Goes. Deze bedrijven zijn geen concurrenten van elkaar, omdat Meatless een ingrediënt produceert voor onder andere vegaburgers.

De reactie van Schouten en Meatless op zowel de analyse als het monster van de eiwitraffinage die in december 2015 heeft plaatsgevonden, waren vergelijkbaar: het eiwitgehalte in het geraffineerde product ligt met 16% te laag om het toe te kunnen passen als eiwitvervanger. Daarbij heeft een poeder een zeer sterke visachtige (onaangename) geur, die het voor toepassing in vleesvervangende burgers ongeschikt maakt. Ook de kleur viel tegen; het product was na droging zwart, terwijl het op een lage temperatuur is gedroogd en de vloeistof een lichte kleur had. Ook dit maakte het eindproduct dat na deze eerste raffinage overbleef, niet geschikt voor toepassing in vegaburgers. Teneinde zuinig te zijn op de geïnteresseerde marktpartijen, zijn de monsters niet verder verspreid onder deze doelgroep. Eerst zal een hoogwaardiger product moeten worden gerealiseerd, alvorens er marktpartijen mee te benaderen.

Wel zijn de analyses voorgelegd aan een expert uit de veevoederindustrie. Ook hij gaf aan dat het eiwitgehalte te laag was om het toe te willen passen in veevoer. Daarbij is het asgehalte heel hoog, evenals het vochtgehalte. In deze samenstelling zou de waarde als veevoer negatief zijn.

Hortimare geeft aan dat de volgende stap het verbeteren van het proces is, waarmee een hoger percentage eiwit overblijft. De zwarte kleur zou op vervuiling van het eiwit kunnen duiden, zo is in proeven met aardappeleiwit gebleken. Als dat inderdaad de oorzaak is, zou dat met een hoger eiwitgehalte opgelost kunnen worden. Mogelijk heeft dat ook effect op de geur.



Figure 15. Het assortiment vegetarische producten is de afgelopen jaren flink uitgebreid.

Kosten raffineren eiwit uit zeewier	totale kosten per ton	
Raffinage	€	1.400,00
Zeewier	€	1.500,00
Totaal halffabrikaat	€	2.900,00

De kosten in bovenstaande tabel, zijn een theoretische raming van de raffinagekosten door Hortimare. Momenteel betekent dit dat de uitkomst van toepassing van zeewier-eiwit nog geen haalbare businesscase is, zowel vanwege de kostprijs, als vanwege de nog te optimaliseren techniek. Op het moment dat er voor een kostprijs van ca. € 2/kg een hoogwaardig eiwitconcentraat kan worden geproduceerd, liggen er zeker marktmogelijkheden. Wanneer parallel ook het alginaat gewonnen kan worden, wordt de businesscase direct een stuk sneller haalbaar. Dit vergt momenteel echter nog met name een technologische ontwikkeling.

5.5.3 Businesscase 3: Sodium alginaat

Hoewel een groot deel van de aandacht in dit project is uitgegaan naar de extractie van eiwitten uit zeewier, is vanaf het begin ook alginaat benoemd als een waardevol component, dat naast de eiwitfractie gewonnen zou worden. In dit raffinageproces kunnen zowel de eiwitten als de alginaten naast elkaar worden gewonnen, hetgeen de businesscase aantrekkelijker maakt.

Met bedrijven in de voedingsmiddelenindustrie is de belangstelling voor alginaat besproken. Tevens is een alginaatmonster van Ocean Harvest Technology getest door het bedrijf Meatless in Goes. Dit bedrijf is een grootverbruiker van alginaat en het is sinds twee jaar aan het zoeken naar Europese sourcing van deze grondstof. De wereldmarktprijs van alginaat is de afgelopen jaren flink gestegen, maar het afgelopen jaar ligt de prijs van Chinees alginaat weer tussen de € 6 en 7 per kilo. Europees alginaat is in kleinere hoeveelheden beschikbaar en ligt in prijs daar altijd enkele euro's boven. Vorig jaar steeg het Chinese alginaat richting € 10/kg. In Europa is een beperkt aantal (minder dan 10) producenten van alginaat: Cargill in Frankrijk is een belangrijke partij, evenals enkele Noorse en Deense bedrijven.

5.5.3.1 Test alginaat door Meatless

Het sodium alginaat (van bruinwier uit Ierland) dat door Meatless is getest, bleek een goede gelling te geven. Het product had een laag soortelijk gewicht. De viscositeit was matig, maar dit is op zich geen probleem, omdat een hoge viscositeit het product een lagere marktwaarde geeft. De gelling van het alginaat bepaalt de marktwaarde. Het bedrijf Meatless gebruikt alginaat om van een bloempap vezels te maken, op basis van een geheim recept. Alginaat is een essentieel onderdeel hiervan en het bedrijf test voortdurend alginaten om te zien of er betere of goedkopere producten op de markt zijn, omdat het een belangrijk deel van de kostprijs bepaalt. Voor een high gell wordt ca. 6 tot 7 euro per kilo alginaat betaald. Als er bijvoorbeeld 10% meer alginaat nodig is, is de marktwaarde navenant lager. Het geteste alginaat heeft goede potentie voor toepassing in hun producten, aldus Meatless.



Figure 16. Test met alginaat om vanuit bloempap vezels te maken.



Figure 17. Het alginat geeft een goede gelling.

5.5.3.2 Zeeuws wier voor Cargill

North Seaweed heeft in 2014 een bezoek aan Cargill gebracht, om over alginatproductie te spreken. Het bedrijf kon op dat moment geen nieuwe klanten aannemen, omdat er te weinig alginat geproduceerd kon worden. Cargill wilde weinig kwijt over de oorzaak daarvan. Waarschijnlijk is de beschikbaarheid van geschikt zeewier tegen een voldoende lage prijs, de beperkende factor. Bedrijven die alginat toepassen, geven aan dat de markt van alginaten erg ondoorzichtig is, maar dat er zeker vraag is naar Europees alginat, zeker als dat qua marktprijs dicht in de buurt van het Aziatische product komt.

Cargill heeft vervolgens in 2015 enkele monsters beoordeeld van zeewier uit de Oosterschelde en Noordzeekust op geschiktheid voor de winning van alginat, zie onderstaande tabel, om te beoordelen of dat wellicht een interessante bron voor zeewier voor Cargill is.

Het percentage alginat was bij beide geanalyseerde soorten substantieel lager dan wat normaal bij deze soorten wordt gevonden (6% ipv ruim 16%). Dit betekent dat dit wier voor Cargill geen interessant wier is om alginat uit te maken, omdat de winning van het alginat dan een lage effectiviteit heeft (de kosten om het alginat uit het wier te winnen zijn even hoog als wanneer er wel een hoog gehalte alginat aanwezig zou zijn). Ook in de literatuur worden van deze soorten beschreven dat ze tussen de 15 en 20% alginat zouden moeten bevatten. Tevens is de gellerende werking van het Oosterscheldewier aanmerkelijk lager, evenals de viscositeit.

Cargill zoekt de verklaring van deze lage gehalten in de omstandigheden waaronder de wieren groeien. Als er weinig nutriënten in het water voorkomen, moeten de wieren flexibeler worden, om zoveel mogelijk voedingsstoffen uit het water te vangen. Als er veel stroming in het water is, en veel nutriënten aanwezig zijn, kan het wier zich juist ontwikkelen tot een stevigere structuur, waar meer alginat in zit. Cargill noemt vooral het gehalte van Saccharina uit de Oosterschelde uitzonderlijk laag, dit zou echter ook een momentopname kunnen zijn. Afgesproken is dat Cargill nog meer monsters zou beoordelen, van 2015 zijn er nieuwe monsters opgestuurd, maar daar is nog geen reactie van terug gekomen. De eerste keer nam het ook een half jaar in beslag, alvorens de testen waren uitgevoerd.

Table 1. Analyse van Cargill op alginaat-inhoud van Zeeuws zeewier, febr. 2015

	Fucus vesiculosus Noordzee, Verzameld op strand May 2014, mechanisch gedroogd, North Seaweed, Kapelle	Saccharina latissima Oosterschelde, April 2014, mechanisch gedroogd, North Seaweed BV, Kapelle	Saccharina latissima received and analyzed in 2014 (France)
DM of seaweed	87,36	93,54	89.73
Na alginate yield as is (%)	6,00	5,86	16.89
Na alginate yield on dry basis (%)	6,87	6,26	18.89
Viscosity of Na alginate (cP)	450	820	1560
M/G of Na alginate (Mannuronic to guluronic acid)	0,59	0,82	1.43
Molecular weight of Na alginate	311 200	458 600	459 100

Het product dat op het strand (Walcheren) was aangespoeld, ingezameld en gedroogd (Fucus), was bovendien erg vervuild, het bevatte allerlei riet, plastic ed. Voor het proces van Cargill is dat ongewenst. Het andere wier was afkomstig van de Wierderij, uit de Oosterschelde, en was wel schoon.

Globaal gaf het bedrijf de volgende kostenraming van de productie van alginaat.

	Oosterschelde- en Noordzee-wier	Frans wier
Kosten inkoop wier per ton	Nihil	€ 1.700
inkoopkosten zeewier voor 168,9 kg alginaat	Nihil	€ 1.700
Productiekosten 1 ton alginaat	€ 5.045	€ 1.750
Totale kosten	€ 5.045	€ 3.450

Deze analyse, samen met de berekening van de verwerkingskosten, geeft aan dat het Zeeuwse zeewier voor Cargill een negatieve waarde vertegenwoordigt, zodat het niet interessant is om het voor dat doel te oogsten. Bovendien zou er een veel grotere hoeveelheid restproduct overblijven dan normaal. Een groot nadeel van de alginaatwinning is dat het hele zeewier wordt gebruikt en dat er een grote hoeveelheid restmateriaal overblijft, dat nu voor veevoer wordt afgevoerd.

5.5.4 Economische risico's en onzekerheden

Op basis van de eerste verkenning bij potentiële klanten, lijkt er een positief ingestelde, verwachtingsvolle, potentiële klantenkring te zijn. Bepalend voor het succes van het eiwitconcentraat wordt de functionaliteit van het product en de marktprijs. De eerste raffinage van eiwit uit zeewier heeft niet direct een geschikt halffabrikaat opgeleverd. Pas als er een goed geconcentreerd eiwit is geproduceerd, kunnen voedingstechnologen de functionaliteit en daarmee de marktwaarde bepalen. In deze studie is gerekend met een voorzichtige marktwaarde van plantaardig eiwit. De combinatie met de winning van alginaat, maakt deze businesscase kansrijker.

Een onzekerheid is op dit moment, naast de functionaliteit voor toepassing bij de benaderde bedrijven, of de kostprijs, met alle vereiste processtappen, concurrerend kan zijn met eiwitten die reeds op de markt zijn of een interessante aanvulling op bestaande eiwitbronnen kan vormen. Tevens zal voldoende kapitaal beschikbaar moeten komen om de benodigde investeringen te doen. Zeewiereiwit is een nieuw product en de afzetmogelijkheden zullen zeker moeten zijn, alvorens investeerders hierin zullen stappen. Voor het opzetten van een alginaatproductie zullen er wellicht gemakkelijker investeerders zijn te vinden, omdat dit een gevestigde industrie is, in een groeiemarkt. Het lage alginaatgehalte in de onderzochte Oosterscheldewieren, is een belangrijk aandachtspunt. Extra analyses verspreid over het seizoen zijn noodzakelijk om te verifiëren of dit een structureel probleem is in de Oosterschelde. Daarbij heeft North Seaweed ook contact met de initiatieven die elders in Nederland zijn ontstaan op het vlak van zeewierteelt.

In de alginaatproductie is in Europa sprake van een oligopolie. North Seaweed heeft echter contact met een Noord-Europees initiatief van een nieuwe marktpartij, die gevorderde plannen heeft om een nieuwe productiefaciliteit op te zetten om alginaat uit zeewier te gaan winnen met een vernieuwd procedé, dat minder milieubelastend is. Aansluitend op dit onderzoek zal met deze partij een verkenning plaatsvinden, of samenwerking, specifiek voor alginaatproductie mogelijk is. Dit zou een meer gelijkwaardige partner zijn, dan een van de grote bestaande bedrijven in deze markt, zoals Cargill en Danisco. Volledig op eigen kracht een alginatenproductie opzetten is erg ambitieus en kapitaalintensief.

5.5.5 Conclusies businesscases

Gedurende het SPARK-UP project zijn verschillende business cases verkend op basis van geraffineerd zeewier of op basis van in het wild geoogst wier.

De uitkomsten van de businesscase met wild geoogst wier voor toepassing als plantversterker, geeft voldoende reden om dit nader te verkennen. Met het bedrijf Comgoed is inmiddels een samenwerking opgezet, waarin het komende jaar proeven bij boeren en tuinders onder begeleiding van teeltadviseurs worden uitgevoerd. Het Louis Bolkinstituut heeft opdracht gekregen om een literatuurstudie op dat vlak uit te voeren, zodat er meer zekerheid is welke soorten tegen welke ziekten ten plagen kunnen worden ingezet.

De businesscase voor toepassing van eiwit en alginaat uit geraffineerd zeewier is op dit moment weliswaar nog niet positief, vanwege de tegenvallende kwaliteit van het eindproduct, na een eerste run. Toch zal North Seaweed ook daar, samen met Hortimare, nader onderzoek naar doen. Het eerste succes in het raffineren van de wieren, is tijdens dit project geboekt. Optimalisatie van dat raffinageproces is noodzakelijk om tot een goed eindproduct te komen, zodat zeewiereiwit uitgebreider op de markt kan worden getest.

5.6 WPF: Projectmanagement

Het projectmanagement is uitgevoerd door Arkema in nauwe samenwerking met Projectbureau Zeeland (als onderaannemer van Arkema). Onderling is een taakverdeling overeengekomen over de voorbereidingen van de vergaderingen, het bewaken van de planning en het budget. De aansturing van het project is steeds gezamenlijk opgepakt. Vooral de problemen met de teelt hebben veel vertraging en planningswijzigingen opgeleverd voor het project. Uiteindelijk is er in goed overleg tussen de projectpartners besloten om de teeltproeven te beëindigen en met laboratoriumproeven te onderzoeken wat de mogelijke oorzaak van de achterblijvende groei kon zijn. Daarnaast is verkend hoe er door middel van oogst van wild zeewier kon worden voorzien in biomassa en voor welke toepassingen dat geschikt zou zijn.

De budgetbewaking is door penvoerder Arkema uitgevoerd. Er hebben enige verschuivingen tussen de verschillende posten in het budget plaatsgevonden, dit met goedkeuring van de Provincie Zeeland.

Het is voor alle partners een tegenvaller geweest dat het wier niet goed groeide in het bassin. Daardoor is ook in de andere werkpakketten vertraging ontstaan, die in 2015 weer is ingelopen. Mede dankzij de laboratoriumproeven die PRI in 2015 heeft gedaan, is veel aanvullende kennis ontwikkeld over wierenteelt en de factoren die daarvoor van belang zijn.

Eind 2014 is er met de Provincie overleg geweest over de tegenvallende groei van het wier. Bij die gelegenheid is besproken dat vanuit het werkpakket van de businesscases gekeken zou worden naar inzameling van wier dat aanspoelt aan de kust en de mogelijke toepassing van dat wier als meststof. In 2015 is die optie door North Seaweed onderzocht en in een praktijkproef getest.

Tot slot is de reorganisatie bij Arkema, waardoor de R&D-afdeling in Vlissingen eind 2015 is opgeheven, een tegenvaller voor eventueel vervolgonderzoek naar toepassing van zeewier als groene grondstof. Binnen het project is dit echter opgevangen door het resterende budget voor raffinage in te zetten voor een eerste raffinagetest bij Hortimare. Dit is in goed overleg met de Provincie Zeeland besloten.

5.7 WP Publiciteit

Gedurende de looptijd van het project, is er in verschillende media aandacht geschonken aan de projectactiviteiten. Tevens zijn er meerdere presentaties gegeven, zowel door Arkema als door PRI.

Hieronder de lijst van publiciteitsuitingen mbt het project.

Presentaties door projectpartner:

- B.J. Deelman, Urgenda regiotour, biobased pitch over zeewier voor MKB'ers op de MKB inspiratieavond, 11 juni 2014

PRI-WUR:

2013

- Diverse lezingen voor scholen en Universiteiten:
- Hoogeschool Zeeland;
- Jan Tienberge College Roosendaal
- Congres: Seagriculture (locatie: Den Helder, Texel)

Presentaties overige:

- Wijnhoeve de kleine Schorre (leden presentatie, locatie: Dreischor/Zeeland)
- Kivi-niria→ Koninklijk Instituut van Ingenieurs (ledenpresentatie)

2014

- Diverse lezingen voor scholen en Universiteiten:
- Hoogeschool Zeeland;
- Jan Tienberge College Roosendaal

Congres: Seagriculture (locatie: Terneuzen)

Presentaties overige: Opening week van de Zee in Vlaanderen (presentatie bestuursleden)

2015

- Diverse lezingen voor scholen en Universiteiten:
- Hogeschool Zeeland
- Jan Tienberge College Roosendaal
- In Holland (Delft)

Congres: Seagriculture (locatie: Frankrijk)

Presentaties overige: Horecabeurs Goes

Pers

- Provincie Zeeland en Arkema investeren samen met partners Wageningen UR en North Seaweed in de productie van zeewier, persbericht Provincie Zeeland, 28 mei 2013
- Drie ton subsidie voor de productie van zeewier, PZC, 13 juni 2013
- Pilot voor commerciële teelt zeewier, A. Guiking, Agro&Chemie, artikelnummer 3674, 30 juni 2013
- Zeewier kan big business worden, F. Balkenende, PZC, 13 december 2013, p. 28-29
- Arkema experiments with seaweed culture, H. Blok, Zeeland Port News, 2013, vol. 8 (nr. 4), p. 22-23
- Zeewieronderzoek in het Zeeuwse Water, Agro&Chemie, 2015, 3, 10

6. Toelichting financieel verslag

6.1 Uren Arkema

- Operatorkosten

Deze kosten zijn aanzienlijk lager uitgevallen dan begroot, met name doordat de teeltresultaten tegenvielen waardoor ondersteuning bij oogsten niet nodig was.

- QC manuren

De bemonstering van het bassinwater werd eens per week uitgevoerd en was daarmee iets minder arbeidsintensief dan oorspronkelijk verwacht.

- R&D analyses (non routine)

Hier is minder werk uitgevoerd dan begroot doordat analyses t.b.v. raffinage grotendeels zijn uitbesteed binnen het Hortimare project.

- R&D en engineering kosten

Deze kosten zijn hoger dan oorspronkelijk gebudgetteerd als gevolg van de extra improvisatie tijdens de teelt en vervolgens extra inzetten op raffinagewerk

- Management

Lager dan verwacht als gevolg van het feit dat minder ondersteuning nodig was voor het financiële projectmanagement.

6.2 Investeringsen

In totaal hoger dan oorspronkelijk begroot door aanpassingen voor het inpompen van water, extra waterversingen, installatie van een UV-unit, kosten voor veiligheidsmaatregelen.

- 2013:

- Leidingwerk en afsluiters, zeecontainer, steigerwerk, plankieren op de rand van het bassin, CO₂ gasflessen, reddingshaak, pijpstuk op zeedijk, E&I werkzaamheden, mobiele dieselpomp, schoonmaakkosten

- 2014:

- Leidingwerk voor waterversing, UV-unit leidingwerk aansluiten

- 2015:

- Geen investeringen

6.3 Materialen e.d.

Hier zijn minder kosten gemaakt dan oorspronkelijk begroot, ook mede door de tegenvallende teeltresultaten.

- 2013:

- kosten Projectbureau Zeeland

- 2014:

- Elektriciteit, land lease, huur trappenhuis, waterverversing en schoonmaken bassin, huur ontwateringscontainer, reparatie UV-unit, kosten FBR, kosten Projectbureau Zeeland, accountantskosten
- 2015:
 - Elektriciteit, land lease, huur trappenhuis, kosten FBR, Projectbureau Zeeland, schoonmaakkosten, kosten North Seaweed, Hortimare project

6.4 Uren en materialen WUR

In 2014 extra laboratoriumproeven Nergena en in 2015 is een extra teelt uitgevoerd (beiden waren niet gebudgetteerd). De begroting is in overleg met de Provincie hier op aangepast.

- 2014:
 - kosten PRI (eigen bijdrage, volgens budget), extra kosten PRI (laboratorium proeven Nergena)
- 2015:
 - extra kosten PRI (extra teelt 2015)

6.5 Uren North Seaweed

Het aantal uren dat North Seaweed heeft besteed is hoger uitgevallen dan geraamd. Door de aanpassing van het soort businesscase en het opnemen van de wilde oogst en praktijkproeven bij een akkerbouwer, zijn met name in 2015 veel uren besteed. In het laatste kwartaal hebben de raffinage-activiteiten bij Hortimare ook nog een flink aantal uren geleverd.

7. Conclusies

7.1 Teelt

In tegenstelling tot experimenten op open water (de Wierderij) en in andere op-land-gebaseerde systemen (Zeeuwse Tong en Imares) bleek het gesloten teeltsysteem zoals dat bij Arkema is beproefd niet succesvol. De kwaliteit van het Westerschelde water (lage saliniteit) en de aanwezigheid van zware metalen (o.a. Zn) in combinatie met de beperkte mogelijkheden om het water te verversen zijn hier hoogstwaarschijnlijk voor verantwoordelijk geweest. Verder onderzoek is gewenst om vast te stellen of land-gebaseerde systemen economisch rendabel te opereren zijn als de waterkwaliteit wel kan worden gegarandeerd, temeer daar op open-water-gebaseerde systemen voorlopig nog te duur zijn.²

7.2 Raffinage

Raffinage van zeewier staat nog in de kinderschoenen. Echter binnen het Spark-UP project zijn belangrijke stappen voorwaarts gemaakt. Er is een start gemaakt met de modificatie van suikers voor bioplastics. Er zijn specifieke analysemethoden ontwikkeld voor de analyse van suikers in zeewier. En extractietesten op zowel laboratoriumschaal als multi-ton semi-industriële schaal, met ultrafiltratie en omgekeerde osmose als concentratietechnieken, hebben laten zien dat raffinage van zeewier tot suikers en eiwitten technisch mogelijk is. De opbrengsten zijn echter nog te laag en verdere verbetering van de efficiëntie van het proces is noodzakelijk.

7.3 Business cases

Drie business cases zijn onderzocht op basis van in het wild geoogst Noord-Europees zeewier: toepassing als meststof, zeewier als bron van eiwit en zeewier als bron van alginaat (alginaat is een koolhydraat van belang voor voedseltoepassingen). Hoewel de raffinagetechnieken en de kwaliteit van het wier moeten worden verbeterd zijn er goede perspectieven voor toepassing van zeewier in deze drie sectoren. Verdere ontwikkeling is nodig om tot een winstgevende business te komen.

Overall

Resumerend kan worden gesteld dat het Spark-UP project de economische toepassing van zeewier in de chemie, in voedseltoepassingen en als meststof in de landbouw dichterbij heeft gebracht. Echter het project heeft ook een aantal concrete uitdagingen geïdentificeerd, met name op het gebied van teelt. Verdere ontwikkeling gericht op het oplossen van deze problemen zal nodig zijn om tot een *zeewier-gebaseerde economie* te komen.

² Dit is een van de conclusies van het TO2 rapport Noord-Zee-Wier-Keten van de samenwerkende partijen ECN, TNO, MARIN, Deltares en DLO dat binnenkort zal verschijnen.

Bijlagen:

- a. Financieel verslag (los bijgevoegd)
- b. Accountantscontrole (los bijgevoegd)
- c. Verslag WP Teelt; PRI
- d. Verslag WP Raffinage

Bijlage B. Accountantsverklaring

Spark-UP

Zeewierteelt rapportage

Julia Wald; Willem de Visser; Willem Brandenburg, Raymond Jongschaap; Adrie van der Werf

Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR
Business Unit Agrosysteemkunde
Februari 2016

© 2015 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Plant Research International. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Plant Research International, [Business Unit Agrosysteemkunde].

DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Exemplaren van dit rapport kunnen bij de (eerste) auteur worden besteld. Bij toezending wordt een factuur toegevoegd; de kosten (incl. verzend- en administratiekosten) bedragen € 50 per exemplaar.

Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR
Business Unit [Business Unit Agrosysteemkunde]

Adres : Postbus 16, 6700 AA Wageningen
: Wageningen Campus, Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
Tel. : 0317 – 4843 40
Fax : 0317 – 41 80 94
E-mail : info.pri@wur.nl
Internet : www.wageningenUR.nl/pri

Inleiding

Arkema BV (locatie Vlissingen), North Seaweed BV uit Kapelle en de onderzoeksinstituten Plant Research International (PRI) en Food & Biobased Research (FBR) van Wageningen Universiteit en Research Centre (WUR) hebben de handen ineen geslagen om de teelt en verwaarding van zeewier verder te ontwikkelen.

Vanaf medio 2013 hebben de betrokken partijen in het SPARK-UP project zeewier geteeld onder semi-gecontroleerde omstandigheden in een bassin op het terrein van Arkema. Hiernaast is er zeewier geteeld op de Wierderij, een onderzoekfaciliteit van Wageningen UR waar zeewier in open water (Oosterschelde) geteeld kan worden. Deze locatie is binnen het SPARK-UP project aangewezen als referentie-locatie. Gedurende ruim twee jaar is de teelt van zeewier op beide locaties onderzocht.

Plant Research International heeft met verschillende zeewiersoorten gewerkt. Afhankelijk van het seizoen zijn dit groen, bruin en/of roodwieren, waarbij een zo optimaal mogelijke productiviteit van de wieren en inhoudstoffen is nagestreefd.

De proeven hebben het hele jaarrond plaatsgevonden, om een goed beeld te krijgen van de groei van de verschillende wieren gedurende de seizoenen, de gerelateerde productiekosten en de teeltmogelijkheden.

De geteelde wieren zijn voor Arkema interessant als grondstof voor bio-based producten. Wieren bevatten stoffen die na raffinage nieuwe chemische building blocks kunnen opleveren. Samen met FBR heeft Arkema de mogelijkheden hiervan onderzocht.

North Seaweed is actief in het opbouwen van een afzetmarkt voor zeewierproducten in Nederland en wil de kennis die in dit consortium tot stand is gekomen, in samenwerking met Arkema en (WUR), benutten voor verdere productontwikkeling.

De betrokken partijen proberen in Zeeland op deze manier een keten te ontwikkelen van productie tot en met verwaarding van zeewier. Er is al enige kennis op laboratoriumniveau, maar voor opschaling van de productie en de mogelijkheden van toepassingen is onderzoek op grotere schaal nodig. Daarvoor is deze pilot opgezet.

Allereerst worden de behaalde resultaten op de referentielocatie toegelicht. Vervolgens zullen de resultaten op de Arkema locatie beschreven en bediscussieerd worden. Tot slot worden de aanvullende experimenten, uitgevoerd op de proeflocatie Nergena in Wageningen, behandeld.

Doelstelling

Kleinschalige laboratorium- en veldproeven hebben laten zien dat er veel potentie in zeewier zit om dit als gewas te telen. Er zijn een aantal zeewieren die vanwege hun inhoudsstoffen economisch zeer waardevol kunnen zijn. Hiernaast halen sommige zeewieren een hoge groeisnelheid, waardoor meerdere oogsten en dus een hoge productiviteit behaald kunnen worden. Voor een business model is opschaling echter cruciaal.

Het centrale doel binnen dit werkpakket van het SPARK-UP project is het ontwikkelen van een teeltsysteem met de mogelijkheid om het hele jaar rond zeewier te telen, waarbij een zo optimaal mogelijke productie aan inhoudsstoffen wordt nagestreefd.

Onderzoeksvragen

Uit de doelstelling resulteren volgende onderzoeksvragen:

- Kunnen diverse zeewiersoorten (rood, bruin, groen) in één teeltsysteem worden gecombineerd om zodoende het jaar rond te kunnen produceren?
- Hoe verhoudt zich de productiviteit van de zeewieren onder semi-geconditioneerde omstandigheden (Arkema) ten opzichte van de productiviteit in open water (Wierderij)?

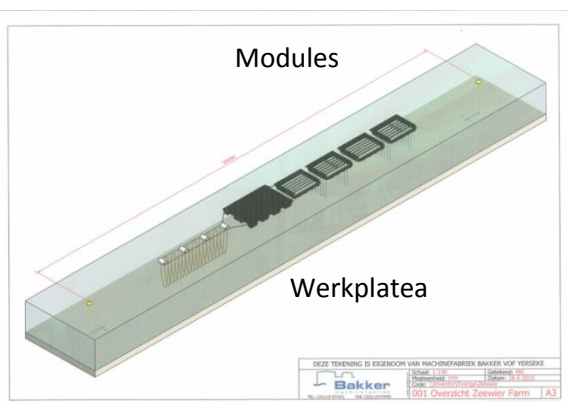
1. Algemene beschrijvingen

1.1 Locaties

1.1.1 Wierderij

De “Wierderij” is een proeflocatie van Wageningen UR, welke de mogelijkheid biedt om verschillende zeewierteeltsystemen te bestuderen. De “Wierderij” ligt in de Oosterschelde op locatie van de Schelphoek op Schouwen-Duiveland te Zeeland (Fig. 1). De “Wierderij” heeft een oppervlak van 6*10 meter en biedt ruimte voor 4 modules van 2.5*2.5 meter. Op de eerste twee modules bevinden zich op elke module 5 dwars balken om zeewierenlijnen te installeren in de vorm van droplijnen. De achterste twee modules zijn exclusief balken en bieden daardoor ruimte voor horizontale lijnen. Hiernaast is er een longline gedeelte waar droplijnen geïnstalleerd kunnen worden. Daartussen bevindt zich het werkplateau, wat ruimte biedt om werkzaamheden uit te voeren, zoals het knopen van de lijnen (Fig. 2a,b).

Sinds 2011 wordt op deze locatie onderzoek gedaan naar verschillende soorten zeewieren. Voor de SPARK-UP proeven is deze locatie gebruikt als referentie.



Longlines

Figure 2a. Schematische weergave van de Wierderij.



Fig 2b. De Wierderij

1.1.2 Arkema

De zeewierteeltproeven voor het SPARK-UP project zijn uitgevoerd bij Arkema B.V., locatie Vlissingen. Voor de proeven werd gebruik gemaakt van een betonnen bassin met een volume van 1250 m³ (Tabel 1, Fig. 3). Het bassin is gevuld met Westerscheldewater. Stroming in het bassin werd gegenereerd via een propeller. Voor de propeller hing een net, om mogelijk drijvend materiaal op te vangen. Het water is gedurende de onderzoeksperiode 1 maal in zijn geheel ververs. In het bassin is een drijvende PVC-constructie geïnstalleerd waaraan droplines werden opgehangen. (Fig. 4). De inrichting van het systeem middels droplines varieerde met de verschillende proefopstellingen.

Tabel 1. Specificatie betonnen bassin

Inhoud	1250 m³
Lengte	33 meter
Breedte	14 meter
Hoogte	4 meter
Diepte	3,50 meter

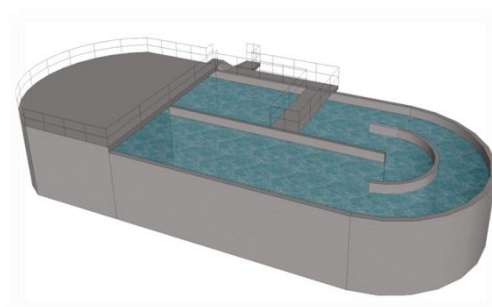


Fig 3a. Schematische weergave van het bassin



Figure 4. Constructie van PVC voor het ophangen van de zeewierlijnen

1.2 Waterkwaliteit

Voorafgaand aan de proeven zijn van beide locaties een aantal gegevens verzameld, zoals stromingssnelheid en nutriëntenconcentratie. Deze zijn met elkaar vergeleken en waar mogelijk op elkaar afgestemd. Hiernaast, zijn op beide locaties periodiek gegevens verzameld over de saliniteit en de watertemperatuur.

1.2.1 Stromingssnelheid

Om effecten van stromingssnelheid op de groei van de zeewieren uit te kunnen sluiten is het wenselijk dat op beide teeltlocaties vergelijkbare stromingssnelheden gehandhaafd kunnen worden. Hiervoor is de stromingssnelheid op verschillende plekken op beide locaties gemeten. Uit de metingen blijkt dat de metingen verricht aan de binnenkant van het bassin ter hoogte van de scheidingsmuren het meest overeen komen met de metingen op de “Wierderij” (Fig 5,6). De gemeten waardes bleken afhankelijk op de meeste plekken een factor 10 hoger te zijn dan op de Wierderij. Om beide locaties vergelijkbaar te houden is de stromingssnelheid in het SPARK-UP bassin naar beneden bijgesteld.

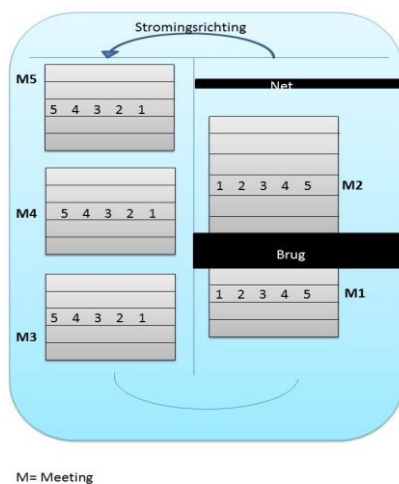


Fig 5. Meetpunten stromingssnelheid SPARK-UP bassin vs. Wierderij (voorafgaand aan de correctie in het SPARK-UP bassin).

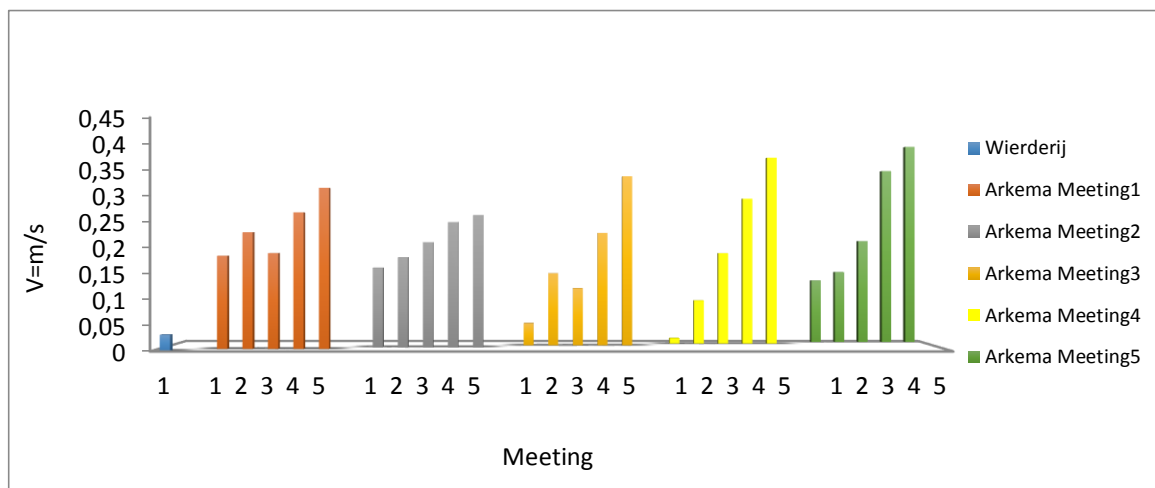


Fig 6. Gemiddelde stromingssnelheid op 5 verschillende plaatsen (meeting 1-5) op de positie 1-5 binnen het bassin waar ook de lijnen hangen (1 langs middenwand; 5 langs buitenrand)

1.2.2 Nutriënten

Voorafgaande aan de proeven is een uitgebreide nutriënten analyse uitgevoerd van een reeks aan macro- en micronutriënten (Fig. 7, tabel 2) op beide locaties. Uit deze tabel blijkt dat de P-PO₄ concentratie gemeten in het SPARK-UP bassin in november 2013 hoog is ten opzichte van de gemeten waarden op de Wierderij. Maar daalt deze snel en ligt de concentratie in het SPARK-UP bassin in januari onder de 0.05mg/l. Omdat in het SPARK-UP bassin geen uitwisseling van vers water plaatsvindt, anders dan op de Wierderij, is er begonnen met continu bemonstering van P en waar nodig een bemesting tot een concentratie van maximaal 0.27mg/l. N-NH₄ laat een gelijke concentratieverloop zien dan P-PO₄. De concentraties aan N-NO₃ en N-NO₂ lagen tijdens de metingen lager dan op de Wierderij. Ook voor stikstof vindt wanneer nodig een bemesting plaats in het SPARK-UP bassin tot een concentratie van maximaal 5 N-mg/l ammonium nitraat. De gekozen concentraties correleren met de wettelijke lozingsnormen.

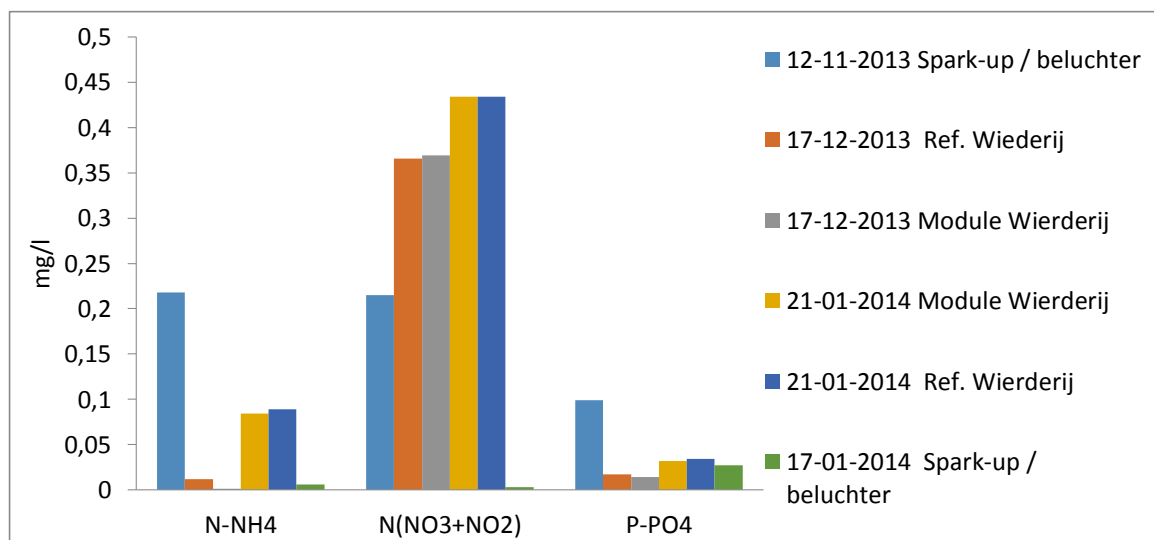


Figure 18 7. Wateranalyse Arkema vs. Wierderij voor de maand december 2013 en januari 2014

Tabel 2. Wateranalyse van micro-en macronutriënten bij Arkema en de “Wierderij”

	ICP-AES						ICP-AES				ICP-MS		ICP-MS			SFA-CaCl2		
Monster-	Al	Ca	Cu	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Zn	As	Cd	Cr	Ni	Pb	N-NH4	N-(NO3+NO2)	P-PO4
omschrijving	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l
aantoonbaarheidsgrens	0.03	1.2	0.01	0.09	0.4	0.15	0.01	0.1	0.2	0.02	0.3	0.06	0.5	1.2	0.4	0.02	0.01	0.005
nov. 2013 Spark-up	0.19	335	0	0	294	966	0.112	0.2	688	1.45	1.87	0.236	0.151	1.14	0	0.218	0.215	0.099
dec. 2013 Wierderij Ref.	0.23	375	0.08	-0.07	346	1144	0.002	0.01	809	0.061	1.62	0.072	-0.05	-0.64	-0.1	0.012	0.366	0.017
dec. 2013 Wierderij module1	0.24	376	0.09	-0.09	345	1143	0.002	-0.14	809	-0.015	1.6	0.01	0.01	0.04	-0.1	0.012	0.369	0.014
jan.2014 Spark-up	0.19	329	0.09	-0.09	284	938	0.077	0	668	1.16	1.24	0.231	0.129	2.37	0.06	0.006	0.003	0.027
jan. 2014 Wierderij module2	0.37	384	0.08	-0.07	354	1168	0.005	0.09	830	-0.009	1.7	0.01	0.13	0.03	-0.04	0.084	0.434	0.032
jan. 2014 Wierderij Ref.	0.27	385	0.07	-0.07	351	1166	0.006	0.11	822	0.015	1.49	0.05	0.01	-0.48	-0.06	0.089	0.434	0.034

1.2.3 Temperatuur

Voor de temperatuur werd vooral gebruik gemaakt van data van Rijkswaterstaat. Voor de Wierderij werd het meetpunt gebruikt wat net buitengaats van de Schelphoek te vinden is (OS4b). Voor de SPARK-UP proeven is gebruik gemaakt van eigen verzamelde data in het bassin en data van Rijkswaterstaat. Hiervoor is meetpunt VRb gebruikt, omdat het dichtst bijzijnde meetpunt HFPLb tijdens de onderzoeksperiode buiten gebruik was (Fig. 8). Figuur 9 geeft een overzicht van de temperaturen over de meetperiode 2013 t/m 2015 voor de Oosterschelde, de Westerschelde overeenkomt en die in het bassin. De temperaturen liggen seizoen afhankelijk gemiddeld tussen de 7-19°C. De gemeten watertemperatuur in het bassin komt iets boven het gemiddelde uit.



Fig. 8. Meetpuntenkaart van Rijkswaterstaat

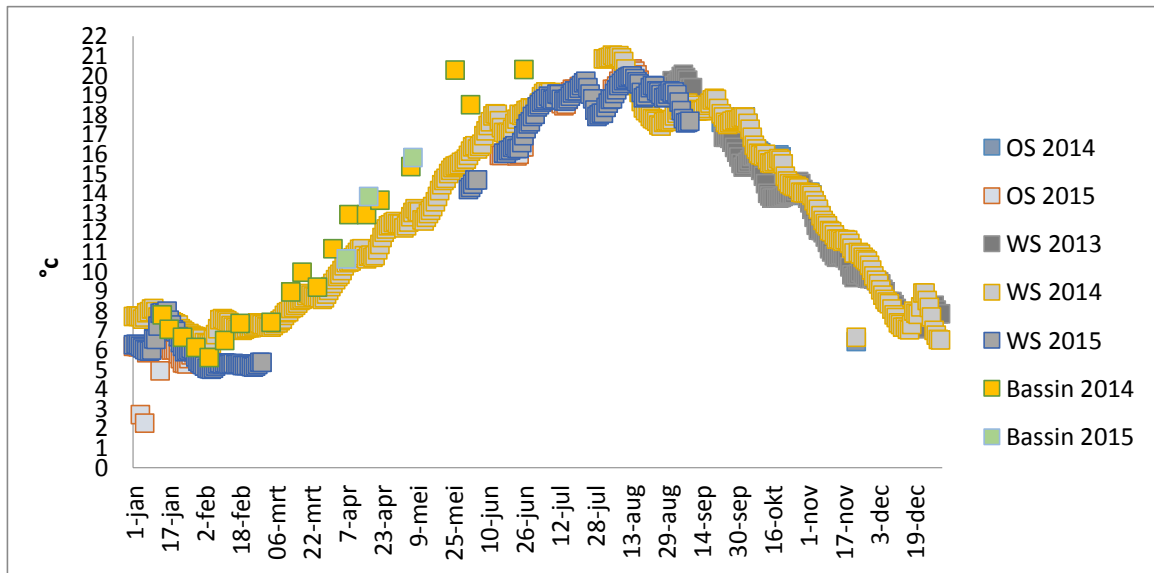


Fig.
9.

Temperatuur Ooster- en Westerscheldewater en het bassin gedurende periode van 2013 t/m 2015

1.2.4 Saliniteit

Voor de Oosterschelde en de Westerschelde is gebruik gemaakt van data van Rijkswaterstaat. Hiervoor is de door Rijkswaterstaat gemeten chloride gehalte omgerekend naar saliniteit (formule 1). Hiernaast werd de saliniteit in het bassin gemeten met een saliniteitsmeter.

De saliniteit van de meetpunten gebruikt door Rijkswaterstaat ligt gemiddeld op ca. 33‰ over de jaren heen (Fig. 10). De gemeten waardes in het bassin liggen gemiddeld op 25‰. Dit verschil is te verklaren doordat het meetpunt voor de Westerschelde van Rijkswaterstaat veel buitengaats ligt. Het water voor de SPARK-UP proeven verder is landinwaarts verzameld, waar het Westerscheldewater onder invloed staat van de rivier de Schelde. Hierdoor daalt het zoutgehalte aanzienlijk. Het zoutgehalte in de Westerschelde varieert binnengaats tussen de 9-29‰ (Stichting Anemoon).

Formule 1: Saliniteit (‰)=1.80655 * Chloride (g/l)

Bron: Water Research Stichting NL

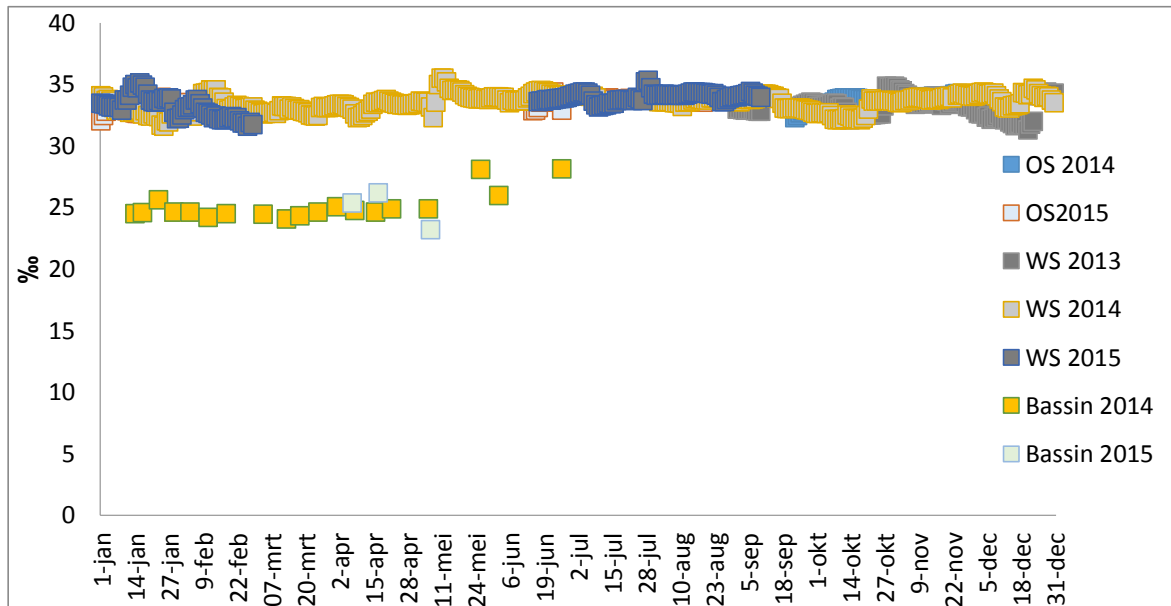


Fig. 10. Saliniteit Ooster- en Westerscheldewater en het bassin in de periode van 2013 t/m 2015

1.3 Modelorganismen- Zeewieren

Voor het onderzoek zijn een aantal zeewieren geselecteerd die economisch erg interessant zijn onder andere vanwege hun inhoudsstoffen.

1.3.1 *Ulva lactuca*

Het groenwier *Ulva lactuca* groeit met name aan het wateroppervlak. *Ulva lactuca* bevat als pigment chlorofyl a en b. De absorptie van licht vindt plaats in het 400-500 nm en 600-700 nm bereik. De maximale absorptie bevindt zich voor *chl a* bij 430 nm en 662 nm (blauwgroen). Het absorptiemaximum voor *chl b* bevindt zich bij 454 nm en 643 nm (geelgroen). De optimale lichtintensiteit voor *Ulva* werd in een laboratorium experiment bepaald door Taylor en Fletcher en ligt bij 18 tot 175 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ en een dag-nachtcyclus van 16 uur licht en 8 uur donker (Taylor en Fletcher 2001). Het zeewier groeit bij temperaturen tussen de 10-25°C (Malta et al. 1999).



1.3.2 *Chondrus crispus*

Chondrus crispus behoort tot de roodwieren en is door haar pigmenten aan het leven in diepere wateren aangepast. Door het bezit van verschillende pigmenten, zoals *chl a*, en *chl d* kan de alg kortgolvig licht absorberen, wat het leven in diepere waterlagen mogelijk maakt. Chlorofyl a absorbeert het licht bij maximaal 430 nm en 662 nm (blauwgroen). Hiernaast maakt *Chondrus crispus* nog gebruik van chl d. Chlorofyl d absorbeert licht op het maximum bij 447 nm en 688 nm. *Chondrus crispus* komt tot een diepte van 20m voor. Afhankelijk van de diepte kan het zeewier het hele jaar worden geteeld. Groeitemperaturen liggen tussen 5-25°C (Guiry 2014).



1.3.3 *Laminaria digitata* en *Saccharina latissima*

Laminaria en *Saccharina* behoren tot de groep van de bruinwieren. Het zeewier groeit litophytisch, soms epiphytisch tot dieptes van 200 m.

Laminaria en *Saccharina* bevatten chl a en chl c. Chlorofyl a heeft de maximale absorptiespectra bij 430 nm en 662 nm. Chlorofyl c heeft echter een maximale lichtabsorptiecapaciteit bij 444 nm, 576 nm en 626 nm (groen licht). Uit het veldonderzoek van Cesar Peteiro en Oscar Freire (oct. 2015) blijkt dat *Laminaria digitata* en *Saccharina latissima* een goede groei laten zien bij een lichtintensiteit van 16-104.3 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Beide soorten groeien voornamelijk bij temperaturen beneden de 20°C. Het optimum ligt tussen de 8-15°C.

Wanneer de temperatuur boven de 23°C stijgt, sterft het zeewier af (Kain 1991).

Saccharina latissima (links) en *Laminaria digitata* (rechts)



2. Zeewierproeven Wierderij

2.1 Zomerteelt Wierderij 2014

2.1.1 Proefopzet

Het ontwikkelen van een meerlagig teeltsysteem stond tijdens deze proef voorop. Hierdoor is gekozen om met drie verschillende soorten zeewieren te werken. Het groenwier *Ulva lactuca* is gekozen om in de bovenste waterlagen te telen aangezien het een zeewier betreft dat veel licht nodig heeft. *Chondrus crispus* en *Laminaria digitata* zijn gekozen om in diepere waterlagen te telen gezien hun aanpassingen aan het milieu. Omdat er nog geen teeltermingen zijn met *Chondrus crispus* en het effect van *Chondrus crispus* op overige zeewieren niet bekend is, is er gekozen om met verschillende behandel scenario's te werken (tabel 3). Er zijn per behandeling 3 lijnen opgehangen op de "Wierderij". Een lijn heeft een productielengte van 3m en bestaat uit gedraaid polyethyleen touw (euroflex). Tevens is er een horizontale lijn op 50cm waterdiepte opgehangen met *Ulva lactuca* (behandeling 8). Voor de behandelingen 1-7 is gebruik gemaakt van droplijnen.

Jong uitgangsmateriaal van *Laminaria digitata* is afkomstig van Hortimare. *Ulva lactuca* komt uit een Oosterschelde populatie die vanaf 2010 onder geconditioneerde omstandigheden gecultiveerd wordt op Wageningen UR. *Chondrus crispus* werd in 2014 verzameld in de Oosterschelde. Het zeewiermateriaal werd in stukken van gemiddeld 5-10cm, op een onderlinge afstand van 10cm, tussen de lijnen gevlochten. De proeven zijn begin juni van 2014 geïnstalleerd op de Wierderij (door de weersomstandigheden is de proef laat in het seizoen gestart; fig. 11). Om de 2 weken werd de productie gemeten. De "flappen" aan de lijnen werden afgeknipt tot ca 10 cm van de lijn en gewogen op versgewicht. Voor de vertaling naar drooggewicht is gerekend met DW% van 15. Afhankelijk van de weersomstandigheden is het mogelijk dat de inspectie niet precies om de twee weken heeft kunnen plaatsvinden. Met name vanaf windkracht 5Bft en de daarmee gepaard gaande golven maken het niet mogelijk om met dit weer naar de "Wierderij" te varen.

Tabel 3: Behandelingen 2014

behandeling	Diepte (m)		
	1	2	3
1	<i>Ulva lactuca</i>	<i>Ulva lactuca</i>	<i>Ulva lactuca</i>
2	<i>Chondrus crispus</i>	<i>Chondrus crispus</i>	<i>Chondrus crispus</i>
3	<i>Ulva lactuca</i>	<i>Ulva lactuca</i>	<i>Chondrus crispus</i>
4	<i>Ulva lactuca</i>	<i>Chondrus crispus</i>	<i>Chondrus crispus</i>
5	<i>Ulva lactuca</i>	<i>Laminaria digitata</i>	<i>Chondrus crispus</i>
6	<i>Ulva lactuca</i>	<i>Chondrus crispus</i>	<i>Laminaria digitata</i>
7			<i>Chondrus crispus</i>
8	Horizontale lijn <i>Ulva lactuca</i>	Horizontale lijn <i>Ulva lactuca</i>	Horizontale lijn <i>Ulva lactuca</i>

Resultaten

Gedurende de zomerproeven in 2014 kon 4 keer van het *Ulva lactuca* materiaal geoogst worden. Figuur 12 laat voor de verschillende behandelingen de opbrengsten zien.

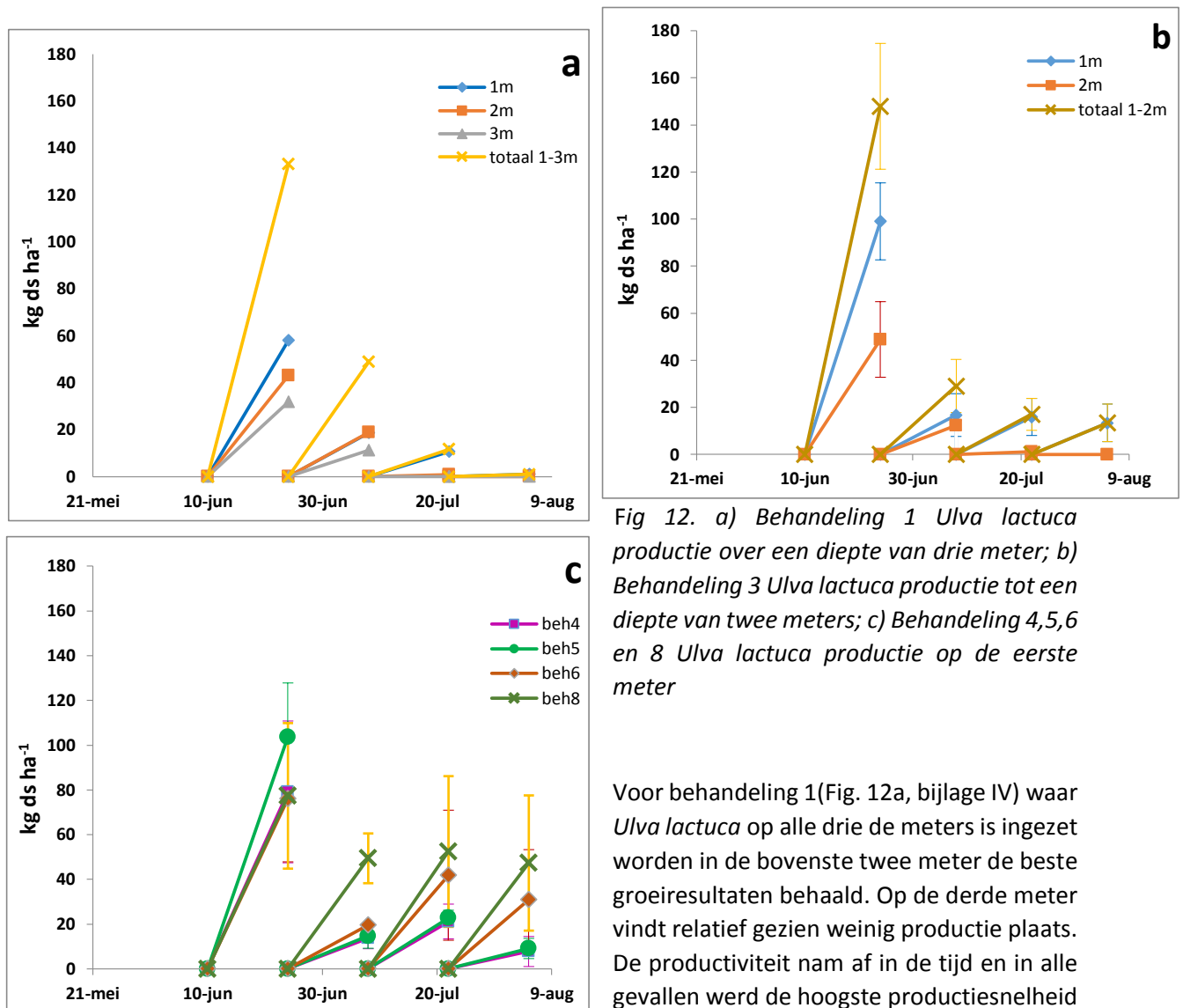


Fig 12. a) Behandeling 1 *Ulva lactuca* productie over een diepte van drie meter; b) Behandeling 3 *Ulva lactuca* productie tot een diepte van twee meters; c) Behandeling 4,5,6 en 8 *Ulva lactuca* productie op de eerste meter

Voor behandeling 1 (Fig. 12a, bijlage IV) waar *Ulva lactuca* op alle drie de meters is ingezet worden in de bovenste twee meter de beste groeieresultaten behaald. Op de derde meter vindt relatief gezien weinig productie plaats. De productiviteit nam af in de tijd en in alle gevallen werd de hoogste productiesnelheid in de bovenste meter gerealiseerd. Over de

periode van 10 juni t/m 24 juni is de hoogste productie waargenomen met $133 \text{ kg ds ha}^{-1}$. Over de drie daarop volgende periodes daalde de productie naar nagenoeg nul.

Behandeling 3 (Fig. 12b en bijlage IV), waar *Ulva lactuca* op de eerste twee meter is geteeld, laat net zoals bij behandeling 1 zien dat de beste groeieresultaten behaald worden op de eerste meter. In totaal werd er begin juni een productie van $147 \text{ kg ds ha}^{-1}$ gerealiseerd. In de daaropvolgende maanden wordt er slechts tussen de $13\text{-}29 \text{ kg ds ha}^{-1}$ aan productie gerealiseerd.

De behandelingen 4, 5, 6 en 8 (Fig. 12 c en bijlage IV) laten de *Ulva* groei op de eerste meter zien. Hierbij werd bij alle drie behandelingen op het eerste oogstmoment op 10 juni vergelijkbare biomassa hoeveelheden geoogst ($80\text{-}100 \text{ kg ds ha}^{-1}$). Zoals bij de eerdere behandelingen namen opbrengsten met de tijd af.

Behandeling 8 wat een horizontale lijn betreft met *Ulva* op een meter en op een waterdiepte van 0.5m liet een relatief gelijkmatige groei zien van gemiddeld 50 kg ds ha⁻¹ naast de gerealiseerde 80kg ds ha⁻¹ op het eerste oogstmoment.

Het roodwier *Chondrus crispus* werd voor het eerst geteeld op de “Wierderij”. Het teelsysteem aan lijnen bleek voor dit wier niet te werken. Het roodwier verkleurde snel groen stierf af en raakte los van de lijn op alle drie de dieptes. Het bruinwier *Laminaria digitata* liet ook geen groei zien. Het betreft een zeewier wat met name in de wintermaanden bij lage temperaturen en weinig lichtintensiteit groeit. Binnen deze proefopstelling werd gekeken of het wier ook in de zomer zou kunnen groeien mits het beschermt in diepere waterlagen wordt geïnstalleerd. Dit was echter niet het geval.

2.1.2 Conclusie

Uit alle uitgevoerde onderzoeken blijkt dat *Ulva lactuca* het beste groeit op de eerste meter van de waterkolom. Zoals reeds beschreven, is *Ulva lactuca* een groenwier en heeft deze veel licht nodig. Door zwevende deeltjes en andere organismen in het water kan licht snel tot een limiterende factor worden voor een optimale productie van het zeewier. Tijdens het eerste oogstmoment werden de hoogste productie cijfers behaald (133 kg ds ha⁻¹). Vervolg oogsten leverden minder opbrengst op. Een aanwijsbare reden hiervoor werd in eerste instantie niet gevonden.

Het telen van *Chondrus crispus* is gedurende zomermaanden niet gelukt. De teeltomstandigheden voor het wier bleken niet geschikt te zijn om groei te realiseren. Voor het ontwikkelen van een passend teeltsysteem zou een uitgebreide inventarisatie van teeltaspecten betreffende dit wier plaats moeten vinden.

Het teeltseizoen van *Laminaria digitata* kon niet verlengd worden door het wier te telen in diepere waterlagen. Het wier leek niet levensvatbaar onder de gekozen teeltomstandigheden. Onderzocht zou kunnen worden of *Undaria pinnatifida* (Wakame) in een meerlagig teeltsysteem geteeld kan worden. Van dit wier is bekend dat het bijna geheel het jaar groeit in de Oosterschelde. Het wier is niet meegenomen binnen het huidige onderzoek, omdat het tot op heden nog beschouwd wordt als exoot, ondanks dat het al sinds ruim 10 jaar in de Oosterschelde wordt aangetroffen. Het genoemde wier is uit economisch oogpunt erg interessant om te integreren in het teeltsysteem.



2.2 Zomerteelt Wierderij 2015

2.2.1 Proefopzet

In 2015 zijn wederom zomerproeven uitgevoerd. Ditmaal alleen met *Ulva lactuca* om te werken aan een optimale productie.

De *Ulva* is wederom op lijnen van 3m productielengte (materiaal: euroflex) geïnstalleerd met een onderlinge plantafstand van 10cm. De plantjes waren bij de start van het experiment 5-10cm in lengte. Er zijn op de “Wierderij” begin mei 28 lijnen opgehangen. Het uitgangsmateriaal is afkomstig van de Wageningen – UR Oosterschelde populatie van 2010. Productiebepaling is gelijk aan die van het 2014 experiment.

2.2.2 Resultaten

In onderstaande figuur wordt de gemiddelde productie per 3m weergegeven van in totaal 28 geïnstalleerde lijnen met *Ulva*. In 2015 hebben 3 oogstmomenten plaatsgevonden. Ook de oogst in 2015 laat zien dat op het eerste oogstmoment de biomassaproductie van *Ulva* het hoogst is met een productie van 2172kg ds ha⁻¹. In de daarop volgende periode neemt de biomassa productie af. Op oogstmoment 2 werd 912 kg ha ds ha⁻¹ geoogst. En op oogstmoment drie is dit nog maar 86 kg ds ha⁻¹ (Fig. 13, 14).

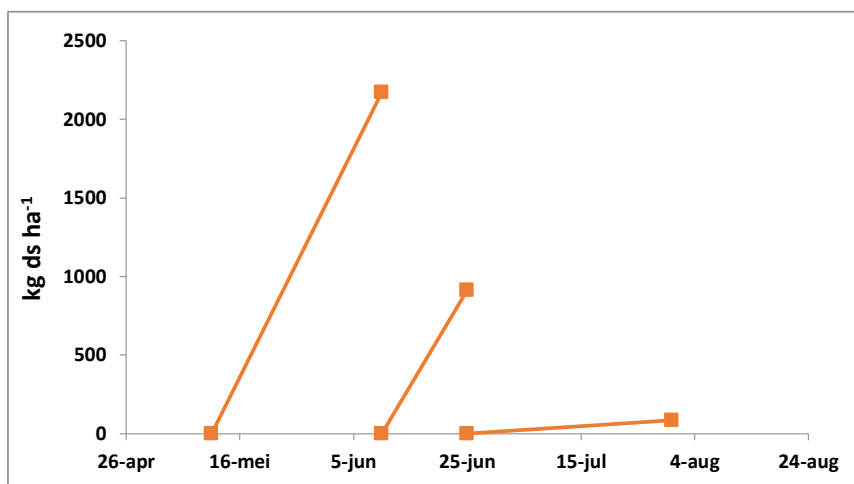


Fig. 13. *Ulva lactuca* opbrengst Wierderij 2015 over een totale diepte van 3 meter.



Fig. 14. *Ulva* “Wierderij” lijn 2015

2.2.3 Conclusie

In 2015 was de biomassa productie tijdens het eerste oogstmoment wederom hoger dan op daarop volgende oogstmomenten met een totale opbrengst van $2172 \text{ kg ds ha}^{-1}$.

Dat de productie in tijd afneemt zou een aanwijzing ervoor kunnen zijn dat er sprake is van veroudering van de plant. Omdat tijdens de oogsten niet de gehele lijn wordt geoogst en vervangen door een nieuwe lijn, maar de biomassa wordt afgeknip tot een lengte van de plant van 10cm kan er sprake zijn van veroudering van het uitgangsmateriaal. Hierdoor wordt in tijd steeds minder productie behaald. Verder onderzoek moet uitwijzen of deze aanname klopt.

2.3 Discussie zomerteelten

De *Ulva* productiviteit op de Wierderij lag in 2015 aanzienlijk hoger dan in 2014. De absolute groeisnelheid in juni 2014 komt op ca. $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$, terwijl deze in min of meer dezelfde periode 2015 een factor 7 hoger lag. Een verklaring hiervoor is moeilijk aan te geven. Plagen of ziekten die de aanleiding voor de lage productie in 2014 zouden kunnen zijn, zijn niet waargenomen.

Weliswaar zijn er spookkreeften medio juni waargenomen, maar schade door vraat kon niet worden waargenomen. Frappant was de daling in productiviteit over de experimentele periode in zowel 2014 als 2015. Dit is mogelijk te verklaren vanuit de experimentele aanpak. Voor de productie bepaling is aan het eind van iedere periode het plantmateriaal tot ca. 10 cm vanaf de lijn afgeknip. Lijn plus het overgebleven materiaal is weer teruggezet. M.a.w. hergroei vindt dan weer plaats aan het oorspronkelijke uitgangsmateriaal. Hierdoor zou er sprake kunnen zijn van een soort verouderingsproces, waardoor biomassa producties teruglopen.

Een aanwijzing hiervoor vinden we in experimenten die op land zijn uitgevoerd. Hierbij werd *Ulva lactuca* gedurende zomerperiode van 2015 gekweekt in bassins van 1m^3 . Het *Ulva* materiaal dreef los in het bassin en werd periodiek afgeoogst door de hele biomassa uit de bak te halen, te wegen en een deel terug te zetten. Deze oogsttechniek leidt ertoe dat er gevarieerd materiaal terug wordt gezet, waardoor een veroudering van de hele populatie wordt voorkomen. Binnen dit experiment was de groeisnelheid van *Ulva lactuca* aanzienlijk hoger dan op de Wierderij geteeld wier. Er werd een gemiddelde groeisnelheid van $460 \text{ kg ds ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ in de maand juli behaald (Zeeuwse Tong experiment, bijlage V) Gezien de proeven op land kleinschalig waren en slechts in 2-voud dienen deze enkel als

indicatie. Verder onderzoek moet uitwijzen of behaalde resultaten reproduceerbaar zijn en bovengenoemde aannames bevestigd kunnen worden.

Met het roodwier *Chondrus crispus* is geen groei gerealiseerd. Wat de oorzaak hiervoor is, is niet duidelijk. Nader onderzoek zou dit moeten uitwijzen. Hiernaast is het niet gelukt om bruinwieren gedurende zomerperiode te telen. Aannemelijk is dat de watertemperaturen gepaard met de hoge lichtintensiteit verantwoordelijk zijn voor het afsterven van de planten in een jong ontwikkelingsstadium.

2.4 Winterteelt Wierderij 2014

2.4.1 Proefopzet

Voor de winterteelt op de "Wierderij" is gebruik gemaakt van drie soorten zeewieren, *Laminaria digitata*, *Saccharina latissima* en *Chondrus crispus*. Het uitgangsmateriaal van de bruinwieren was afkomstig van Hortimare. De roodwieren zijn in het wild (Oosterschelde) verzameld. Identiek aan de zomerteelten is er een behandelingschema opgesteld waarbij elk zeewier op alle drie de meters is geteeld (tabel 4). Op de "Wierderij" werd elke behandeling in drievoud geïnstalleerd. In totaal zijn er 9 lijnen geïnstalleerd. De zaailijnen van de bruinwieren zijn om dickere touwen (euroflex) gewonden en gefixeerd. Het roodwier is met een grootte van 3-5cm tussen de lijnen gevlochten. De lijnen zijn eind november/ begin december geïnstalleerd op locatie. Waarnemingen aan het materiaal hebben maandelijks plaatsgevonden.

Tabel 4. Behandelingschema winterteelt 2014 "Wierderij"

behandeling	1m	2m	3m
1	<i>Saccharina latissima</i>	<i>Saccharina latissima</i>	<i>Saccharina latissima</i>
2	<i>Laminaria digitata</i>	<i>Laminaria digitata</i>	<i>Laminaria digitata</i>
3	<i>Chondrus crispus</i>	<i>Chondrus crispus</i>	<i>Chondrus crispus</i>

2.4.2 Resultaten

Saccharina latissima liet in het winterseizoen van 2013/2014 een totale biomassa productie zien van 15993 kg ds ha⁻¹, oftewel 15.9 t ds ha⁻¹. Van de totale opbrengst is het meest gerealiseerd op de eerste meter met een productie van 13395 kg ds ha⁻¹. Op 2 en 3 meter is maar weinig productie behaald. De productie op 2m bedraagt 2064 kg ds ha⁻¹. Op drie meter is dit 534 kg ds ha⁻¹ (Fig. 15 en tabel bijlage IV). De biomassaproductie is in een tijdsbestek van 5 maanden gerealiseerd.

Laminaria digitata liet een aanzienlijk lagere biomassa productie zien met slechts 4920 kg ds ha⁻¹ (4.9 t ds ha⁻¹).

De hoogste opbrengst werd behaald op de eerste meter met 4581 kg ds ha⁻¹. Op de tweede meter is slechts

339 kg ds ha⁻¹ geproduceerd en op de derde meter is helemaal geen biomassa productie behaald (Fig. 15 en tabel bijlage IV).

Het roodwier *Chondrus crispus* verkleurde binnen enkele weken groen-wit en stierf na een periode van twee maanden af. Het heeft gedurende twee maanden geen groei laten zien. Een aanwijzing voor het afsterven kon niet worden gevonden.

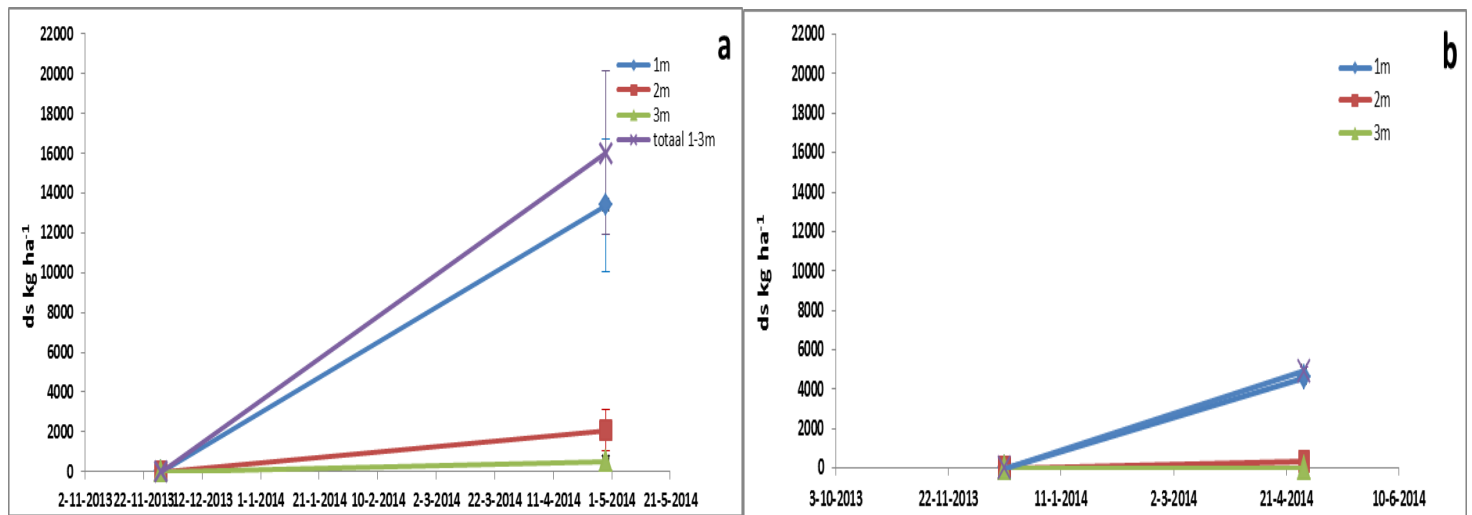


Fig. 15 a) Winterteelt Wierderij 2013-2014 *Saccharina latissima* per meter op verschillende diepten; b) Winterteelt Wierderij 2013-2014 *Laminaria digitata* per meter op verschillende diepten

2.4.3 Conclusie

Beide wieren lieten op de eerste meter de hoogste biomassa productie zien. De opbrengst daalde aanzienlijk op de tweede en derde meter. Hiernaast kon er naar verhouding, maar weinig biomassa gerealiseerd worden met *Laminaria digitata* (4.9 t ds ha⁻¹) ten opzichte van *Saccharina latissima* (15.9 t ds ha⁻¹).

Het roodwier *Chondrus crispus* heeft gedurende twee maanden geen groei laten zien. Een aanwijzing voor het afsterven kon niet worden gevonden. Hiervoor is nader onderzoek nodig.

2.5 Winterteelt 2015

2.5.1 Proefopzet

Voor het inzetten van de winterteelt 2015 werd gebruikt gemaakt van nieuwe touwen die afkomstig waren van een andere leverancier. Bij het maken van de *Saccharina* lijnen en de tijdelijke opslag van deze lijnen in een kuubsbak op het kassencomplex Nergena van Wageningen UR bleek dat het water troebel werd en er vond een aanzienlijke schuimvorming plaats. Daarnaast bleek dat kort na inzetten van een Wierderijproef eind 2014 alle planten van de lijnen verdwenen waren. Het vermoeden bestond dus dat er mogelijk sprake was van uitspoeling van toxische stoffen aanwezig in de touwen. Om een touweffect uit te sluiten is besloten om een experiment in te zetten waarin “oude touwen” (geen vertroebeling van het zeewater) en “nieuwe touwen” (wel vertroebeling) met elkaar zijn vergeleken, volgens de informatie in onderstaande tabel (5). De touwen zijn wel of niet gewaterd met zoetwater. Hierna zijn deze een dag in zoutwater (Oosterscheldewater gelegd) om een nadelig effect van zoetwater op de groei van de bruinwieren uit te sluiten. Hierna zijn de zaailijnen net zoals in de eerste proef om de lijnen gewonden en opgehangen op de Wierderij. De proef is eind januari/begin februari ingezet

Tabel 5. Behandelschema effect lijnen op de groei van bruinwieren

Wierderij	3	nieuw	gespoeld	<i>Saccharina latissima</i>
	3	nieuw	niet gespoeld	<i>Saccharina latissima</i>
	3	oud	gespoeld	<i>Saccharina latissima</i>
	3	oud	niet gespoeld	<i>Saccharina latissima</i>

2.5.2 Resultaten

De nieuwe lijnen die gespoeld zijn met zoetwater lieten in de teeltperiode van 2014/2015 een totale productie zien van 9482 kg ds ha⁻¹. De productie was het hoogst op de eerste twee meter (3475 kg ds ha⁻¹ en 4918 kg ds ha⁻¹). Op drie meter werd een biomassa productie van 1089 kg ds ha⁻¹ behaald (Fig. 16 en tabel bijlage IV).

De oude lijnen gespoeld met zoetwater lieten een totale productie van 14441 kg ds ha⁻¹ zien. Op de eerste meter werd er 8338 kg ds ha⁻¹ geproduceerd. Op twee meter daalde de productie naar 4882 kg ds ha⁻¹ en op drie meter werden slechts 1220 kg ds ha⁻¹ geproduceerd.

De nieuwe lijnen die niet behandeld zijn met zoetwater hebben een totale productie van 13281 kg ds ha⁻¹ laten zien. Ook bij deze behandeling neemt de productie in diepte af. Waar op de eerste meter nog 6756 kg ds ha⁻¹ geproduceerd werd, is dit op drie meter slechts 1679 kg ds ha⁻¹. De tweede meter laat een productie van 4846 kg ds ha⁻¹ zien.

Voor de oude lijnen die niet gespoeld zijn met zoetwater is een totale biomassa opbrengst van 15888 kg ds ha⁻¹ gerealiseerd. Op meter een is de opbrengst 11047 kg ds ha⁻¹. Daarentegen op meter twee 3711 kg ds ha⁻¹ en 1130 kg ds ha⁻¹ op een diepte van drie meter.

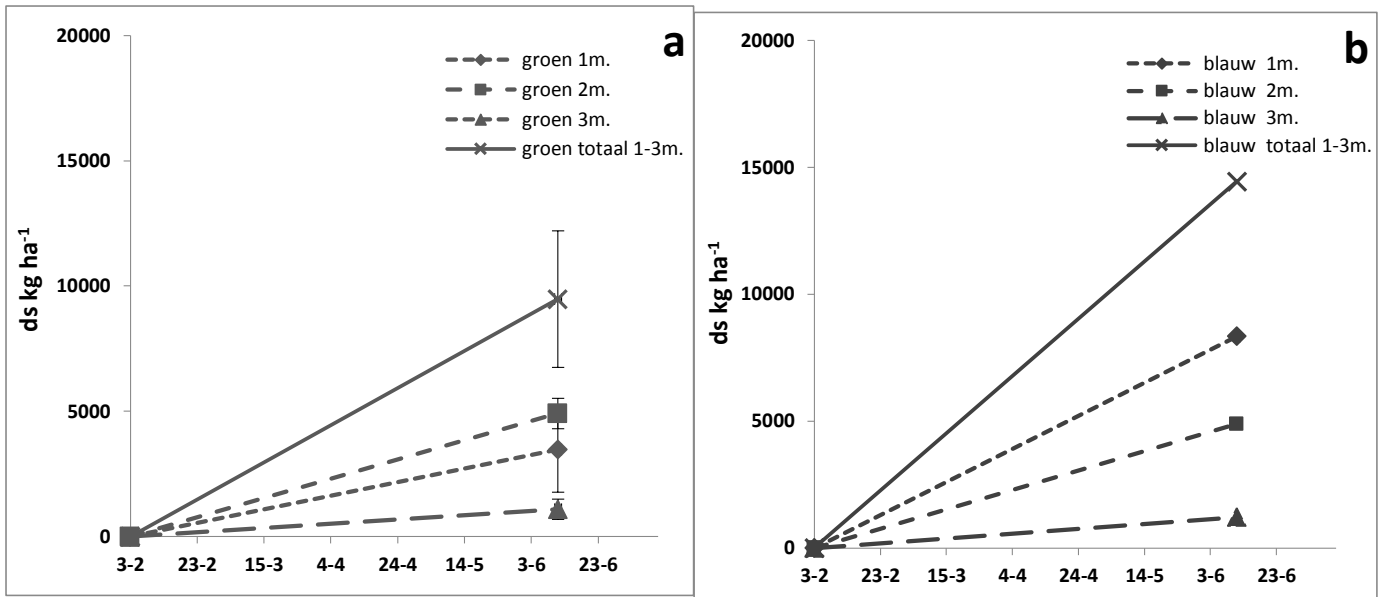
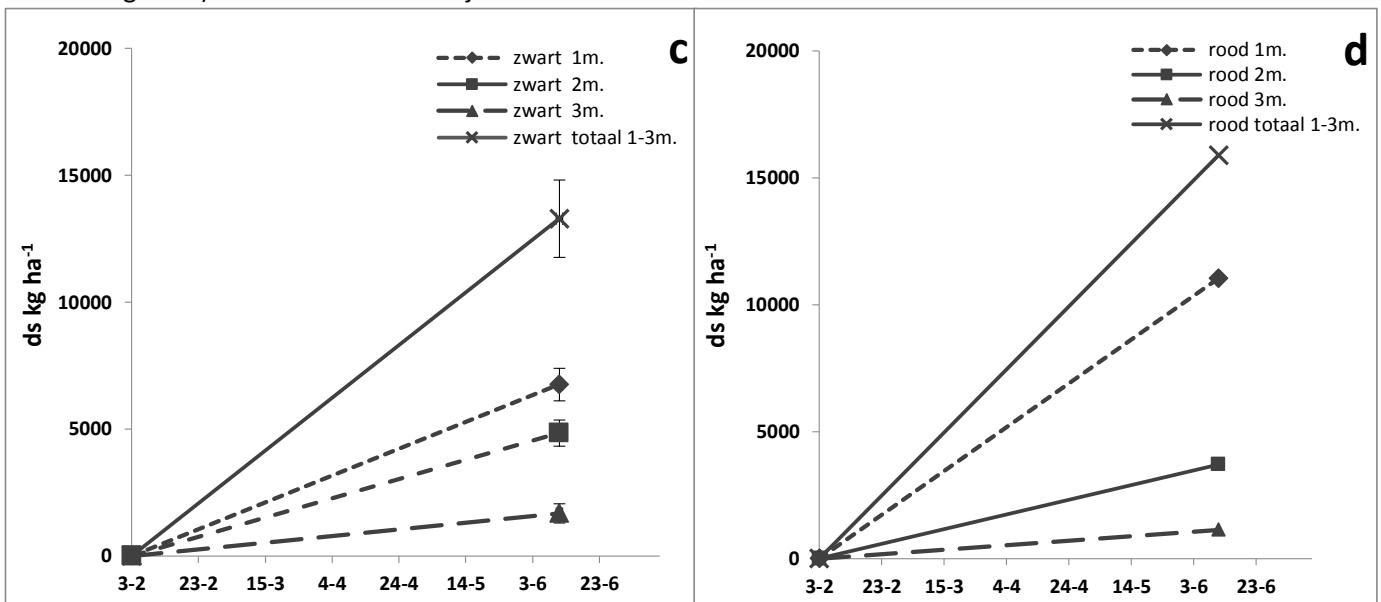


Fig. 16 a) Winterteelt Wierderij 2014-2015



Saccharina latissima op verschillende dieptes (nieuw gespoeld touw). b) Winterteelt Wierderij 2014-2015 *Saccharina latissima* op verschillende dieptes (oud gespoeld touw). c) Winterteelt Wierderij 2014-2015 *Saccharina latissima* op verschillende dieptes (niet gespoeld touw nieuw). d) Winterteelt Wierderij 2014-2015 *Saccharina latissima* op verschillende dieptes (niet gespoeld touw oud).

2.5.3 Conclusie

Uit de behaalde resultaten blijkt dat het behandelen van de touwen met zoetwater geen effect heeft op de opbrengst van *Saccharina latissima*. Beide touwen wel/ of niet gespoeld leverden vergelijkbare resultaten op. Een verklaring voor het verdwijnen van het zeewiermateriaal in het begin van de proeven kan niet worden gerelateerd aan het kweeksubstraat (touwen). De oude touwen die niet werden behandeld met zoetwater leveren de hoogste productie op met $15.8 \text{ t ds ha}^{-1}$. Productie cijfers voor het oude touw (wel gespoeld) en het nieuwe touw (niet gespoeld) liggen dicht bij elkaar met respectievelijk $14.4 \text{ t ds ha}^{-1}$ en $13.3 \text{ t ds ha}^{-1}$. Het nieuwe touw welk gespoeld werd met zoetwater leverde het minst aan biomassa op. Vraat zou een rol gespeeld kunnen hebben bij het verdwijnen van het zeewier in begin van het onderzoek, maar dit kan niet worden bevestigd aan de hand van de observaties die er zijn gedaan.

2.6 Discussie winterteelten

In zijn algemeenheid kan gesteld worden dat *Laminaria digitata* minder biomassa opbrengst laat zien dan *Saccharina latissima*. De totale opbrengst voor *Laminaria digitata* komt op 4.9 t ds ha^{-1} in 2013/2014. Voor *Saccharina latissima* is dit $15.9 \text{ kg ds ha}^{-1}$ in 2013/2014 en gemiddeld $13,2 \text{ t ds ha}^{-1}$, afhankelijk van de behandelingen ($9.4\text{--}15.8 \text{ t ds ha}^{-1}$) in 2015.

Naast de totale productie cijfers is er ook gekeken naar de absolute groeisnelheid per dag. Dit is gedaan middels *Saccharina latissima* als voorbeeld te gebruiken. De absolute groeisnelheid lag in 2014 met $120 \text{ kg ds ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ hoger dan in 2015 ($99 \text{ kg ds ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$). Op de eerste teeltmeter ligt de absolute groeisnelheid bij $88 \text{ kg ds ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ in 2014 ten opzichte van $52 \text{ kg ds ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ in 2015. Op de tweede meter is deze $14 \text{ kg ds ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ in 2014 ten opzichte van $37 \text{ kg ds ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ in 2015. Voor de derde meter is de absolute groeisnelheid per dag $4 \text{ kg ds ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ en in 2015 is deze $10 \text{ kg ds ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (Fig. 17). Voor *Laminaria* zijn er onvoldoende gegevens om de absolute groeisnelheid door de jaren heen te kunnen berekenen. Wel werd er in 2013/2014 een gemiddelde groeisnelheid van $37 \text{ kg ds ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ gerealiseerd.

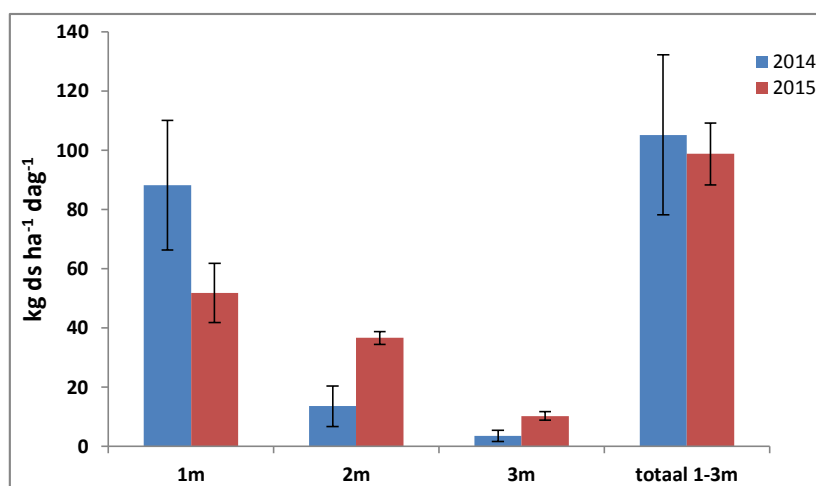


Fig. 17 : Absolute groeisnelheid per dag *Saccharina latissima* in de teeltperiode 2013/2014 en 2014/2015

Verder, hebben de experimenten in 2015 geen aanwijzing gegeven dat de verschillende touwen effect hebben op de biomassa opbrengst van *Saccharina latissima*. Zoals, reeds genoemd is niet duidelijk waarom de *Saccharina latissima* plantjes in eerste instantie niet groeiden en massaal afstierven. De door Arkema uitgevoerde chemische analyses op het touw bevestigen het onderzoeksresultaat van Wageningen UR.

Uit het onderzoek van Arkema blijkt dat het nieuwe touw 0,14% paraffine bevat. Verder aanwezig zijn octadecanol (stearylalcohol, ca. 7 ppm), hexadecaanzuur (palmitinezuur), 9-octadeceenzuur (oliezuur) en nog een onbekende piek met massa 662. De chromatogramen zijn de bijlage toegevoegd (bijlage VI). Het oude touw bevat ca 10ppm paraffine. Het oude touw bevat dus veel minder was dan naast paraffine alcoholen en vetzuren bevat. Deze laatste zouden ook nog wel eens afkomstig kunnen zijn van contaminatie door b.v. aanraking met de handen. De schuimlaag in de Nergena bak zou het resultaat kunnen zijn van was welke gedeeltelijk oplost in water. Een negatief effect van de was op de zeewiergroei is niet te verwachten.

Verder, heeft Arkema nog het oppervlaktewater in het bassin onderzocht. De hoeveelheid paraffine hierin ligt beneden het detectieniveau (< 0.5 ppm).

Vraat zou een rol gespeeld kunnen hebben bij het verdwijnen van het zeewier in het begin van het onderzoek, maar dit kan niet worden bevestigd aan de hand van de observaties die er zijn gedaan.

Het roodwier *Chondrus crispus* welke in de onderzoeksperiode 2013/2014 is geteeld verkleurde binnen enkele weken groen-wit en stierf na een periode van twee maanden af. Het heeft gedurende twee maanden geen groei laten zien. Een aanwijzing voor het afsterven kon niet worden gevonden. Nader onderzoek is noodzakelijk om meer inzicht te krijgen in de groeicycli van dit zeewier om een teeltmethode te kunnen ontwikkelen.

3. Zeewierproeven SPARK-UP

Zoals eerder beschreven in dit rapport is binnen de SPARK-UP proeven bij Arkema te Vlissingen een gelijke proefopzet toegepast dan voor de Wierderij. Voor de SPARK-UP proeven is gebruik gemaakt van Westerschelde water.

3.1 Zomerproeven SPARK-UP 2014 t/m 2015

3.1.1 Proefopzet

In 2014 werd voor de proef gebruik gemaakt van drie verschillende soorten zeewieren. *Ulva lactuca*, een groenwier is gekozen om in de bovenste waterlagen te telen gezien het een zeewier betreft dat veel licht nodig heeft. *Chondrus crispus* en *Laminaria digitata* zijn gekozen om in diepere waterlagen te telen gezien hun aanpassingen aan het milieu.

Omdat er nog geen teeltvaringen zijn met *Chondrus crispus* en het effect van *Chondrus crispus* op overige zeewieren niet bekend is, is er gekozen om met verschillende behandel scenario's te werken (tabel 6).

Er zijn per behandeling vijf lijnen geïnstalleerd op de SPARK-UP locatie (Fig. 19). Een lijn heeft een productielengte van 3m en bestaat uit gedraaid polyethyleen touw (euroflex). De lijnen zijn verticaal opgehangen. Jong uitgangsmateriaal van *Laminaria digitata* is afkomstig van Hortimare. *Ulva lactuca* komt uit een Oosterschelde populatie die vanaf 2010 onder geconditioneerde omstandigheden gecultiveerd wordt op Wageningen UR. *Chondrus crispus* werd in 2014 verzameld in de Oosterschelde. Het zeewiermateriaal werd in stukken van gemiddeld 5-10cm, op een onderlinge afstand van 10cm, tussen de lijnen gevlochten. De proeven zijn eind mei 2014 geïnstalleerd. Om de 2 weken werd de hoeveelheid biomassa gemeten. Hiernaast zijn er een aantal parameters gemeten, zoals nutriënten, watertemperatuur, saliniteit en licht. Een beschrijving van de parameters en de resultaten zijn te vinden in het hoofdstuk kwaliteit SPARK-UP bassin water (hoofdstuk 3.3).

Tabel 6. Behandelingen 2013/2014

behandeling	Diepte (m)		
	1	2	3
1	<i>Ulva lactuca</i>	<i>Ulva lactuca</i>	<i>Ulva lactuca</i>
2	<i>Chondrus crispus</i>	<i>Chondrus crispus</i>	<i>Chondrus crispus</i>
3	<i>Ulva lactuca</i>	<i>Ulva lactuca</i>	<i>Chondrus crispus</i>
4	<i>Ulva lactuca</i>	<i>Chondrus crispus</i>	<i>Chondrus crispus</i>
5	<i>Ulva lactuca</i>	<i>Laminaria digitata</i>	<i>Chondrus crispus</i>
6	<i>Ulva lactuca</i>	<i>Chondrus crispus</i>	<i>Laminaria digitata</i>
7			<i>Chondrus crispus</i>



Fig. 19. a) Constructie SPARK-UP; b) Voorbeeld van geïnstalleerde lijnen *Ulva lactuca*; c) Voorbeeld geïnstalleerde lijn *Chondrus crispus*

In 2015 zijn wederom zomerproeven uitgevoerd. Ditmaal alleen met *Ulva lactuca* om te werken aan een optimale productie.

De *Ulva* is wederom op lijnen van 3m productielengte (materiaal: euroflex) geïnstalleerd met een onderlinge plantafstand van 10cm. De plantjes waren bij de start van het experiment 5-10cm in lengte. Bij Arkema zijn er per blok 5 lijnen verticaal geïnstalleerd (totaal N=15). Het uitgangsmateriaal is afkomstig van de Wageningen – UR Oosterschelde populatie van 2010. Biomassa bepaling is gelijk aan die van het 2014 experiment.

3.1.2 Resultaten

Zomerteelt 2014

De groei van de zeewieren kwam niet op gang. *Ulva lactuca* bleef in leven, maar groeide niet ten opzichte van het uitgangsmateriaal. Het roodwier verkleurde groen/wit en stierf af. Enkele planten lieten los van de lijnen. Of dit voor- of na het afsterven van de plantjes heeft plaatsgevonden is niet duidelijk. Op stukken waar *Chondrus crispus* los heeft gelaten zijn nieuwe planten herplaatst. Maar ook dit heeft geen effect gehad op de groei van *Chondrus crispus*. *Laminaria digitata* verkleurde wit en stierf af.

Zomerteelt 2015

Ondanks de aanpassingen die uitgevoerd werden in het systeem (zie hoofdstuk 3.3) kon er geen groei gerealiseerd worden met *Ulva lactuca* anders dan op de Wierderij.

Ulva aan de lijnen stierf niet af, maar vertoonde geen enkele groei ten opzichte van het uitgangsmateriaal. Er zijn in 2015 tijdens de metingen veel draadwieren waargenomen in het bassin. Deze groeiden op de wanden van het bassin, op de PVC-constructies en op de teeltlijnen. Tijdens elke waarneming zijn de draadwieren zoveel mogelijk uit het teeltsysteem verwijderd. Toen dit niet voldoende bleek te zijn, zijn er vanaf eind mei extra controles uitgevoerd om zo veel mogelijk draadwieren te verwijderen uit het bassin. De Uv-behandeling bleek te werken voor de microalgen, maar had deze op de macroalgen geen effect.

3.2 Winterteelt SPARK-UP 2013/ 2014 en 2014/2015

3.2.1 Proefopzet

Winterteelt 2013/2014

Voor de winterteelt van de SPARK-UP proeven is gebruik gemaakt van drie soorten zeewieren, *Laminaria digitata*, *Saccharina latissima* en *Chondrus crispus*. Het uitgangsmateriaal van de bruinwieren was afkomstig van Hortimare. De roodwieren zijn in het wild (Oosterschelde) verzameld. Identiek aan de zomerteelten is er een behandelingschema opgesteld waarbij elk zeewier op alle drie de meters wordt geteeld (tabel 7).

Voor de proeven is gebruik gemaakt van 3 blokken. Per blok is de behandeling opgehangen in vijfvoud (Fig. 20). In totaal zijn er 135 lijnen opgehangen. De zaailijnen van de bruinwieren zijn om dikkere touwen (euroflex) gewonden en gefixeerd. Het roodwier is met een grootte van 3-5cm tussen de lijnen gevlochten. Lijnen zijn eind november/ begin december geïnstalleerd op de locaties. Maandelijks hebben er waarnemingen plaatsgevonden om de biomassa toename te beoordelen.

Tabel 7. Behandelingen 2014/2015

behandeling	1m	2m	3m
1	<i>Saccharina latissima</i>	<i>Saccharina latissima</i>	<i>Saccharina latissima</i>
2	<i>Laminaria digitata</i>	<i>Laminaria digitata</i>	<i>Laminaria digitata</i>
3	<i>Chondrus crispus</i>	<i>Chondrus crispus</i>	<i>Chondrus crispus</i>
4		<i>Saccharina latissima</i>	<i>Saccharina latissima</i>
5		<i>Laminaria digitata</i>	<i>Laminaria digitata</i>
6		<i>Chondrus crispus</i>	<i>Chondrus crispus</i>
7		<i>Saccharina latissima</i>	<i>Chondrus crispus</i>
8		<i>Laminaria digitata</i>	<i>Chondrus crispus</i>
9			<i>Chondrus crispus</i>



Fig. 20

Winterteelt 2014/2015

Voor het inzetten van de winterteelt 2015 werd gebruikt gemaakt van nieuwe touwen die afkomstig waren van een andere leverancier. Bij het maken van de *Saccharina* lijnen en de tijdelijke opslag van deze lijnen in een kuubsbak op het kassencomplex Nergena van Wageningen UR bleek dat het water troebel werd en er vond een aanzienlijke schuimvorming plaats. Daarnaast bleek dat kort na het inzetten van de proef eind 2014 alle planten van de lijnen verdwenen waren. Het vermoeden bestond dat er mogelijk sprake was van uitspoeling van toxische stoffen aanwezig in de touwen. Om een touweffect uit te sluiten is besloten om een experiment in te zetten waarin “oude touwen” (geen vertroebeling van het zeewater) en “nieuwe touwen” (wel vertroebeling) met elkaar zijn vergeleken, volgens de informatie in onderstaande tabel. De touwen zijn wel of niet gewaterd met zoetwater. Hierna zijn deze een dag in zoutwater (Oosterscheldewater gelegd) om een nadelig effect van zoetwater op de groei van de bruinwieren uit te sluiten. Hierna zijn de zaailijnen net zoals in de eerste proef om de lijnen gewonden en opgehangen op de SPARK-UP locatie. De proef is eind januari/begin februari ingezet

Tabel 8. Behandelschema effect lijnen op de groei van bruinwieren

Locatie	Aantal	Touw	Behandeling	Soort
Arkema	5	nieuw	gespoeld	<i>Saccharina latissima</i>
	5	oud	gespoeld	<i>Saccharina latissima</i>
	5	nieuw	gespoeld	<i>Laminaria digitata</i>
	5	nieuw	niet gespoeld	<i>Saccharina latissima</i>
	5	oud	niet gespoeld	<i>Saccharina latissima</i>
	5	oud	niet gespoeld	<i>Laminaria digitata</i>
	5	nieuw	niet gespoeld	<i>Laminaria digitata</i>
	5	oud	gespoeld	<i>Laminaria digitata</i>
	5	nieuw	gespoeld	<i>Laminaria digitata</i>

3.2.2 Resultaten

Winterteelt 2013/2014

Tijdens de eerste waarneming in december kon geen ontwikkeling van de zeewieren waargenomen worden. In de erop volgende twee maanden ontwikkelden zich enkele *Saccharina latissima* en *Laminaria digitata* sporen verder tot plantjes (Fig. 21). Deze bleven echter laag in groei (0.5-1cm). Tijdens hetzelfde waarnemingsmoment op de “Wierderij” waren zeewier plantjes gemiddeld 5-10cm in lengte. Ook in de maanden daarna werd geen productie waargenomen. De plantjes die waren opgekomen verkleurden van donkerbruin naar wit en stierven uiteindelijk af.

Het roodwier *Chondrus crispus* liet geen enkel groei zien en verkleurde naar 2 -3 maanden groen en stierven vervolgens af. Een algemene discussie van mogelijke oorzaken vind plaats in hoofdstuk 3.3.



Fig. 21. Bruinwierteelt SPARK-UP

Bruinwierteelt “Wierderij”

Winterteelt 2014/2015

Bij Arkema kon wederom geen productie behaald worden. Ongeacht de behandeling groeiden de planten niet. Door het toenemen van concurrentiedruk in het bassin, voornamelijk door draadwieren die op de lijnen gingen zitten kwam er geen licht meer naar de jonge zeewierplantjes. Ongeacht het feit dat de lijnen tijdens elke waarneming en tijdens de extra controles schoon werden gemaakt konden de jonge plantjes niet doorzetten. Een algemene discussie van mogelijke oorzaken vind plaats in hoofdstuk 3.3.

3.3 Kwaliteit SPARK-UP bassin water

3.3.1 Stromingssnelheid

De stromingssnelheid van het water in het bassin is in het begin van het onderzoek vergeleken met de stromingssnelheid van het water op de Wierderij. Hieruit bleek dat de stromingssnelheid in het bassinwater op enkele locaties een factor tien hoger was dan op de Wierderij. Door het installeren van een frequentieregelaar kon de stromingssnelheid naar beneden bijgesteld worden. Hiernaast stroomde het water in de buitenbochten van het bassin harder dan aan de binnenzijde van het bassin (ter hoogte van de scheidingsmuur; Fig. 22). Gezien de constructie van het bassin was het niet mogelijk om deze effecten te elimineren. Overwogen werd om de propeller de andere kant op te laten draaien, maar technisch gezien bleek dit niet haalbaar. Gezien op alle locaties in het bassin geen zeewiergroei behaald kon worden is een effect van de stromingssnelheid op de groei van de zeewieren uitgesloten.

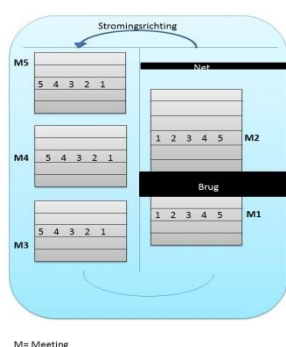


Fig. 22. Meetpunten stromingssnelheid SPARK-UP bassin.

3.3.2 Nutriënten

Al snel na de operationalisering van het bassin bleek dat de stikstof- en fosfaatconcentraties in het bassin daalden (Fig. 7). Als gevolg van de daling is besloten om met een bemesting te starten. Hiervoor zijn wekelijks monsters van het water geanalyseerd door het lab van Arkema. Wanneer nodig is de bemesting bijgesteld (Fig. 23/24). Voor N-totaal is een maximale concentratie van 5mg/l aangehouden en voor P-totaal een maximale concentratie van 0.27mg/l. Deze waarden zijn gebaseerd op de wettelijke voorschriften voor de lozingsnormen. Extra bemesting leidde tot een explosieve groei van microalgengroei in het bassin, met waarschijnlijk als gevolg een sterke concurrentie om nutriënten tussen de microalgen en de zeewieren. Daarnaast leidde deze algengroei waarschijnlijk tot een grote concurrentie om licht in de waterkolom.

Om deze nadelige concurrentie effecten uit te schakelen is er succesvol een groot UV filter/pomp systeem geïnstalleerd waarmee de algen gedood konden worden. De Uv-filter/pomp is regelmatig gedurende onderzoeksperiode schoongemaakt en is er door Arkema een sterkere rondpomp aangeschaft om de capaciteit van 40m³/h naar 100m³/h op te voeren. Hiernaast heeft er nog eenmalig een waterverversing plaatsgevonden van het hele SPARK-UP bassin. Hiervoor is een leiding aangelegd door Arkema.

In de loop van de onderzoeksperiode zijn er naast microalgen ook andere wieren (macroalgen) gaan groeien in het bassin. De macroalgen konden onvoldoende door de Uv-filter/pomp verwijderd worden, omdat een keer gehecht aan de teeltsystemen de wieren niet meer langs de Uv-filter/pomp stroomden en zo ongehinderd konden groeien. Gedurende de onderzoeksperiode zijn deze, zover mogelijk, handmatig uit het water gehaald om de concurrentiedruk te verlagen. Omdat, er niet alle plekken handmatig bereikt konden worden, bleven de macroalgen groeien. Met een constante bemesting werd het N/P niveau op pijl gehouden, om te voorkomen dat er een limitatie aan voedingsstoffen zou ontstaan voor de teeltsoorten. Aanvullend zijn er kleinschalige proeven uitgevoerd met Oosterscheldewater vs. Westerscheldewater en SPARK-UP bassin water met betrekking tot de nutriënten in het kassacomplex van Wageningen (Nergena). De resultaten van deze proeven zijn in hoofdstuk 4 nader beschreven.

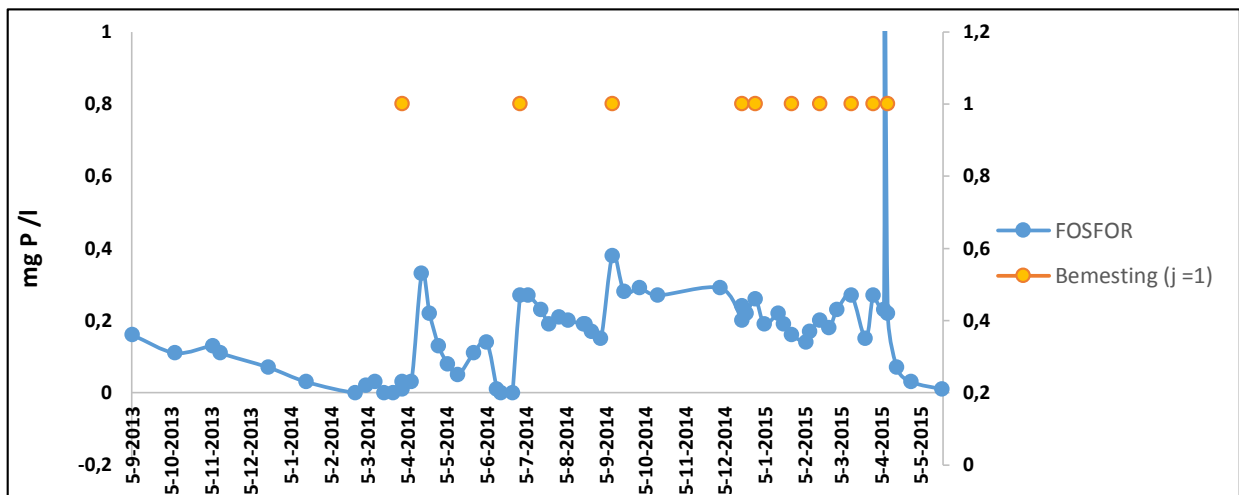


Fig. 23. P-concentratie SPARK-UP bassin water met bemestingseenheden

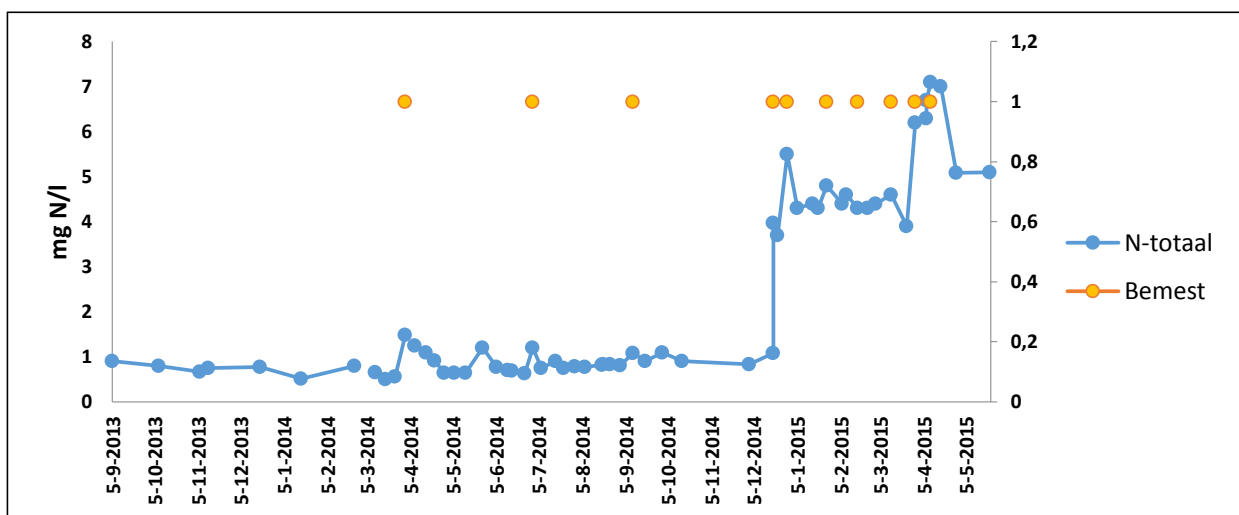


Fig. 24. N-concentratie SPARK-UP bassin water met bemestingseenheden

3.3.3 Temperatuur en Saliniteit

De temperatuur en de saliniteit werden gedurende onderzoeksperiode gevolgd. Hiervoor werd met name gebruik gemaakt van de meetpunten van Rijkswaterstaat. De watertemperatuur in het SPARK-UP bassin werd met een multimeter periodiek gemeten. Voor een uitgebreide beschrijving zie hoofdstuk 1.

De temperatuur gemeten tijdens de onderzoeksperiode blijkt voor de Westerscheldewater en Oosterscheldewater overeen te komen. De temperaturen liggen afhankelijk van het seizoen gemiddeld tussen de 7-19°C. De gemeten watertemperatuur in het bassin komt iets boven het gemiddelde uit. Met name in de zomermaanden kan de temperatuur in het bassin oplopen tot 21°C. Voor de winterperiode zijn de temperaturen in het SPARK-UP bassin vergelijkbaar met de data van Rijkswaterstaat voor de Ooster- en Westerschelde.

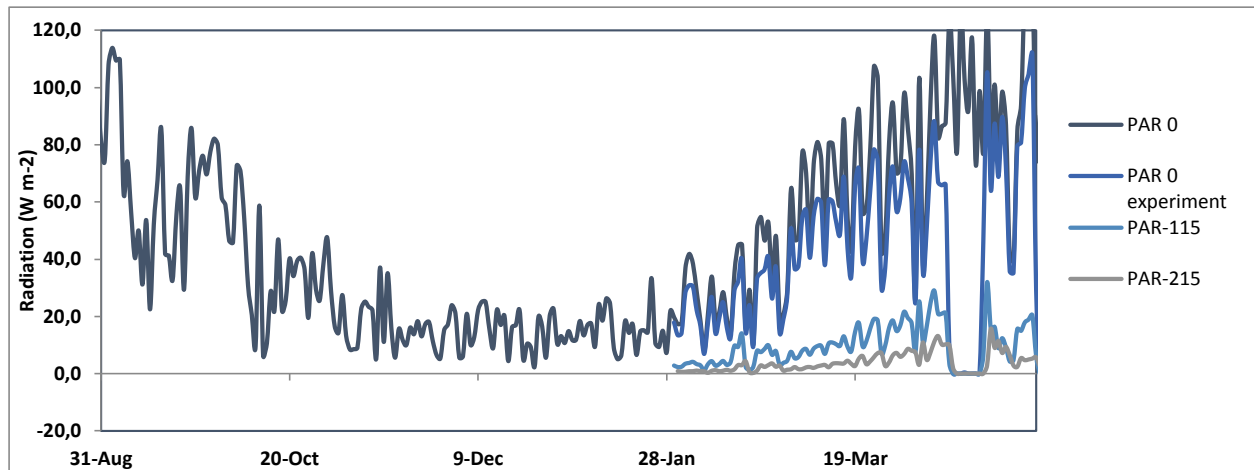
De saliniteit van de meetpunten gebruikt door Rijkswaterstaat liggen gemiddeld bij 33‰ door de jaren heen. De gemeten waarden in het bassin liggen gemiddeld bij 25‰. Het verschil ontstaat doordat het meetpunt voor de Westerschelde van Rijkswaterstaat ver buitengaats ligt en voor een groot deel onder invloed staat van Noordzeewater met een saliniteit bekend van zeewater (32-35‰). Daarentegen, is het water voor de SPARK-UP proeven verder landinwaarts verzameld, waar het Westerscheldewater onder invloed staat van de rivier de Schelde. Hierdoor daalt het zoutgehalte aanzienlijk. Het zoutgehalte in de Westerschelde variëren binnengaats tussen de 9-29‰ (Stichting Anemoon).

Gezien de verzamelde temperatuurdata lijkt deze geen negatieve effect te hebben op de groei van de zeewieren in het SPARK-UP bassin. Daarentegen is het verschil in saliniteit behoorlijk tussen SPARK-UP bassin water en Oosterscheldewater. Een effect van een laag zoutgehalte op de groei van de zeewieren kan niet worden uitgesloten. Binnen de Aquariumproeven wordt gekeken wat het effect van de verschillende zoutgehalten op de groei van de zeewieren is (hoofdstuk 4).

3.3.4 Licht

Licht is een belangrijke factor voor de groei van zeewieren. Het PAR (Photosynthetically Active Radiation) licht is voor planten essentieel en omvat een bereik van 400-700nm. Binnen dit onderzoek zijn PAR-meters aangeschaft om het lichtprofiel in een zeewiervegetatie te meten. Begin 2014 waren de lichtsensoren operationeel. Eind 2014 hebben technische problemen ervoor gezorgd dat er in het vervolg van het project geen PAR data meer verzameld kon worden.

Begin 2014 zijn lichtmetingen in het bassin uitgevoerd: vlak boven het wateroppervlak en op 1, 2 en 3 meter diepte. De verzamelde data zijn vergeleken met data van het KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut) voor een meetpunt bij Vlissingen. Hieruit blijkt dat de hoeveelheid licht voor beide locaties vergelijkbaar zijn (PAR0-KNMI en PAR0-experiment; Fig. 25). Over de diepte neemt de lichtintensiteit exponentieel af (Fig. 26). Begin maart 2014 is het Uv filter in gebruik genomen met als gevolg een lagere lichtabsorptie door microalgen en dus een hogere lichtintensiteit op een gegeven diepte. De licht profielen zijn zodanig dat tot op 2 meter diepte groei van de verschillende wieren



verwacht mag worden. Gebrek aan licht over de kolom is dus geen factor die de zeer geringe groei in het bassin zou kunnen verklaren.

Fig 25. : PAR instraling in Vlissingen (KNMI) en in het SPARK-UP bassin en op verschillende waterdieptes (PAR 0 experiment=meetpunt boven water SPARK-UP bassin; PAR-115 = meetpunt op 1m waterdiepte SPARK-UP bassin; PAR-215 = meetpunt op 2m waterdiepte SPARK-UP bassin en PAR-315 = meetpunt op 3m waterdiepte SPARK-UP bassin

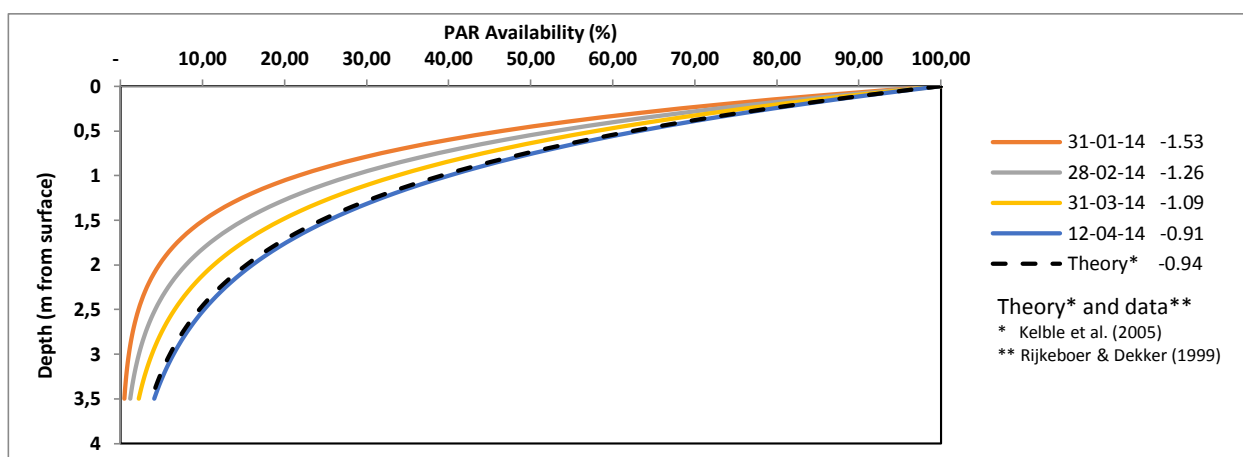


Fig. 26. Lichtuitdoving over de diepte in afwezigheid van zeewier

3.3.5 Zware metalen

In het begin van het onderzoek zijn tijdens de nutriëntenanalyses ook een aantal zware metalen geanalyseerd (tabel 9).

Voor de metalen waar de concentratie op een van de locaties boven de aantoonbaarheidsgrens ligt is in de literatuur gezocht naar een mogelijk schadelijk effect op de groei van de zeewieren.

Uit tabel 9 blijkt dat de concentraties voor As voor beide locaties (SPARK_UP bassin en Wierderij) boven de aantoonbaarheidsgrens liggen. Hiernaast liggen de concentraties van Cd, Zn en Mn voor het SPARK-UP bassin water boven de aantoonbaarheidsgrens. Voor deze elementen is in de literatuur gezocht naar effecten op de groei van de zeewieren. Helaas, kon er maar weinig bruikbare literatuur over dit onderwerp gevonden worden. Voor Mn en As kon geen enkele data gevonden worden met betrekking tot toxische effecten op de zeewiergroei. Voor Zn zijn er gegevens over *Ulva lactuca* gevonden en voor Cd over *Laminaria saccharina*.

Filho et al. (1996) heeft zes verschillende soorten zeewieren waaronder *Ulva lactuca* blootgesteld aan verschillende concentraties Zn. Hieruit bleek een concentratie hoger dan 1000 µg/l Zn gedurende 21 dagen letaal te zijn voor Ulva. Groeiremming wordt echter al bij een concentratie van 20 µg/l gevonden. Gutknecht (1961) beschrijft in zijn onderzoek met *Ulva lactuca* dat de fotosynthese activiteit met 25% daalt bij een Zn concentratie van 1400µg/l.

Hiernaast beschrijven beide onderzoeken dat de accumulatie van Zn afhankelijk is van de pH en de temperatuur. Bij een lage temperatuur (2°C) is de opnamecapaciteit van Zn minder dan bij een temperatuur rond de 20 °C. Met mate de pH toeneemt stijgt de accumulatie capaciteit van Zn in *Ulva lactuca*. Als voorbeeld is in het artikel van Gutknecht (1961) beschreven dat bij een pH van 8 de accumulatie twee keer zo hoog is dan bij een pH van 7. Bij een pH van 9 is dit drie keer zoveel dan bij een pH van 8.

In het SPARK-UP bassinwater werd een concentratie Zn van 1160 en 1450 µg/l waargenomen (in de tabel aangegeven in mg/l) tijdens de metingen in november 2013 en januari 2014. Een concentratie die hoger ligt dan Filho et al. in zijn onderzoek beschrijft. Hiernaast hebben er nog bemonsteringen plaatsgevonden in mei, juni, juli en in september van 2014. Uit de analyses blijkt dat de concentraties Zn rond de 80 µg/l lagen en in september werd slechts 10 µg/l Zn aangetroffen in de monsters. Hiernaast heeft er een bemonstering van zeewiermateriaal en diatomeeën plaatsgevonden die als concurrenten in het SPARK-UP bassin groeiden. Er is eenmalig een analyse uitgevoerd met *Ulva intestinalis* materiaal uit het SPARK-UP bassin op zinkgehalte, waaruit bleek dat deze met 9000mg/kg erg hoog ligt (Eurofins; ICP-MS). Voor het diatomeeën monster uit het SPARK-UP bassin zijn zink concentraties van 10.200mg/kg aangetroffen (Nutrilab; ICP-OES). De gehalten aan zink in de diatomeeën zijn vergeleken met een monster aan diatomeeën verzamelt in de Westerschelde, locatie Vlissingen. Uit deze bemonstering blijkt dat de gehalte aan Zn met 230mg/kg voor de diatomeeën verzamelt in Westerscheldewater lager ligt dan de gehalten aan Zn in diatomeeën uit het SPARK-UP bassin. Maar ook voor de in het wild verzamelde diatomeeën in de Westerschelde liggen Zn gehalten boven het toxische niveau. Nader onderzoek zou uit moeten wijzen of er een significant verband is tussen het zink gehalte en de zeewiergroei in het SPARK-UP bassin.

In een ander onderzoek van Markham et al. uit 1980 over cadmium effecten op de groei van *Laminaria saccharina* blijkt dat bij een concentratie van 300 µg/l Cd de groei negatief wordt beïnvloed, de groei neemt met 50% af bij een concentratie van 800 µg/l en is letaal bij een concentratie van 4500 µg/l binnen een tijdsbestek van 6 dagen. De Cd- concentraties in het SPARK-UP bassin lagen voor de meetmomenten op 0.236 en 0.231 µg/l dus beneden de groeiremmend concentraties die genoemd worden in het onderzoek van Markham et al.

Hiernaast, is er mogelijk nog een andere belangrijk effect, het effect van saliniteit op de opnamecapaciteit van zware metalen in het organisme (in dit geval zeewier).

Voor Cd werd in een onderzoek van Bryan (1985) aangetoond dat een lage saliniteit de opnamecapaciteit en de toxiciteit van Cd in *Fucus vesiculosus* verhoogde. Voor Zn kon dit echter niet worden bevestigd (Markham et al. 1980).

Aan de hand van de voorbeelden blijkt dat zware metalen, maar ook de combinatie met saliniteit, temperatuur en pH degelijk de groei van zeewieren kunnen beïnvloeden. Of de zware metalen een rol hebben gespeeld bij de negatieve groei van de zeewieren in het SPARK-UP project is niet met zekerheid vast te stellen. Meer onderzoek op dit gebied is noodzakelijk.

Tabel 9. Wateranalyses –zware metalen-. Voor de grijsgekleurde geldt dat waardes boven de detectiegrens liggen.

Monster-	Cr	Ni	Pb	As	Cd	Zn	Mn
omschrijving	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l
aantoonbaarheidsgrens	0.5	1.2	0.4	0.3	0.06	0.02	0.01
nov. 2013 Spark-up	0.151	1.14	0	1.87	0.236	1.45	0.112
dec. 2013 Wierderij Ref.	-0.05	-0.64	-0.1	1.62	0.072	0.061	0.002
dec. 2013 Wierderij module1	0.01	0.04	-0.1	1.6	0.01	-0.015	0.002
jan.2014 Spark-up	0.129	2.37	0.06	1.24	0.231	1.16	0.077
jan. 2014 Wierderij module2	0.13	0.03	-0.04	1.7	0.01	-0.009	0.005
jan. 2014 Wierderij Ref.	0.01	-0.48	-0.06	1.49	0.05	0.015	0.006

3.3.6 Overige

pH

Gedurende onderzoeksperiode is tijdens de analyses van de watermonsters gebleken dat er pH schommelingen in het SPARK-UP bassin optraden. De concentraties konden tijdelijk oplopen tot een pH van 9. Hiervoor is wanneer nodig gecorrigeerd door HCL in de juiste verhouding toe te voegen aan het bassin. In het vervolg hebben er kolvenproeven plaatsgevonden.

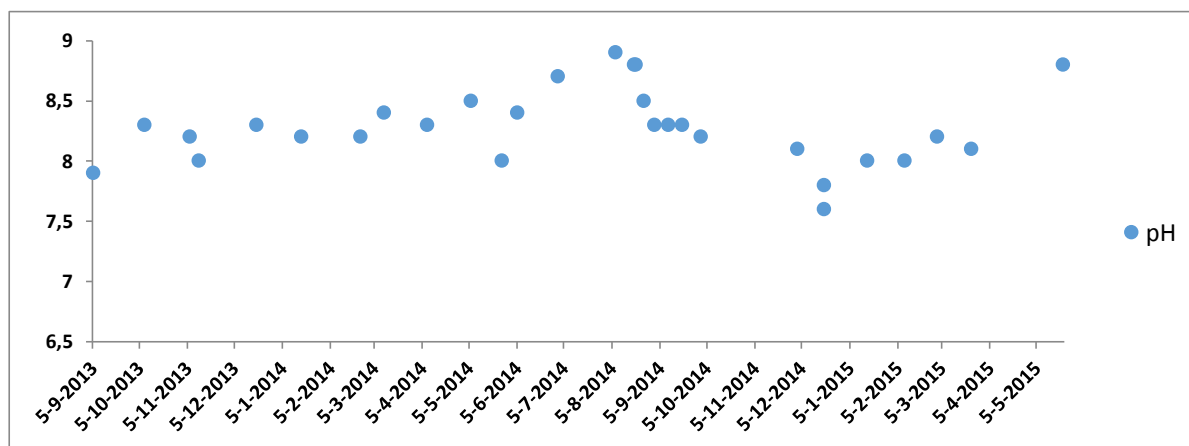


Fig. 27. pH meeting SPARK-UP bassin in de onderzoeksperiode 2013/2015.

Beton- SPARK-UP bassin

Door Arkema is ook naar toxische bestanddelen in de betonmuren van het SPARK-UP bassin gezocht. Dit onderzoek heeft als resultaat geen toxische bestanddelen opgeleverd.

Op basis van deze bevindingen zijn tussentijds een aantal kleinschalige experimenten gestart in het kassencomplex Nergena van Wageningen UR. Gezien de tijdsdruk en de beschikbare ruimte konden sommige experimenten slechts in enkelvoud uitgevoerd worden (hoofdstuk 4)

4. Aquarium en Kolvenproeven Laboratorium Nergena

4.1 Aquariumproef 1 Groeirespons *Saccharina latissima* met water van verschillende herkomst

4.1.1 Proefopzet

Gezien de slechte groei van *Saccharina latissima* en *Laminaria digitata* in het Arkema bassin (gevuld met water afkomstig uit de Westerschelde) is er besloten een aantal kleinschalige experimenten uit te voeren om erachter te komen waardoor de *Saccharina* en *Laminaria* slechter groeien op de Arkema locatie ten opzichte van de Oosterschelde locatie (in het vervolg “de Wierderij” genoemd).

In Wageningen hebben we tien aquaria van elk 150 liter tot onze beschikking (Fig. 28a,b). Zes aquaria worden gebruikt voor de experimenten. Om randeffecten te voorkomen, worden de vier randaquaria niet in het experiment meegenomen. *Laminaria* en *Saccharina* zijn verwante zeewieren die in gelijke mate zullen reageren op veranderingen in het milieu. Gezien de onderzoeksfaciliteiten is er gekozen om het experiment uit te voeren met *Saccharina latissima*, als modelorganisme. Dit bruinwier vertoont in het bassin bij Arkema een groeiachterstand t.o.v. hetzelfde wier opgekweekt op “de Wierderij”. Tevens vertonen de *Saccharina* planten in het Arkema bassin een wit verkleuring.

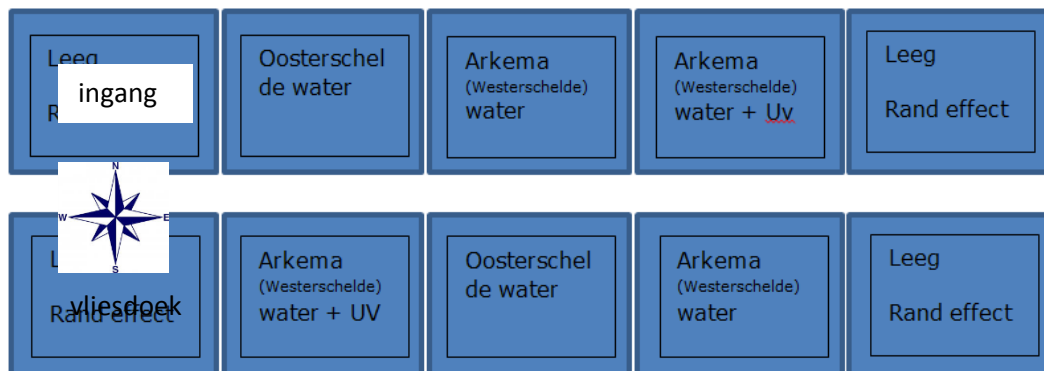


Fig. 28a Schematische proefopstelling



Fig. 28b. Proefopstelling aquaria Nergena

Voor het experiment zijn twee typen water gebruikt, Oosterschelde water en Westerscheldewater afkomstig uit het Arkema bassin. Het Oosterschelde water wordt al gedurende vier jaar zonder problemen gebruikt voor de experimenten op de proeflocatie Nergena in Wageningen. Het Arkema bassin is gevuld met water afkomstig uit de Westerschelde. De condities binnen de experimentele ruimte worden zo goed mogelijk constant gehouden. Watertemperatuur (10 ± 0.3 °C); saliniteit Oosterschelde 32‰, Arkema bassin 25‰. Ieder aquarium werd voorzien van een beluchtingspomp. In het Arkema bassin wordt het water door een UV- filter gepompt om algengroei tegen te gaan. Deze behandeling is ook meegenomen in het Nergena experiment.

Het uitgangsmateriaal is verzameld op “de Wierderij”. Er zijn planten van 10-30cm geselecteerd en per 3 stuks op lijnen gezet (afbeelding). De lijnen zijn in duplo opgehangen, resulterend in 6 planten per aquarium (afbeelding). Over een periode van 9 dagen is de lengte toename gemeten. Tevens is de vitaliteit van de *Saccharina* planten visueel beoordeeld.



Fig. 29. *Saccharina* materiaal afkomstig van “de Wierderij”

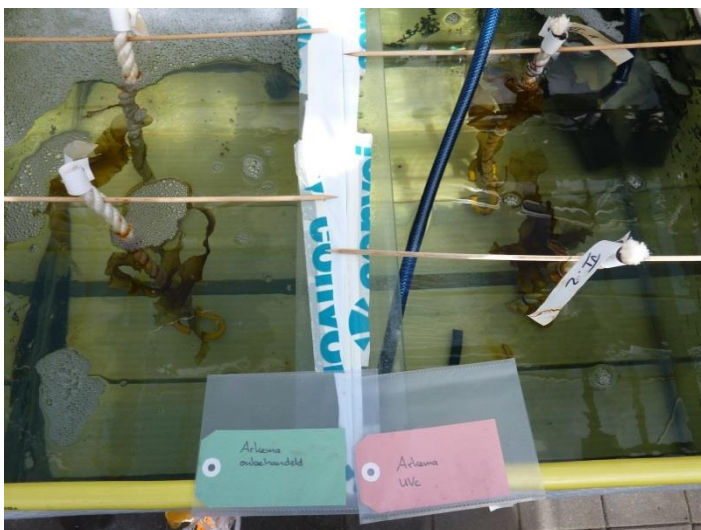


Fig. 30. Lijnen in de aquaria

4.1.2 Resultaten

4.1.2.1 Waterkwaliteit

Fig. 31 laat duidelijk het verschil in kleur van Oosterscheldewater vs. Arkema bassin water te zien. Het Oosterscheldewater (links) is helder van kleur. Het water afkomstig uit het bassin (rechts) is groen van kleur. Water afkomstig uit het bassin en behandeld met UV werd na enkele dagen helderder.

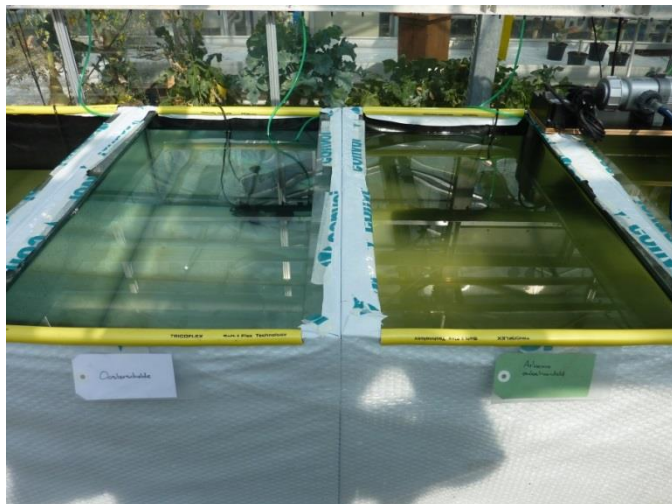


Fig. 31. links Oosterscheldewater; rechts bassin water Arkema

4.1.2.2 Groei

Aan de hand van de lengte toename over een periode van 9 dagen is de relatieve groeisnelheid (RGR) uitgerekend met formule II.

$$\text{Formule II: } RGR = (\ln(\text{lengte } t1) - \ln(\text{lengte } t0)) / (t1 - t0)$$

De eenheid van RGR is dag^{-1} of terwijl de lengte toename per dag per eenheid aanwezige lengte.

Uit de waarnemingen na 9 dagen blijkt dat de *Saccharina* in Oosterschelde water sneller groeide dan de *Saccharina* in water afkomstig uit het Arkema bassin. *Saccharina* opgekweekt in Oosterscheldewater is gemiddeld 5.4 cm in lengte toegenomen, terwijl *Saccharina* opgekweekt in water afkomstig uit het bassin van Arkema met slechts 2.8 cm in lengte is toegenomen. *Saccharina* opgekweekt in UV behandeld bassin water zit hier met een lengte groei van 3.9 cm. tussen in (Fig. 32 en bijlage VII).

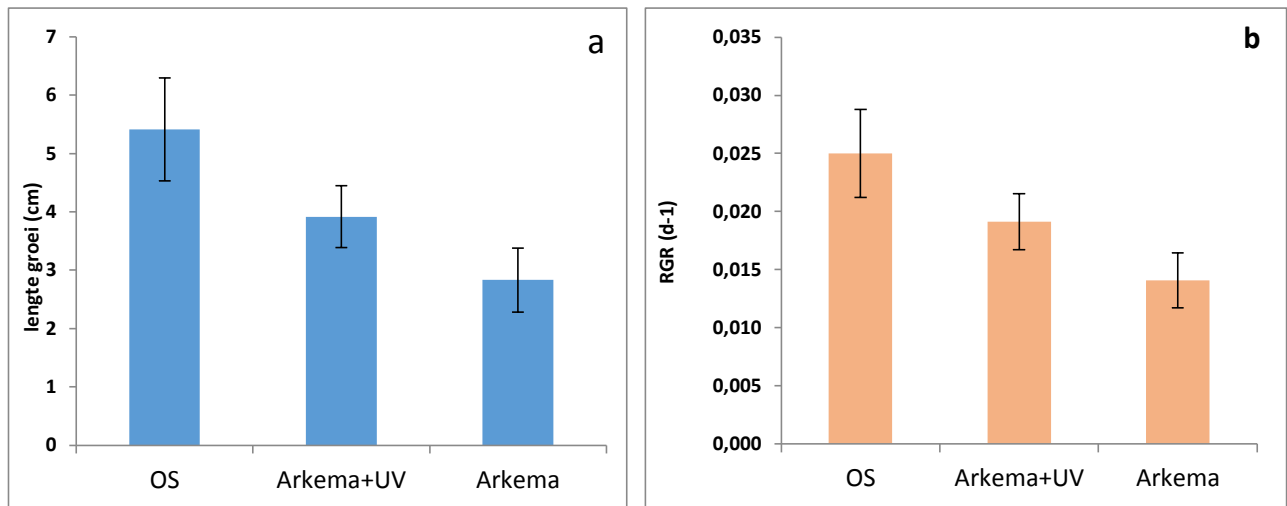


Fig. 32. a) Gemiddelde lengtegroei ($\pm$ se) *Saccharina latissima* in water afkomstig uit Oosterschelde en Arkema bassin; b) Gemiddelde RGR ($\pm$ se) *Saccharina latissima* in water afkomstig uit Oosterschelde en Arkema bassin

4.1.2.3 Kwaliteit materiaal

Gedurende het experiment bleek dat de *Saccharina* planten opgekweekt in water afkomstig uit het Arkema bassin wat niet met UV werd behandeld sterk achteruit gingen. Het materiaal is verkleurd van bruin naar wit. Ook de *Saccharina* planten in het UV-behandelde bassin water vertoonde na een week een wit verkleuring, het materiaal ging minder hard achteruit dan bij het niet met UV behandelde bassin water. *Saccharina* planten opgekweekt in het Oosterscheldewater bleven goed van kleur (bruin) en vertoonde verder ook geen afbraak wat bij sommige planten uit het bassin water (onbehandeld & UV-behandeld) wel het geval was (Fig. 33).

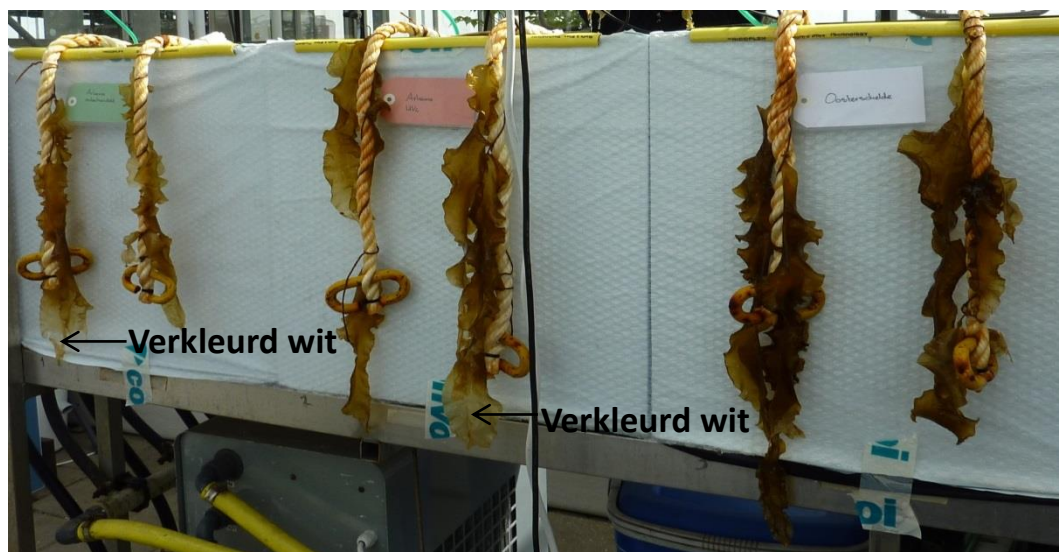


Fig. 33. *Saccharina* materiaal na afloop van het experiment

4.1.3 Conclusie

De planten opgekweekt in Oosterscheldewater vertonen een hogere groeisnelheid dan planten opgekweekt in Arkema bassin water. Mogelijkerwijs heeft dit te maken met een tekort aan nutriënten of met de aanwezigheid van stoffen die de groei remmen. In de UV behandeling worden alle micro-organismen gedood, waardoor er geen competitie om voedingsstoffen en licht kan ontstaan tussen de wieren en de algen.

4.2 Aquariumproef 2 Groeirespons *Saccharina latissima* met water van verschillende herkomst en bemesting met N en P

4.2.1 Proefopzet

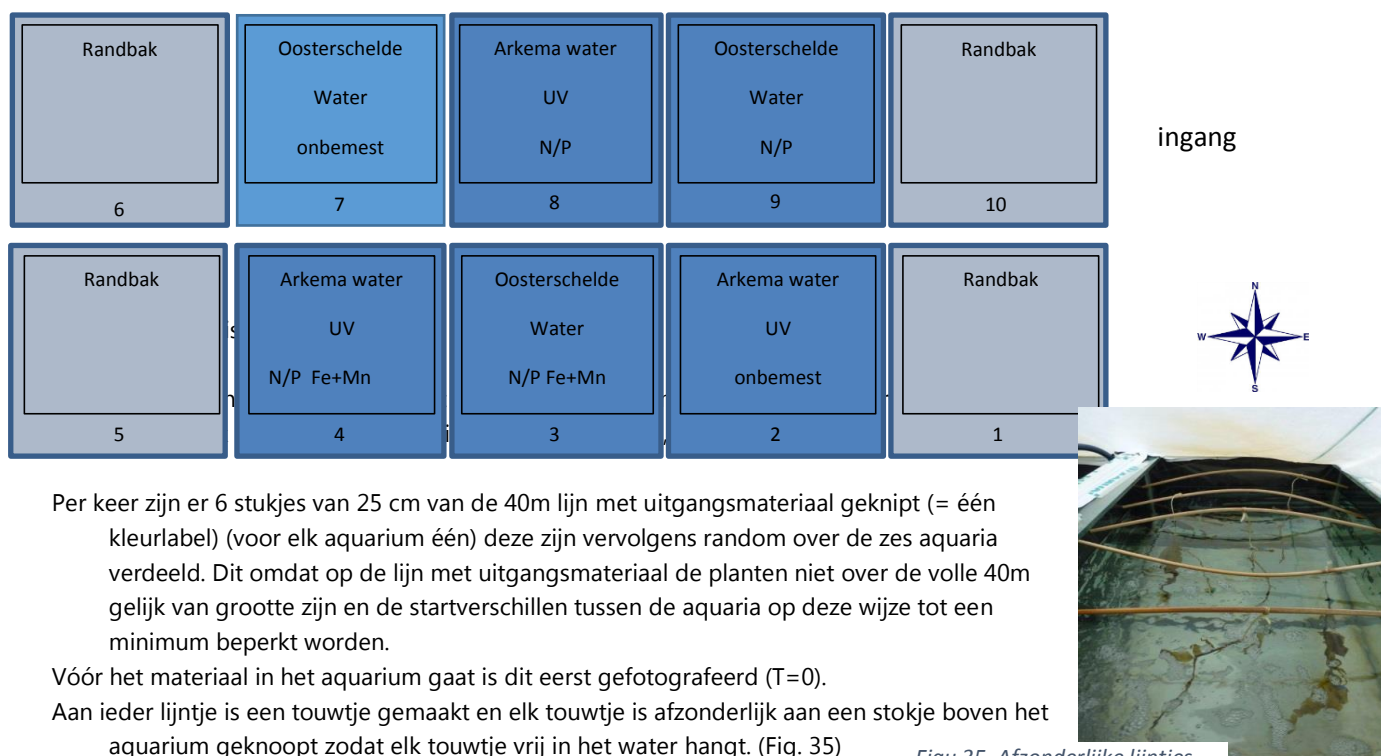
Uit de resultaten van experiment 1 lijkt er een verschil in groei op te treden tussen *Saccharina* opgekweekt in Oosterschelde water en *Saccharina* opgekweekt in Westerschelde water afkomstig uit het Arkema bassin, al of niet behandeld met UV. Mogelijk dat een nutriënten tekort hieraan ten grondslag ligt. Om hier meer inzicht in te krijgen is een bemestingsexperiment met stikstof (N), fosfor (P), ijzer (Fe) en Mangaan (Mn) (zie schema hieronder) uitgevoerd. Er is voor de micronutriënten Fe en Mn gekozen omdat deze een belangrijke rol vervullen bij de fotosynthese. Een deficiëntie aan deze mineralen kan leiden tot een lagere groei. De proefopstelling en omgevingsvariabelen zijn gelijk aan die van experiment 1.

Drie aquaria worden gevuld met water afkomstig uit de Oosterschelde en drie met Westerschelde water afkomstig uit het bassin bij Arkema. Uit de resultaten van experiment 1 lijkt de *Saccharina* opgekweekt in bassin water dat behandeld is met UV het net iets beter te doen dan de *Saccharina* in onbehandeld bassin water. Om deze reden is er nu voor gekozen om alleen met UV behandeld bassin water te gebruiken.

Als uitgangsmateriaal zijn er *Saccharina* lijnen (totale lengte van 40 meter) bij Hortimare gekocht. De grootte van de planten varieert van sporen tot planten met een lengte van 10 cm.

In de behandelingen zijn de volgende concentratie aangelegd:

N 1.0 mg/l, P 0.5mg/l, Fe 0.45 mg/l en Mn 0.08 mg/l. Door de beperkte capaciteit zijn alle behandelingen in enkelfout aangelegd.



Per keer zijn er 6 stukjes van 25 cm van de 40m lijn met uitgangsmateriaal geknipt (= één kleurlabel) (voor elk aquarium één) deze zijn vervolgens random over de zes aquaria verdeeld. Dit omdat op de lijn met uitgangsmateriaal de planten niet over de volle 40m gelijk van grootte zijn en de startverschillen tussen de aquaria op deze wijze tot een minimum beperkt worden.

Vóór het materiaal in het aquarium gaat is dit eerst gefotografeerd (T=0).

Aan ieder lijntje is een touwtje gemaakt en elk touwtje is afzonderlijk aan een stokje boven het aquarium geknoopt zodat elk touwtje vrij in het water hangt. (Fig. 35)

Fig. 35. Afzonderlijke lijntjes hangen m.b.v. stokje vrij in het aquarium

Resultaten

Omdat op T=0 veel materiaal nog erg klein was is er op dat moment nog geen lengte gemeten. Om toch een idee te krijgen hoe de wieren zich ontwikkeld hebben zijn er op T=0 en T=1 (na 7 dagen) foto's gemaakt. Hieruit blijkt dat de wieren in alle behandelingen duidelijk in lengte zijn toegenomen maar er was visueel nog geen waarneembaar verschil tussen de wieren opgekweekt in het Oosterscheldewater of wieren opgekweekt in het Westerscheldewater afkomstig uit het bassin bij Arkema.

Vervolgens is op T=1 van alle aanwezige wieren ook de lengte gemeten om de komende tijd de ontwikkeling beter te kunnen volgen. Van T=1 naar T=2 (7 dagen) vertoonde de wieren allemaal een lengte toename maar bij de aquaria gevuld met Westerscheldewater afkomstig uit het Arkema bassin was deze toename bij alle drie de behandelingen duidelijk minder dan bij de wieren opgekweekt in het Oosterscheldewater. Van T=2 naar T=3 (7dagen) vond er bij alle behandelingen in het Arkema bassin water zelfs een afname van de lengte plaats. (Fig. 35/36, tabel bijlageVII)

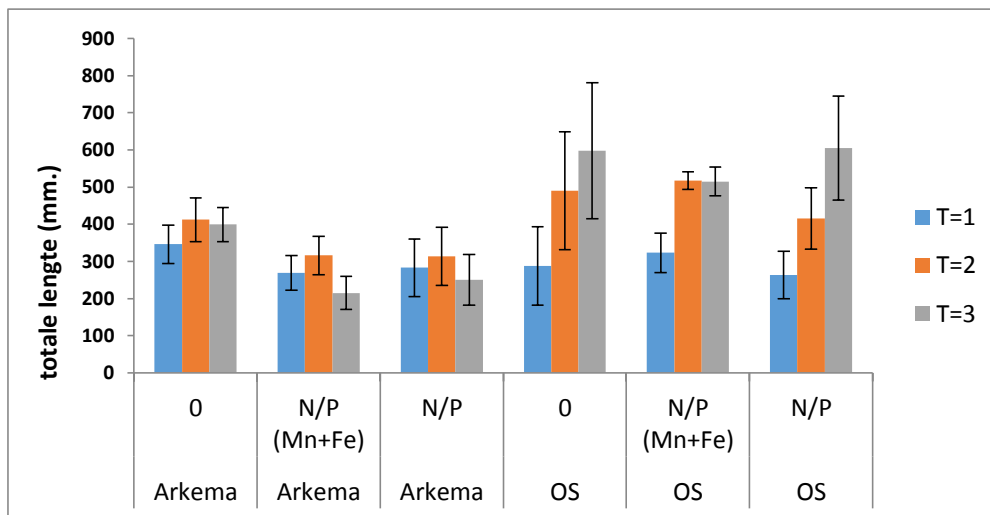


Fig. 35.
Gemiddelde
totale lengte
(n=5 ±se)
*Saccharina
latissima* bij
verschillende

behandelingen in water afkomstig uit de Oosterschelde en het Arkema bassin.

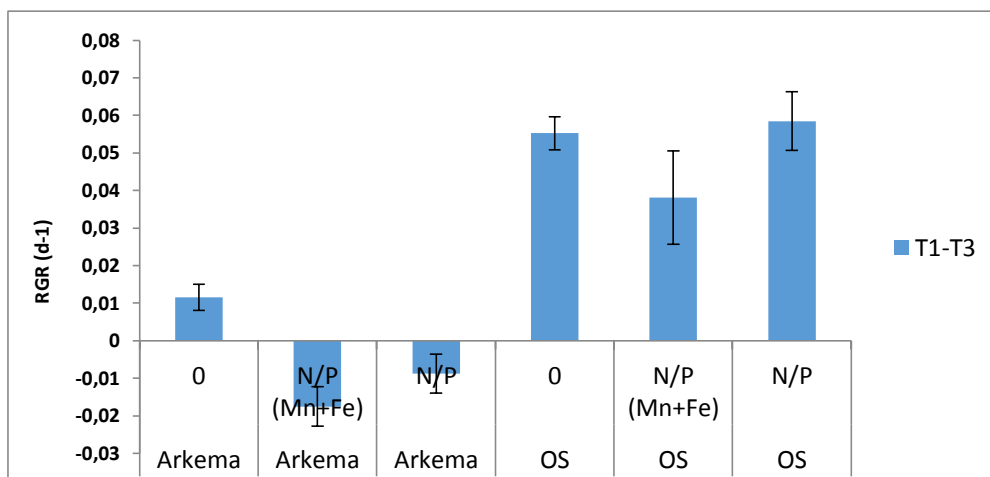


Fig. 36.
Gemiddelde
RGR(d-1) over de
periode T1-T3
(14dagen) (n=5
±se) *Saccharina*

latissima bij verschillende behandelingen in water afkomstig uit de Oosterschelde en het Arkema bassin.

Conclusie

Net zoals in experiment 1 groeien de *Saccharina* planten in Oosterschelde water (OS) aanzienlijk beter dan in Arkema bassin water (BS), ongeacht de behandeling. Toediening N en P leidde niet tot een stimulatie van de groei, m.a.w. N en P zijn niet groei limiterend. NP bemesting voor BS levert zelfs een negatieve groei op. Toediening van Fe en Mn leverde geen verbetering van de groei op.

4.3 Kolvenproef 1 Groeirespons *Saccharina latissima* met water van verschillende herkomst en verschillende bemestingsparameters

4.3.1 Proefopzet

Uit de resultaten van de aquariaproeven komt duidelijk naar voren dat *Saccharina latissima* opgekweekt in Westerschelde water afkomstig uit het bassin bij Arkema een slechtere groei vertoont dan *Saccharina* opgekweekt in water afkomstig uit de Oosterschelde. Komt dit doordat het in het bassin stoffen aanwezig zijn die een negatief effect hebben op de ontwikkeling van *Saccharina*?

Om hier achter te komen wordt experiment 5 ingezet. Hier zal gewerkt worden met Westerscheldewater, Westerscheldewater afkomstig uit het bassin bij Arkema en ter controle water afkomstig uit de Oosterschelde. In het experiment zal tegelijkertijd gekeken worden naar de invloed van de meststoffen N en P, zowel elk afzonderlijk als in combinatie met elkaar.

Om waarnemingen aan de wieren in het Arkema bassin te kunnen verrichten zijn er in het bassin hangende steigerconstructies aangebracht met verzinkte steigerpijpen. Uit analyses van lozingswater van een tussentijdse lozing van bassinwater is éénmalig een verhoogde concentratie van zink waargenomen (Arkema analyse zie bijlage I). Om deze reden wordt er in dit experiment ook een variant meegenomen met een extra toevoeging van zink aan de verschillende watertypen (de van nature aanwezige Zn concentratie in zeewater wordt verdubbeld). Ook de mogelijkheid dat er schadelijke stoffen vrijkomen uit de touwen die gebruikt worden om het wier in het bassin te kunnen hangen wordt onderzocht, door een stuk touw aan het water toe te voegen. Uit de wateranalyses (uitgevoerd door lab Arkema zie bijlage I) van het bassinwater blijkt tevens dat in de loop der tijd de pH langzaam oploopt. Daarom zal er ook een variant met een verhoogde pH (10) worden meegenomen.

Op Nergena hebben we acht aquaria ter beschikking. Dit is niet voldoende om alle genoemde varianten in één experiment te kunnen testen daarom is er besloten om in dit experiment met kleinere experimentele eenheden te gaan werken, hierdoor kunnen er meer varianten tegelijkertijd worden getest. Er wordt gebruik gemaakt van 6l kolven, elk gevuld met 5l te testen watertype. Om de kolven op een gelijke temperatuur te kunnen houden worden er telkens drie kolven in een aquarium geplaatst. De aquaria worden met een laag zoetwater gevuld dat als koelvloeistof voor de kolven dienst doet. Op deze wijze kunnen we 24 kolven gebruiken voor het aanleggen van de verschillende behandelingen bij een vergelijkbare temperatuur.

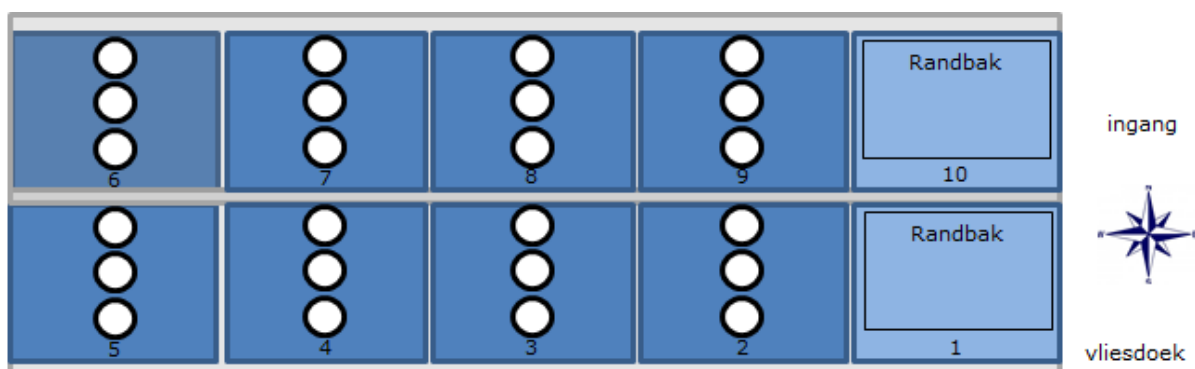


Fig. 37. Schematische proefopstelling

Tabel 10. Overzicht van de aangelegde behandelingen OS=Oosterschelde, WS=Westerschelde, BS=Bassin

kolf	beh	[concentraties in mg/l]	Opmerking
1	1	Controle Saccharina in OS	
2	1	Controle Saccharina in WS	
3	1	Controle Saccharina in BS	
4	2	Saccharina in OS-P	verwijderen met Ca(OH)_2
5	2	Saccharina in WS-P	verwijderen met Ca(OH)_2
6	2	Saccharina in BS-P	verwijderen met Ca(OH)_2
7	3	Saccharina in OS+Touw	5 cm touw
8	3	Saccharina in WS+Touw	5 cm touw
9	3	Saccharina in BS+Touw	5 cm touw
10	4	Saccharina in OS+Zn [0.14]	2x normaal = [0.14 mg/l]
11	4	Saccharina in WS+Zn [0.14]	2x normaal = [0.14 mg/l]
12	4	Saccharina in BS+Zn [0.14]	2x normaal = [0.14 mg/l]
13	5	Saccharina in OS-pH10	met KOH, (2de helft NaOH)
14	5	Saccharina in WS-pH10	met KOH, (2de helft NaOH)
15	5	Saccharina in BS-pH10	met KOH, (2de helft NaOH)
16	6	Saccharina in OS+N[1.0]	Amnitra
17	6	Saccharina in WS+N[1.0]	Amnitra
18	6	Saccharina in BS+N[1.0]	Amnitra
19	7	Saccharina in OS+P[0.5]	KH_2PO_4
20	7	Saccharina in WS+P[0.5]	KH_2PO_4
21	7	Saccharina in BS+P[0.5]	KH_2PO_4
22	8	Saccharina in OS+N[1.0]+P[0.5]	Amnitra + KH_2PO_4
23	8	Saccharina in WS+N[1.0]+P[0.5]	Amnitra + KH_2PO_4
24	8	Saccharina in BS+N[1.0]+P[0.5]	Amnitra + KH_2PO_4

De aangelegde behandelingen zijn als volgt gerealiseerd:

Behandeling 1: Controle

Behandeling 2: Uit 5.5l zeewater P verwijderd d.m.v. neerslaan m.b.v. 250ml verzadigde Ca(OH)_2 oplossing welke vervolgens is gefiltreerd.

Behandeling 3: Toevoeging van 5 cm touw welke ook gebruikt wordt voor de experimenten bij Arkema en op de Wierderij

Behandeling 4: Zn toegevoegd tot een waarde van 2 x de normaal in zeewater aanwezige Zn concentratie ($=0.07\text{mg/l}$) dus 0.07mg Zn extra toegevoegd in de vorm van ZnSO_4

Behandeling 5: pH van het water m.b.v. 7M KOH oplossing verhoogd tot $\text{pH}=10$.

Tweede helft exp. m.b.v. 2M NaOH oplossing.

Behandeling 6: Extra N gift m.b.v. Amnitra tot een concentratie van 1mg N/l

(dit is 0.0224ml Amnitra per kolf van 5l)

Behandeling 7: Extra P gift m.b.v. KH_2PO_4 tot een concentratie van 0.5mg P/l

(dit is $0.0833\text{ml KH}_2\text{PO}_4/\text{l}$ [$150\text{g KH}_2\text{PO}_4/\text{l}$])

Behandeling 8: Extra N en P gift dit is combinatie van behandeling 6 en 7

Als uitgangsmateriaal is een zaailijn van Hortimare gebruikt met *Saccharina* planten welke in lengte varieerden van sporen tot $\pm 3\text{ cm}$. Deze zaailijn is in 24 gelijke stukjes geknipt van elk 10 cm.

Deze stukjes zijn vervolgens random over de 24 kolven verdeeld en vooraf gefotografeerd voor vastlegging van de grootte op $T=0$. (Afbeelding 7). Vervolgens zijn de 24 kolven random over de 8 aquaria verdeeld.

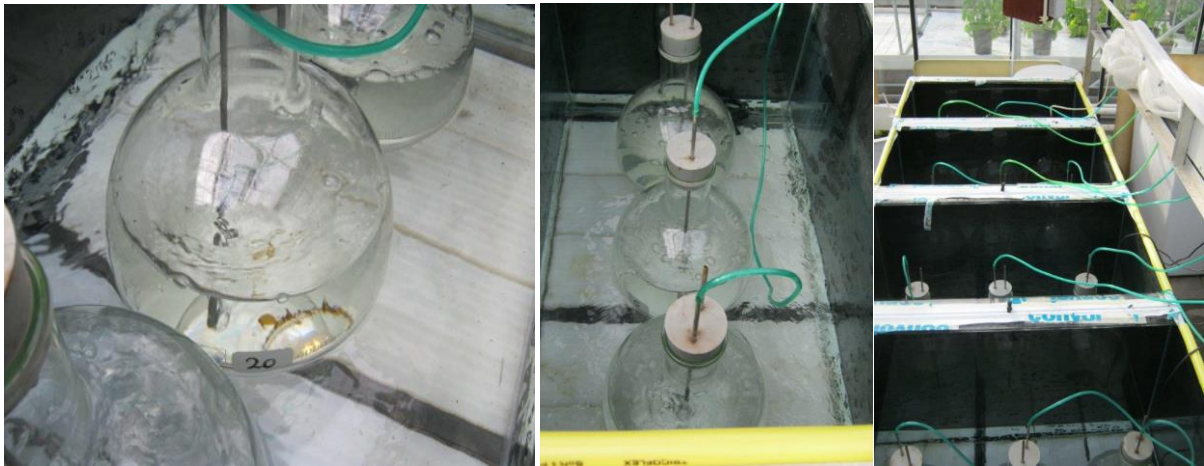
Elke kolf is voorzien van een eigen beluchting. Het koelsysteem van de aquaria zorgt voor een gelijke temperatuur verdeling over de aquaria en dus ook over de kolven. Elk aquarium is voorzien van een pompje om het gekoelde water in het aquarium rond de kolven in beweging te houden. De ingestelde temperatuur is $11.5 \pm 0.5\text{ }^\circ\text{C}$. (Fig. 38, 39)

Verder is de opstelling vergelijkbaar aan de reeds in experiment 1 + 2 beschreven opstelling.



Fig. 38. Voorbeeld grootte ingezette materiaal

Fig. 39. Impressie van de proefopstelling met kolven.



4.3.2 Resultaten

Gedurende 25 dagen is aan de hand van fotografie op 4 tijdstippen (0, 13, 18 en 25 dagen) de ontwikkeling van de *Saccharina* planten in de verschillende behandelingen gevolgd en vastgelegd. Elk lijntje is apart gefotografeerd.

De foto's van elk afzonderlijk lijntje met planten zijn vervolgens met het softwareprogramma "ImageJ" bewerkt. Met deze software is het bladoppervlak bepaald en dus de groei van het wier (Fig. 40,41 en bijlage VII).

De behandeling met het verhogen van de pH is in de periode (T0-T1) niet goed gegaan. Het verhogen van de pH werd gerealiseerd door aan het water een oplossing van 7M KOH toe te dienen. Dit gebeurde echter terwijl het lijntje met *Saccharina* nog in de kolf aanwezig was. Het wier kwam hierdoor waarschijnlijk tijdelijk met een te hoge dosering KOH in aanraking en verbleekte volledig tevens vormde er zich een witte aanslag op het lijntje en in de kolf een wit neerslag.

Deze kolven en lijntjes zijn opnieuw ingezet en vervolgens is de pH, na verwijderen van het *Saccharina* lijntje, met 2M NaOH verhoogd. Dit ging in het verdere verloop van het experiment wel goed en er vormde zich nu geen neerslag in de kolf.

Tabel 10. Relatieve groeisnelheid van Saccharina bij verschillende behandelingen.

	RGR, d⁻¹		
Behandeling	OS	WS	BS
Controle	0.111	0.064	0.054
+N	0.102	0.091	0.083
+P	0.083	0.083	0.048
+NP	0.105	0.102	0.044
+T	0.082	0.064	0.051
ZN	0.075	0.065	0.05
-P	0.071	0.06	0.064
pH10(Na)	0.102	0.079	0.063

4.3.3 Conclusie

Gezien de resultaten kan er geen harde uitspraak gedaan worden of de waargenomen groeiachterstand in het Arkema bassin ligt aan het Westerscheldewater of aan stoffen die vrijkomen uit het bassin die “toxisch” werken. Opvallend is wel dat NP bemesting de groei in Westerschelde water stimuleert, terwijl dit niet geval is voor het bassin water. Dit zou erop kunnen duiden dat er een toxische stof in het bassin water aanwezig is.

4.4 Kolvenproef 2 Groeirespons *Saccharina latissima* met water van verschillende herkomst en verschillende N/P verhoudingen

4.4.1 Proefopzet

Als aanvullend experiment gaan we in experiment 6 in twee watertypen kijken wat de invloed is van het aanbieden van N en P in verschillende verhoudingen. De twee watertypen zijn Westerscheldewater (WS) en Westerscheldewater afkomstig uit het bassin bij Arkema (BS).

De aangelegde N:P verhoudingen zijn:

- 57 dit omdat dit de verhouding is van het ingenomen WS water.
- 14.3 uit literatuur blijkt dit een optimale N:P verhouding te zijn
- 7.2 50% van de ideale N:P verhouding (alleen voor BS water)
- 3.6 25% van de ideale N:P verhouding

Het experiment is in drievoud aangelegd.

Met uitzondering van de controle WS. Door een tekort aan water is deze in tweevoud uitgevoerd. Verder is de opstelling gelijk aan die van experiment 5.

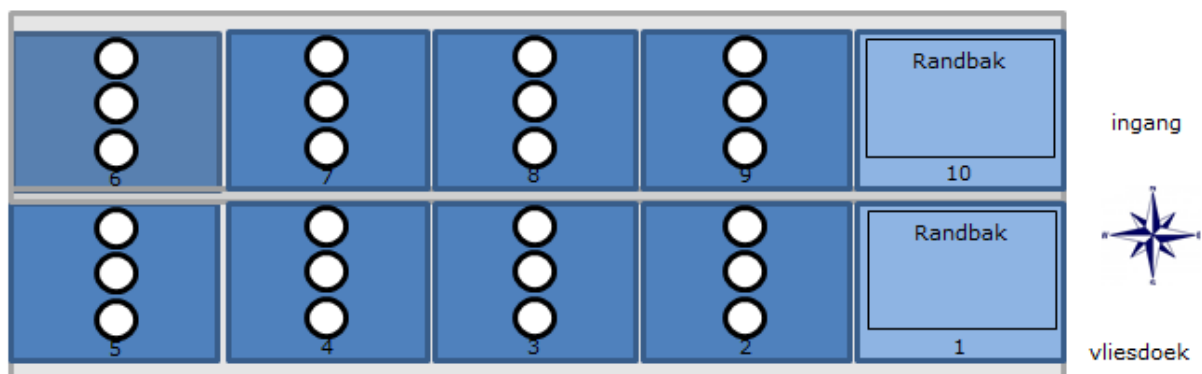


Fig. 40. Schematische proefopstelling

Tabel 11. Overzicht van de aangelegde behandelingen WS=Westerschelde, BS=Bassin

kolf	beh	Water type	N:P	[concentraties in mg/l]
22a+b	1	WS	57.3	N 0.57: P 0.01
13	2	WS	57.3	N 4.77: P 0.08
14	2	WS	57.3	N 4.77: P 0.08
15	2	WS	57.3	N 4.77: P 0.08
16	3	WS	14.3	N 4.77: P 0.33
17	3	WS	14.3	N 4.77: P 0.33
18	3	WS	14.3	N 4.77: P 0.33
19	5	WS	3.6	N 4.77: P 1.33
20	5	WS	3.6	N 4.77: P 1.33
21	5	WS	3.6	N 4.77: P 1.33
23a+b	6	BS	4.2	N 0.71: P 0.17
24	6	BS	4.2	N 0.71: P 0.17
1	7	BS	57.3	N 9.73: P 0.17
2	7	BS	57.3	N 9.73: P 0.17
3	7	BS	57.3	N 9.73: P 0.17
4	8	BS	14.3	N 4.77: P 0.33
5	8	BS	14.3	N 4.77: P 0.33
6	8	BS	14.3	N 4.77: P 0.33
7	9	BS	7.2	N 4.77: P 0.67
8	9	BS	7.2	N 4.77: P 0.67
9	9	BS	7.2	N 4.77: P 0.67
10	10	BS	3.6	N 4.77: P 1.33
11	10	BS	3.6	N 4.77: P 1.33
12	10	BS	3.6	N 4.77: P 1.33

Als uitgangsmateriaal is het restant van de zaailijn van Hortimare uit experiment 5 gebruikt. Het materiaal is bij de start van experiment 6 iets groter dan het materiaal dat in experiment 5 is gebruikt. De *Saccharina* planten varieerden bij de start van 0.5 tot ± 6 cm (Afbeelding 41). De zaailijn is in 24 gelijke stukjes geknipt van elk 10 cm. Verder is dezelfde procedure gevolgd als bij experiment 5 en zijn dezelfde experimentele omstandigheden aangehouden.

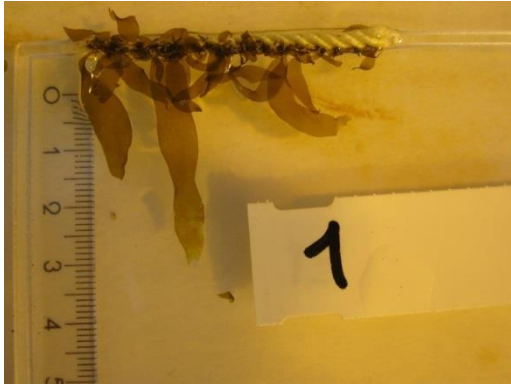
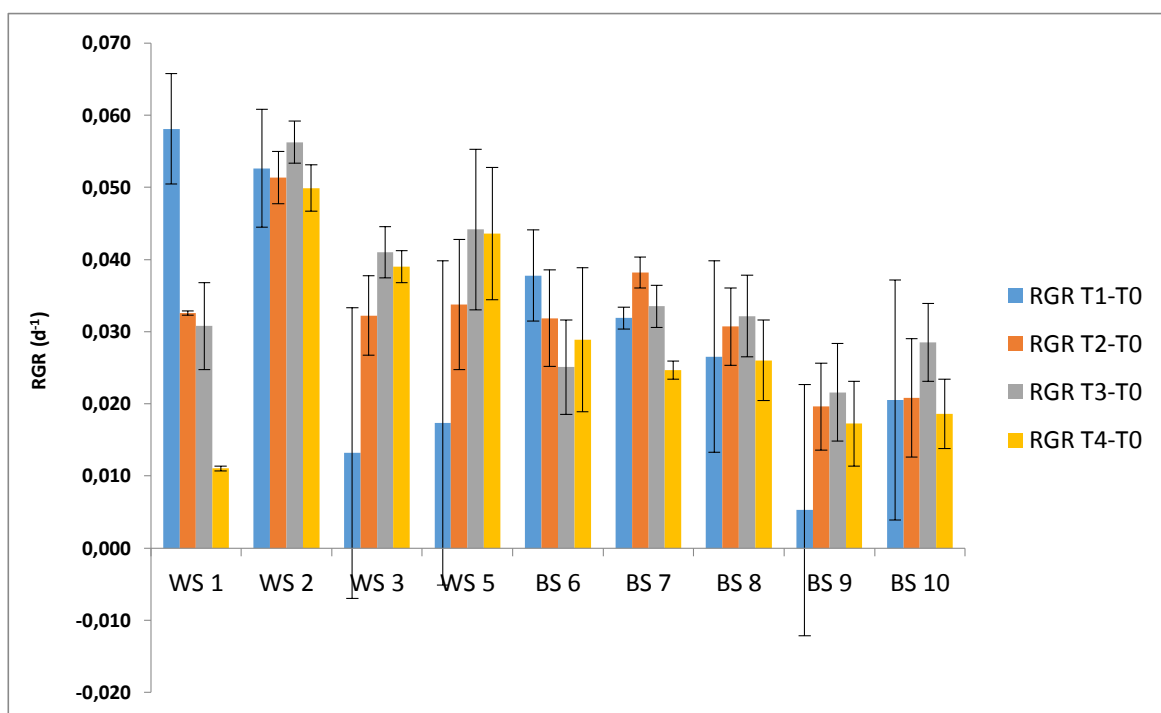


Fig. 41 Voorbeeld grootte ingezette materiaal

4.4.2 Resultaten

Gedurende 26 dagen is aan de hand van fotografie op 5 tijdstippen (0, 5, 12, 19 en 26 dagen) de ontwikkeling van de *Saccharina* planten in de verschillende behandelingen gevolgd en vastgelegd. Elk lijntje is apart gefotografeerd.

De foto's van elk afzonderlijk lijntje met planten zijn vervolgens met het softwareprogramma "ImageJ" bewerkt.



Figuur 40: Overzicht van de ontwikkeling van *Saccharina latissima* uitgedrukt als de relatieve groei snelheid (RGR (d⁻¹) bij verschillende N:P verhoudingen in twee watertypen. (WS= Westerschelde, BS= Arkema bassin).

Uit Fig. 40 blijkt dat de RGR van de controle WS in de tijd afneemt voor WS. Toediening N&P stimuleert de RGR indien deze berekend wordt over de periode T0-T4. Net zoals in het vorige kolvenexperiment kan dus geconcludeerd worden N&P limiterend zijn. Toediening van N&P in het bassin water liet geen stimulatie zien. De controle van WS laat in de tijd een forse daling zien van de RGR. Waarschijnlijk zijn nutriënten N en P limiterend voor de groei. Om deze reden zijn beide controles niet meegenomen in N:P ratio analyse. Figuur 41 laat een duidelijk positief verband tussen N:P en RGR zien. Het water in het Arkema bassin heeft een N:P ratio van 4.2. Daarom is afgelopen winter besloten de N:P ratio omhoog te brengen. Vanwege lozingsvoorschriften en de relatieve hoge P concentratie kon deze niet verder opgekrikt worden dan ca. 17.1.

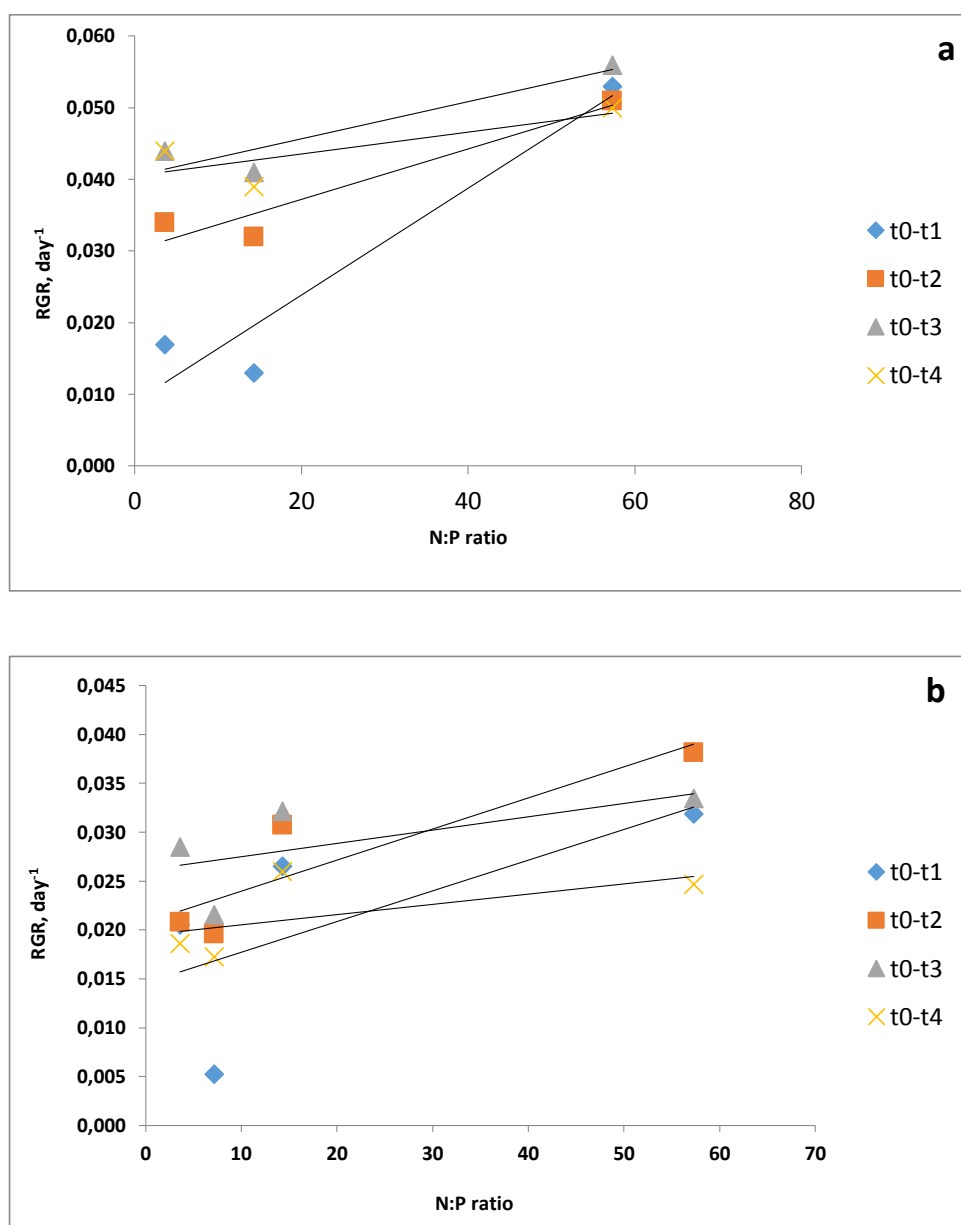


Fig. 41. Relatie tussen N:P in het groeimedium en de RGR voor Westerschelde water(a) en bassin water (b)

4.4.3 Conclusie

Er lijkt een positieve relatie te zijn tussen N:P en RGR. Om deze rede is vanaf 19-12-2014 de ratio in het SPARK-UP bassin verhoogd. Vanwege de lozingsvoorschriften en de relatief hoge P concentraties kon de N:P ratio echter niet verder dan ca. 17.1 verhoogd worden.

4.5 Algemene conclusie

Het afgelopen jaar zijn er diverse experimenten uitgevoerd in het bassin van Arkema. Uit visuele observaties bleek dat planten opgekweekt in het bassin nauwelijks wilden groeien. Er heeft een analyse plaats gevonden van mogelijke factoren die een rol hebben gespeeld bij de slechte groei van de zeewieren in het SPARK-UP bassin. Er zijn volgende parameters onderzocht:

- Stroomingssnelheid
- Nutriënten
- Concurrentiedruk
- Temperatuur
- Saliniteit
- Licht
- Zware metalen
- pH
- Beton (bassin-constructie)

Stroomingssnelheid: De stroomingssnelheid is in het begin van het onderzoek gemeten, vergeleken met de Wierderij en bijgesteld. Een effect van stroomingssnelheid op de algemeen slechte groei kon worden uitgesloten.

Nutriënten: De aanschaf van de Uv-filter/pomp heeft geholpen om de waterkwaliteit te verbeteren. Microalgen konden op deze manier bestreden worden. Voor de ongewenste macroalgen was dit echter niet het geval. Verder hebben er een aantal aquariumproeven in het kassencomplex van Nergena plaats gevonden om te kijken naar een mogelijk effect van de nutriënten op de groei van de zeewieren.

Experiment 1 en 2 liet zien dat planten beter floreren in Oosterscheldewater dan water uit het SPARK-UP bassin. Hiernaast waren N en P niet limiterend voor de onderzoeksperiode in het SPARK-UP bassin. Er zou sprake kunnen zijn van een N:P ratio effect, zoals blijkt uit experiment 6. Oosterschelde water heeft een N:P ratio van ca. 57 met de hoogst waargenomen RGR op Nergena ($> 0.1 \text{ dag}^{-1}$). Dit wordt in geen enkel experiment op bassin water gerealiseerd.

Toediening van N:P leverde geen zichtbare verbetering op. Van een N:P limitatie kan dus geen sprake zijn. Naast de lage N:P ratio in het bassin water zou de aanwezigheid van een toxische stof de mogelijke oorzaak kunnen zijn voor geringe (geen) groei in het bassin.

Concurrentiedruk: De concurrentie door ander soorten macroalgen leverde een concurrentie op om nutriënten. Door te bemesten is geprobeerd om de nutriënten op concentratie te houden. Aangezien in alle kasexperimenten de wieren op bassin water slechter groeiden dan op Oosterschelde of Westerschelde wateren en hier geen sprake was van concurrentie om licht kan de factor concurrentiedruk worden uitgesloten.

Temperatuur: De temperatuur in het SPARK-UP bassin water bleek vergelijkbaar met de temperaturen in de Westerschelde en de Oosterschelde. Een temperatuur effect op de groei van de zeewieren kan worden uitgesloten.

Saliniteit: Het zoutgehalte van het SPARK-UP bassin water ligt bij gemiddeld 25‰. Dit is lager dan het zoutgehalte in de Oosterschelde (32‰). Uit de literatuur blijkt dat een lage saliniteit de opname van zware metalen kan bevorderen, waardoor een negatief effect op de groei van de zeewieren ontstaat. Laatste dient echter nader onderzocht te worden.

Licht: Licht speelt een belangrijke rol bij de ontwikkeling van zeewieren. Uit het onderzoek blijkt dat het licht snel uitdooft. Op 1m is nog maar slechts 50% van het licht beschikbaar in het SPARK-UP bassin. Dat zou de groei van het zeewier in dieper gelegen waterlagen beïnvloed kunnen hebben. Echter is dit geen verklaring voor de slechte groei boven 1m waterdiepte.

Zware metalen: Uit de literatuur blijkt dat zware metalen een groeiremmend tot een toxisch effect kunnen hebben op de groei van zeewieren. Niet voor alle zware metalen en zeewieren is er literatuur gevonden, waardoor het effect van stoffen, zoals Mn en As op de groei van zeewieren onbekend is. Voor Zn werd de letale dosis voor *Ulva lactuca* in het begin van het experiment overschreden. In de loop van het experiment daalde de concentratie naar een niveau welke in de literatuur als groeiremmend werd beschreven. De letale en groei remmende concentraties van Cd die in de literatuur beschreven staan voor *Laminaria saccharina* werden niet overschreden. Een mogelijke toxische effect van zware metalen kan niet worden uitgesloten, nader onderzoek is noodzakelijk.

pH: Omdat er in het SPARK-UP bassin een tijdelijke pH verhoging is waargenomen hebben er experimenten in het kassencomplex van Nergena plaatsgevonden. Uit deze proeven blijkt dat een tijdelijk verhoogde pH- concentratie geen invloed heeft op de groei van de zeewieren. Echter, is er in de literatuur een aanwijzing gevonden dat een hoge pH de opnamecapaciteit van zware metalen kan bevorderen. Dit dient nader onderzocht te worden.

Beton: Aan de hand van de analyses die Arkema heeft uitgevoerd blijkt dat het beton geen enkel toxische stoffen bevat en dus geen effect had op de groei van de zeewieren.

Het beproefde teelsysteem binnen het SPARK-UP project heeft nog geen grootschalige zeewierteelt opgeleverd. Aannemelijk is dat teeltomstandigheden, zoals het niet continu verversen van het water, maar ook de waterkwaliteit van het Westerscheldewater hierbij een belangrijke rol hebben gespeeld. Meer onderzoek is nodig om te komen tot een optimaal teeltsysteem voor de verschillende soorten zeewieren. Wel zijn er andere op land gebaseerde teeltsystemen die veelbelovend zijn, zoals de indicatie proef met Oosterscheldewater op Zeeuwse Tong en enkel andere experimenten bijvoorbeeld bij IMARES (doorstromingssystemen, waarbij water continu wordt ververst).

Daarentegen laten de behaalde resultaten op de Wierderij (openwater teelt) met een productie van 17- 35 t ds ha⁻¹ zien dat er zeewierteelt mogelijk is, mits er een jaarronde productie plaats kan vinden. Maar afhankelijk van het soort zeewier zijn er ook binnen dit teeltsysteem nog verdere optimalisaties omtrent oogst- en installatietechnieken nodig.

5. Referenties

5.1 Literatuur

Bryan (1983)

Brown Seaweed, *Fucus vesiculosus*, and the gastropod, *Littorina littoralis*, as indicators of trace metal availability in estuaries. *Sci. Total Environ.* 28, 91-104

Filho, Karez, Andrade, Yoneshigue-Valentin, Pfeiffer, 1996

Effects on growth and accumulation of zinc in six seaweed species. *Ecotoxicology and environmental safety* 37, 233-228

Gutknecht J. 1961

MECHANISM OF RADIOACTIVE ZINC UPTAKE BY *ULVA LACTUCA*; University of North Carolina, Chapel Hill, and Marine Biological Laboratory, Woods Hole, Mass.

Kain, J.M., 1991.

Cultivation of attached seaweed. In: *Seaweed resources in Europe: use and potential*, Chichester: pp. 309-377

Malta, Draisma & Kamermans, 1999.

Free floating *Ulva* in the Southwest Netherlands: species or morphotypes? A morphological, molecular and

ecological comparison, *Eur. J. Phycol.* Vol. 34 pp. 443-454

Markham, Kremer & Sperling (1980)

Effects on cadmium on *Laminaria saccharina* in culture. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 3, 31-39.

Taylor R. & R.L. Fletcher, 2001.

Preliminary studies on the growth of selected green tide algae in laboratory culture: Effects of irradiance,

temperature, salinity and nutrients on growth rate. *Botanica marina* Vol. 44 pp.327-336

Wald, 2010.

Evaluatiestudie naar mogelijkheden voor grootschalige zeewierteelt in het zuidwestelijke Deltagebied, in het bijzonder de Oosterschelde. Wageningen UR rapport 341

5.2 Internet

Modelorganisme *Chondrus crispus*

Guiry, 2014.

Chondrus crispus - In: Algaebase - World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway,

<http://www.algaebase.org/>

Saliniteit

<http://www.Rijkswaterstaat.nl>

<http://www.waterresearch.nl/chloride.htm>

<http://www.anemoon.org/flora-en-fauna/gebieden/id/623/westerschelde>

Temperatuur

<http://www.Rijkswaterstaat.nl>

<http://www.KNMI.nl>

Licht

<http://www.KNMI.nl>

Productiecijfers landbouwgewassen

<http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=7100OOGS&D1=2&D2=a&D3=0&D4=6,19-21&HDR=G2,G3,T&STB=G1&VW=T>

Bijlage I. Water analyses SPARK-UP

	Bijlage I. Water analyses SPARK-UP														
	Beluchter														
Datur	Ca ppm	Fe ppm	K ppm	Mg ppm	Na ppm	Sn ppm	Chloride %	TOC mg C /L	N-totaal mg N /L	Turbidity NTU	pH	FOSFOR mg_P	Bemest	OPM	
5-9-2013					8100		1.53	4.4	0.9	0.7	7.9	0.16		Kaloothaven (05-09-2013, 14:30)	
8-10-2013			290		7200	<0,01	1.55	3.2	0.8	1.4	8.3	0.11		Monster uit bassin meteen na vullen, met propeller in operatie	
6-11-2013		<0,1		290	7600	<0,01	1.47	3.6	0.67	1	8.2	0.13		Mn = 0,1 mg/l	
12-11-2013				320	8300		1.45	2.7	0.75	1	8	0.11			
19-12-2013				305	8100		1.43	27	0.78	0.8	8.3	0.07		verhoogde TOC	
17-1-2014				305	7900		1.42	4.4	0.51	1.2	8.2	0.03			
24-2-2014				285	7700		1.38	3.8	0.8	0.6	8.2	<0,01		monster gefiltreerd	
4-3-2014												0.02		monster gefiltreerd	
11-3-2014				280	7300		1.37	5.6	0.66	1	8.4	0.03		monster gefiltreerd	
18-3-2014									0.5			<0,01		monster gefiltreerd	
25-3-2014									0.56			<0,01			
1-4-2014									1.49			0.03	1	na bemesting	
1-4-2014												0.01		voor bemesten	
8-4-2014				305	7900		1.34	4.6	1.25	1	8.3	0.03			
16-4-2014									1.1			0.33			
22-4-2014									0.92			0.22			
29-4-2014									0.65			0.13			
6-5-2014				275	7200	<0,01	1.39	5.9	0.65	1.8	8.5	0.08		laatste monster bassin voor uitpompen	
14-5-2014		0.04							0.65			0.05		uitpomp monster, Zn = 0,08 mg/L, Fe en Zn gemeten op 23-6-2014	
26-5-2014				345	7430	<0,03	1.4	3.2	1.2		8	0.11		inpomp monster	
5-6-2014				330	8530	<0,03	1.54	1.7	0.78	1.5	8.4	0.14		monster van gewuld bassin	
13-6-2014									0.7			0.01			
16-6-2014									0.69			<0,01			
16-6-2014		0.01												extra monster, Zn = 0,07 mg/L	
25-6-2014									0.63			<0,01			
1-7-2014				300	7900		1.54	2.5	1.2	1.2	8.7	0.27	1	na bemesting, Zn = 0,07 mg/L	
7-7-2014								3.3	0.75			0.27			
17-7-2014								3.7	0.9			0.23			
23-7-2014								3.9	0.75			0.19			
31-7-2014								5.7	0.79			0.21			
7-8-2014				330	8170		1.56	5.7	0.78	1.2	8.9	0.2			
19-8-2014								4.9	0.82		8.8	0.19			
20-8-2014								3.9	0.84		8.8	0.19		voor HCl dosering	
25-8-2014	385	ca 0,0		320	8600		1.59	4.9	0.84	1.6	8.5	0.17		na HCl dosering, Fe zichtbaar met ICP-AAS maar beneden detectielimiet van 0,1 ppm, zeewater ca. 0,003 ppm	
1-9-2014								4.6	0.81		8.3	0.15			
10-9-2014				303	8820		1.51	7.8	1.08	3.7	8.3	0.38	1	na bemesting op 3-9-2014 met KH2PO4 en Amnitra	
19-9-2014	350			325	1000	8380		1.55	5.7	0.9	2.6	8.3	0.28	Zn < 0.1 ppm	
1-10-2014				340		9100		1.56	6.2	1.1	2	8.2	0.29		
15-10-2014								5	0.9			0.27		na schoonmaken UV unit op 14-10-2014	
2-12-2014				390		7950		1.54	3.9	0.84	0.7	8.1	0.29		
19-12-2014				314		7950		1.53	5.7	1.08	1.4	7.8	0.2	voor N dosering	
19-12-2014				314		7925		1.51	5.7	3.97	1.3	7.6	0.24	1 3 uur na N dosering	
22-12-2014									3.7			0.22		controle op menging, op 23-12 bleek propeller en rondpomp goed te functioneren	
29-12-2014									5.5			0.26	1	na extra dosering Amnitra op 24-12	
5-1-2015									4.3			0.19			
16-1-2015				300		7950		1.5	3.5	4.4	1.8	8	0.22		
20-1-2015									4.3			0.19			
26-1-2015									4.8			0.16	1	Na Amnitra dosering	
6-2-2015								3.2	4.4			0.14			
9-2-2015				295		8400		1.47	4.5	4.6	0.7	8	0.17		
17-2-2015								4.7	4.3			0.2	1	Na fosfaat dosering, P in duplo bepaald	
24-2-2015								4.2	4.3			0.18		Na water uitlaten	
2-3-2015				295		7900		1.49	4.3	4.4	0.6	8.2	0.23		
13-3-2015								3.6	4.6			0.27	1	Na N en P dosering	
24-3-2015				270		7620		1.44	4	3.9	0.9	8.1	0.15		
30-3-2015								3.8	6.2			0.27	1	Na N en P dosering op 27-3-'15	
7-4-2015								4.2	6.3			0.23		regulier monster	
7-4-2015								12	6.7			1.77		schuimlaag (na filtratie)	
10-4-2015								3.7	7.1			0.22	1	3 uur na bemesting	
17-4-2015								3.7	7			0.07		vandaag draadwier verwijderd	
28-4-2015								4.6	5.09			0.03		besloten voorlopig niet te bemesten, water troebel door veel vrij zwevend draadwier	
22-5-2015				290		8750		1.7	8.2	5.1	0.5	8.8	0.01		

Bijlage II. Temperatuur

Tabel : Temperatuurdata

		Temp					
	OS 2014	OS 2015	WS 2013	WS 2014	WS 2015	Bassin 2014	Bassin 2015
1-jan		6.15		7.691667	6.229861		
2-jan		6.151389		7.699306	6.269444		
3-jan		6.119444		7.683333	6.249306		
4-jan		2.669444		7.69375	6.159722		
5-jan				7.538889	6.078472		
6-jan		2.240278		7.666667	6.002778		
7-jan		5.83125		7.879861	5.935417		
8-jan		5.894444		7.935417	5.922917		
9-jan		6.027778		8.061111	5.965278		
10-jan		6.2875		8.1	6.552083		
11-jan		6.125694		7.931944	6.504861		
12-jan		6.108333		7.66875	7.190278		
13-jan		4.915972		7.640972	7.848611		
14-jan		6.211806		7.561806	7.878472	7.76	
15-jan		6.095833		7.430556	7.845833		
16-jan		6.156944		7.499306	7.946528		
17-jan		6.102083		7.45625	7.504167	7.02666667	
18-jan		5.961806		7.410417	7.249306		
19-jan		5.967361		7.352778	7.008333		
20-jan		5.965278		7.304861	6.909028		
21-jan		5.790278		7.261111	6.638194		
22-jan		5.528472		7.061111	6.338889		
23-jan		5.323611		6.978472	6.147917	6.62666667	
24-jan		5.290278		6.884722	5.888889		
25-jan		5.271528		6.731944	5.93125		
26-jan		5.543056		6.805556	5.969444		
27-jan		5.715278		6.7375	6.048611		
28-jan		5.820139		6.690278	5.986806		
29-jan		5.711806		6.658333	5.61875	6.10333333	
30-jan		5.511806		6.6	5.4		
31-jan		5.271528		6.566667	5.318056		
1-feb				6.540278	5.226389		

2-feb				6.359028	5.150694		
3-feb				6.313194	5.044444		
4-feb				6.297917	5.009028	5.59333333	
5-feb				6.286111	5.002083		
6-feb				6.515278	5.052778		
7-feb				6.754861	5.154167		
8-feb				7.051389	5.270833		
9-feb				7.529167	5.311806		
10-feb				7.586806	5.270833		
11-feb				7.520833	5.30625	6.46666667	
12-feb				7.459028	5.294444		
13-feb				7.390278	5.229861		
14-feb				7.219444	5.256944		
15-feb				7.127083	5.295833		
16-feb				7.104861	5.227083		
17-feb				7.027083	5.264583		
18-feb				7.001389	5.264583	7.32	
19-feb				6.972917	5.189583		
20-feb				7.028472	5.191667		
21-feb				7.09375	5.1875		
22-feb				7.106944	5.1875		
23-feb				7.108333	5.120833		
24-feb				7.207639	5.092361		
25-feb				7.261111	5.143056		
26-feb				7.351389	5.228472		
27-feb				7.322222	5.35		
28-feb				7.286806	5.351389		
01-mrt				7.238194			
02-mrt				7.173611			
03-mrt				7.140278			
04-mrt				7.147917		7.39333333	
05-mrt				7.232639			
06-mrt				7.332639			
07-mrt				7.369444			
08-mrt				7.457639			
09-mrt				7.545833			
10-mrt				7.736111			
11-mrt				7.886111			

12-mrt				7.942361			
13-mrt				8.086111		8.93333333	
14-mrt				8.147222			
15-mrt				8.245139			
16-mrt				8.372222			
17-mrt				8.490972			
18-mrt				8.5625		9.94666667	
19-mrt				8.641667			
20-mrt				8.750694			
21-mrt				8.847917			
22-mrt				8.777778			
23-mrt				8.684028			
24-mrt				8.658333			
25-mrt				8.7		9.17333333	
26-mrt				8.64375			
27-mrt				8.559028			
28-mrt				8.64375			
29-mrt				8.81875			
30-mrt				9.013889			
31-mrt				9.195833			
1-apr				9.379861		11.1433333	
2-apr				9.563194			
3-apr				9.715278			
4-apr				9.834722			
5-apr				10.01319			
6-apr				10.25833			
7-apr				10.43194			10.6233333
8-apr				10.45486		12.8866667	
9-apr				10.51111			
10-apr				10.67222			
11-apr				10.81458			
12-apr				10.96181			
13-apr				11.10556			
14-apr				11.13403			
15-apr				10.78056			
16-apr				10.62222		12.87	
17-apr				10.77083			13.8133333
18-apr				10.81597			

19-apr				10.70972			
20-apr				10.78264			
21-apr				11.08542			
22-apr				11.36319		13.6133333	
23-apr				11.71528			
24-apr				11.99653			
25-apr				12.14931			
26-apr				12.31458			
27-apr				12.36111			
28-apr				12.48611			
29-apr				12.51944			
30-apr				12.41389			
1-mei				12.425			
2-mei				12.39375			
3-mei				12.21389			
4-mei				12.30069			
5-mei				12.49931			
6-mei				12.77431		15.33	
7-mei				12.99653			15.8066667
8-mei				13.17014			
9-mei				13.04792			
10-mei				13.0125			
11-mei				12.61042			
12-mei				12.55069			
13-mei				12.75417			
14-mei				12.94722			
15-mei				13.09792			
16-mei				13.29583			
17-mei				13.54028			
18-mei				13.81597			
19-mei				14.10625			
20-mei				14.40764			
21-mei				14.61944			
22-mei				14.72431			
23-mei				14.97431			
24-mei				15.14306			
25-mei				15.27222			
26-mei				15.36389		20.2533333	

27-mei				15.37292			
28-mei				15.43056			
29-mei				15.55556			
30-mei				15.61181			
31-mei				15.71181			
1-jun				15.90556	14.16042		
2-jun				16.12986	14.28264	18.48	
3-jun				16.3375	14.44444		
4-jun				16.39028	14.65486		
5-jun				16.23819	14.65486		
6-jun				16.36111			
7-jun				16.47569			
8-jun				16.91389			
9-jun				17.14792			
10-jun				17.43819			
11-jun				17.625			
12-jun				17.90903			
13-jun				18.02361			
14-jun				18.00139			
15-jun		15.91458		17.67639			
16-jun		15.91458		17.31528			
17-jun		16.01458		17.08403	16.02361		
18-jun		16.12083		17.00764	16.02361		
19-jun		16.12917		17.06944	16.13819		
20-jun		16.17917		17.05139	16.17778		
21-jun		16.26111		17.22292	16.30347		
22-jun		16.11944		17.54583	16.38819		
23-jun		15.86806		17.74514	16.2625		
24-jun		15.96458		17.99722	16.25972		
25-jun		16.33403		17.94097	16.56319		
26-jun		16.33403		18.02986	16.90764	20.27	
27-jun				18.19583	17.24931		
28-jun				18.21597	17.51806		
29-jun				18.32917	17.60347		
30-jun				18.28889	17.87917		
1-jul				18.31319	17.99861		
2-jul				18.38125	18.37708		
3-jul				18.575	18.49653		

4-jul				18.88333	18.61389		
5-jul				19.06042	18.71319		
6-jul				19.13194	18.77778		
7-jul				19.08194	18.91458		
8-jul				19.11319	18.80833		
9-jul				18.77083	18.73472		
10-jul		18.64028		18.77083	18.78681		
11-jul		18.64028			19.03819		
12-jul		18.71389			19.00903		
13-jul		18.55417			18.76528		
14-jul		18.44028			18.67569		
15-jul		18.50764			18.68611		
16-jul		18.77014			18.79097		
17-jul		19.13542			18.93542		
18-jul		19.26458			19.09375		
19-jul		19.28889			19.18264		
20-jul		19.22569			19.18542		
21-jul		19.425			19.33125		
22-jul		19.425			19.45694		
23-jul					19.60972		
24-jul					19.67986		
25-jul					19.36528		
26-jul					19.02986		
27-jul					18.77986		
28-jul					18.22083		
29-jul					17.88958		
30-jul					17.95833		
31-jul					18.04236		
1-aug				20.82222	18.04514		
2-aug				20.82222	18.34306		
3-aug				20.88056	18.57778		
4-aug				20.9125	18.75972		
5-aug		19.28333		21.01806	18.78056		
6-aug		19.28333		20.93264	19.05972		
7-aug		19.45069		20.92778	19.25278		
8-aug		19.68056		20.98125	19.46389		
9-aug		19.88958		20.86875	19.57986		
10-aug		19.96875		20.69028	19.71875		

11-aug		19.95417		20.30556	19.78125		
12-aug		19.95764		19.88472	19.86944		
13-aug		20.08194		19.62222	19.92153		
14-aug		20.30417		19.57847	19.96319		
15-aug		20.19583		19.55694	19.80903		
16-aug		20.02361		19.47431	19.66389		
17-aug		19.72569		19.11181	19.53542		
18-aug		19.15069		18.65417	19.10556		
19-aug		18.91507		18.33194	18.84236		
20-aug				18.19167	18.90972		
21-aug				18.07986	19.07292		
22-aug				17.89097	19.35972		
23-aug				17.78333	19.45972		
24-aug				17.71944	19.42986		
25-aug				17.64583	19.20139		
26-aug				17.45833	19.14236		
27-aug				17.39792	19		
28-aug				17.58611	18.83611		
29-aug				17.65278	18.87639		
30-aug				17.64931	19.02222		
31-aug				17.63889	19.20625		
1-sep			19.71806	17.72847	19.09861		
2-sep			19.47014	17.90486	19.15069		
3-sep			19.56597	18.0625	19.00347		
4-sep			19.73194	18.22292	18.63681		
5-sep			19.94306	18.39722	18.18611		
6-sep			20.03542	18.47639	17.79167		
7-sep			19.87917	18.53333	17.57014		
8-sep			19.74583	18.58194	17.57847		
9-sep			19.37153	18.46389	17.65556		
10-sep			19.37153	18.25208			
11-sep				18.15208			
12-sep				18.16181			
13-sep				18.17778			
14-sep				18.19583			
15-sep				18.19722			
16-sep				18.28681			
17-sep				18.45069			

18-sep				18.58056			
19-sep				18.72847			
20-sep				18.81806			
21-sep				18.74931			
22-sep				18.30486			
23-sep	17.58264			18.03403			
24-sep	17.58264		16.82847	17.875			
25-sep	17.28542		16.82847	17.59236			
26-sep	17.26181		16.89167	17.49375			
27-sep	17.40972		16.76667	17.55903			
28-sep	17.54722		16.58333	17.65278			
29-sep	17.62917		16.30278	17.70972			
30-sep	17.65208		16.06319	17.70694			
1-okt	17.70764		15.81042	17.71806			
2-okt	17.84861		15.48264	17.80347			
3-okt	17.87292		15.31319	17.87014			
4-okt	17.86806		15.44167	17.83333			
5-okt	17.52917		15.55625	17.54375			
6-okt	17.16042		15.69583	17.23958			
7-okt	16.70069		15.83542	16.84028			
8-okt	16.24028		15.90139	16.42431			
9-okt	16.16458		15.92014	16.2375			
10-okt	16.10972		15.53125	16.00139			
11-okt	16.05		15.14236	15.92708			
12-okt	15.92847		14.85278	15.88264			
13-okt	15.82986		14.46042	15.96528			
14-okt	15.6125		13.98125	15.67708			
15-okt	15.59861		13.84028	15.525			
16-okt	15.66042		13.73194	15.50556			
17-okt	15.74514		13.71806	15.575			
18-okt	15.80139		13.73264	15.60486			
19-okt	15.92014		13.72708	15.72986			
20-okt	15.82847		13.75486	15.66806			
21-okt	15.47708		13.79792	15.47083			
22-okt	14.53333		13.87292	14.83889			
23-okt	14.26944		13.95625	14.60556			
24-okt	14.20972		13.90972	14.47014			
25-okt	14.23056		13.92292	14.37778			

26-okt	14.15347		13.94861	14.32708		
27-okt	14.15417		14.10208	14.33056		
28-okt	14.04931		14.56944	14.24028		
29-okt	13.88611		14.46319	14.03542		
30-okt	13.86528		14.15486	13.98681		
31-okt	13.92569		13.89792	14.00694		
1-nov	13.99167		13.72153	13.99792		
2-nov	14.02014		13.47708	13.98125		
3-nov	13.87639		13.16389	13.85		
4-nov	13.58125		12.74931	13.59583		
5-nov	13.27083		12.32917	13.38125		
6-nov	12.98264		12.10208	13.16736		
7-nov	12.54583		12.05278	12.83125		
8-nov	12.30139		11.94653	12.58472		
9-nov	12.21042		11.73333	12.42778		
10-nov	12.14653		11.45486	12.3125		
11-nov	11.92847		11.13194	12.05486		
12-nov	11.85833		10.97153	12.01111		
13-nov	11.75208		10.79653	11.84653		
14-nov	11.59514		10.69722	11.62292		
15-nov	11.56042		10.79653	11.625		
16-nov	11.51319		10.82083	11.59444		
17-nov	11.40764		10.80208	11.51042		
18-nov	11.27708		10.66458	11.59097		
19-nov	11.14792		10.52986	11.58611		
20-nov	10.97778		10.20278	11.40417		
21-nov	10.65833		9.795139	11.15764		
22-nov	10.47778		9.68125	10.92986		
23-nov	6.399306		9.811806	6.609722		
24-nov	10.66389		9.832639	10.93889		
25-nov	10.44722		9.943056	10.88125		
26-nov	10.14167		9.821528	10.70833		
27-nov	10.13889		9.744444	10.59167		
28-nov	10.16597		9.638194	10.50208		
29-nov	9.890972		9.61875	10.29861		
30-nov	9.653472		9.660417	10.04167		
1-dec			9.576389	9.75		
2-dec			9.506944	9.531944		

3-dec			9.461111	9.342361			
4-dec			9.357639	9.047917			
5-dec			9.085417	8.767361			
6-dec			8.927778	8.552083			
7-dec			8.455556	8.406944			
8-dec			8.454167	8.339583			
9-dec			8.436806	8.068056			
10-dec			8.271528	7.775			
11-dec			8.1	7.618056			
12-dec			7.803472	7.355556			
13-dec			7.527083	7.263889			
14-dec			7.425	7.134028			
15-dec			7.3375	7.145833			
16-dec			7.361111	7.028472			
17-dec			7.414583	7.017361			
18-dec			7.409722	7.270833			
19-dec			7.339583	7.944444			
20-dec			7.280556	7.849306			
21-dec			7.086806	7.781944			
22-dec			7.052778	8.172917			
23-dec			7.074306	8.8875			
24-dec			8.133333	8.883333			
25-dec			8.352778	8.495139			
26-dec			8.110417	8.156944			
27-dec			8.154167	7.669444			
28-dec			8.265972	6.969444			
29-dec			8.014583	6.719444			
30-dec			7.826389	6.521528			
31-dec			7.821528	6.4875			

Bijlage III. Saliniteit

Tabel : Saliniteitsdata

	Saliniteit						
	OS 2014	OS2015	WS 2013	WS 2014	WS 2015	Bassin 2014	Bassin 2015
1-jan		31.98156		34.03441	33.43407		
2-jan		32.40086		33.93858	33.39177		
3-jan		32.75132		33.636	33.34175		
4-jan				33.72734	33.19423		
5-jan				33.61253	33.12214		
6-jan				33.07501	33.09765		
7-jan		32.85769		32.83896	33.12828		
8-jan		32.98301		32.8767	33.05776		
9-jan		33.07723		32.99457	32.85044		
10-jan		32.93506		33.15177	33.66471		
11-jan		32.81241		32.97558	33.69634		
12-jan		32.80254		32.69947	34.05381		
13-jan				32.75301	34.70393		
14-jan		32.61978		32.71831	34.91832	24.433333	
15-jan		32.58607		32.7487	34.65751		
16-jan		32.60976		32.85017	35.04863		
17-jan		32.69587		32.55822	34.87276	24.556667	
18-jan		32.83765		32.81844	34.69745		
19-jan		33.0874		32.42519	34.13632		
20-jan		33.29033		32.39592	33.68351		
21-jan		33.3969		32.54963	33.52858		
22-jan		33.58763		32.39405	33.48644		
23-jan		33.63976		32.31693	33.61377	25.6	
24-jan		33.87753		31.66279	33.56493		
25-jan		33.62485		31.56691	33.80526		
26-jan		33.51045		32.00647	33.71263		
27-jan		32.92879		31.89694	33.86866		
28-jan		32.89622		32.55022	33.74416		
29-jan		33.1446		32.67974	32.67877	24.566667	
30-jan		33.4431		32.54266	32.17405		
31-jan		33.45911		32.3869	32.21671		
1-feb				32.82682	32.44928		

2-feb				32.74744	32.88527		
3-feb				32.57626	33.05593		
4-feb				32.41863	33.119	24.566667	
5-feb				32.36975	33.30547		
6-feb				32.71589	33.6613		
7-feb				33.07305	33.7232		
8-feb				33.40385	33.36013		
9-feb				34.21689	33.02616		
10-feb				34.23338	32.6932		
11-feb				34.27143	32.60017	24.133333	
12-feb				34.49063	32.46954		
13-feb				34.46018	32.26723		
14-feb				34.51402	32.37972		
15-feb				33.89756	32.16572		
16-feb				33.83213	32.05842		
17-feb				33.48527	32.0552		
18-feb				33.00655	32.1086	24.433333	
19-feb				32.85005	32.25172		
20-feb				32.9303	32.34495		
21-feb				33.0948	32.22416		
22-feb				33.23933	32.26616		
23-feb				33.14761	32.00306		
24-feb				33.06698	31.82556		
25-feb				32.9738	31.80956		
26-feb				33.02718	31.56582		
27-feb				33.07698	31.85934		
28-feb				33.1067	31.70094		
01-mrt				32.84438			
02-mrt				32.78946			
03-mrt				32.63349			
04-mrt				32.53371		24.4	
05-mrt				32.58512			
06-mrt				32.64919			
07-mrt				32.64734			
08-mrt				32.6861			
09-mrt				32.58953			
10-mrt				32.82969			
11-mrt				33.18861			

12-mrt				33.1771			
13-mrt				33.15846		24	
14-mrt				32.93868			
15-mrt				33.11268			
16-mrt				32.96747			
17-mrt				32.86981			
18-mrt				32.9012		24.3	
19-mrt				32.78018			
20-mrt				32.73732			
21-mrt				32.64521			
22-mrt				32.45738			
23-mrt				32.43664			
24-mrt				32.36766			
25-mrt				32.41141		24.6	
26-mrt				33.06309			
27-mrt				33.15279			
28-mrt				33.05905			
29-mrt				33.07734			
30-mrt				33.13062			
31-mrt				33.20574			
1-apr				33.29253		25	
2-apr				33.32894			
3-apr				33.34681			
4-apr				33.2977			
5-apr				33.17303			
6-apr				33.07261			
7-apr				32.92372			25.3333333
8-apr				32.56797		24.7	
9-apr				32.24603			
10-apr				32.29425			
11-apr				32.44292			
12-apr				32.61922			
13-apr				32.76847			
14-apr				32.95713			
15-apr				33.34945			
16-apr				33.48625		24.566667	
17-apr				33.47507			26.1333333
18-apr				33.54916			

19-apr				33.6414			
20-apr				33.71894			
21-apr				33.58854			
22-apr				33.50058	24.833333		
23-apr				33.40569			
24-apr				33.34979			
25-apr				33.36906			
26-apr				33.30254			
27-apr				33.28041			
28-apr				33.26466			
29-apr				33.28882			
30-apr				33.32948			
1-mei				33.32519			
2-mei				33.42511			
3-mei				33.5722			
4-mei				33.56148			
5-mei				33.51992			
6-mei				33.51572	24.833333		
7-mei				33.09853			23.1666667
8-mei				32.24663			
9-mei				33.49502			
10-mei				34.92943			
11-mei				35.43245			
12-mei				35.4547			
13-mei				35.15812			
14-mei				34.6448			
15-mei				34.4599			
16-mei				34.48526			
17-mei				34.48759			
18-mei				34.44292			
19-mei				34.30888			
20-mei				34.12922			
21-mei				33.97811			
22-mei				33.91593			
23-mei				33.85478			
24-mei				33.79181			
25-mei				33.77939			
26-mei				33.79073	28.066667		

27-mei				33.82266			
28-mei				33.75704			
29-mei				33.71302			
30-mei				33.83663			
31-mei				33.94267			
1-jun				33.95739			
2-jun				33.94719		25.933333	
3-jun				33.88775			
4-jun				33.87525			
5-jun				33.67497			
6-jun				33.45586			
7-jun				33.69437			
8-jun				33.60129			
9-jun				33.64293			
10-jun				33.6098			
11-jun				33.60355			
12-jun				33.65322			
13-jun				33.84095			
14-jun				33.99182			
15-jun		32.82525		34.19489			
16-jun		32.86523		34.34262			
17-jun		33.05757		34.42389	33.5534		
18-jun		33.49768		34.44757	33.58181		
19-jun		33.82701		34.40171	33.59301		
20-jun		33.97858		34.32027	33.69804		
21-jun		34.11188		34.28218	33.73574		
22-jun		34.0921		34.17025	33.67649		
23-jun		34.34447		34.09135	33.71322		
24-jun		34.04244		34.03725	33.77437		
25-jun		33.48913		34.02113	33.82134		
26-jun		32.84362		34.03302	33.81455	28.1	
27-jun				34.04775	33.8706		
28-jun				34.06285	33.87823		
29-jun				34.01687	33.99395		
30-jun				34.01761	34.01283		
1-jul				34.03377	34.1414		
2-jul				34.04471	34.18586		
3-jul				34.06406	34.23329		

4-jul				34.03644	34.33993		
5-jul				34.03175	34.31074		
6-jul				34.01346	34.231		
7-jul				33.97106	34.07699		
8-jul				33.97456	33.58321		
9-jul				33.84694	33.28562		
10-jul		33.69208			33.1348		
11-jul		33.75973			33.18151		
12-jul		33.7889			33.25058		
13-jul		33.83301			33.2888		
14-jul		33.83304			33.41279		
15-jul		33.76685			33.35974		
16-jul		33.74056			33.43632		
17-jul		33.68511			33.64314		
18-jul		33.72861			33.66613		
19-jul		33.73835			33.67969		
20-jul		33.76207			33.71806		
21-jul		33.77346			33.72184		
22-jul		33.82392			33.68654		
23-jul					33.621		
24-jul					33.69154		
25-jul					33.88375		
26-jul					33.7793		
27-jul					33.61553		
28-jul					35.16419		
29-jul					35.28813		
30-jul					34.65859		
31-jul					34.1413		
1-aug					34.08826		
2-aug				33.53607	34.066		
3-aug				33.53898	34.11625		
4-aug				33.54341	34.13499		
5-aug		33.91801		33.53614	34.10431		
6-aug		33.84279		33.55997	34.09248		
7-aug		33.93792		33.53189	34.07421		
8-aug		33.94743		33.47461	34.08313		
9-aug		33.91375		33.46503	34.12875		
10-aug		33.88908		33.4394	34.08966		

11-aug		33.94619		33.14576	34.05265		
12-aug		33.95		33.50416	34.07027		
13-aug		33.84152		33.56758	34.15716		
14-aug		33.63879		33.56713	34.24391		
15-aug		33.68827		33.6683	34.32304		
16-aug		33.64235		33.814	34.32764		
17-aug		33.66049		33.89971	34.30522		
18-aug		33.55633		33.78126	34.29455		
19-aug		33.50992		33.70085	34.30088		
20-aug				33.69294	34.25509		
21-aug				33.6685	34.18641		
22-aug				33.85202	34.14837		
23-aug				33.85716	34.1783		
24-aug				33.84944	34.08361		
25-aug				33.90616	33.88827		
26-aug				33.82447	33.54374		
27-aug				33.81746	33.52764		
28-aug				33.87947	33.70009		
29-aug				33.8522	33.83247		
30-aug				33.6482	33.9499		
31-aug				33.57309	33.96465		
1-sep			32.93704	33.55426	33.94599		
2-sep			32.98523	33.55748	34.04194		
3-sep			32.91617	33.72106	34.07935		
4-sep			32.85623	33.79506	34.09868		
5-sep			32.90285	33.77375	34.18314		
6-sep			32.90046	33.72283	34.37744		
7-sep			32.87747	33.74465	34.22653		
8-sep			32.79527	33.82912	34.08499		
9-sep			32.75936	33.97917	33.98949		
10-sep			32.75094	34.08827	33.90225		
11-sep				34.17033			
12-sep				34.17483			
13-sep				34.11864			
14-sep				34.02803			
15-sep				33.98134			
16-sep				33.87158			
17-sep				33.79458			

18-sep				33.41193			
19-sep				33.03578			
20-sep				32.97281			
21-sep				32.97599			
22-sep				33.03265			
23-sep	32.24588			33.0385			
24-sep	32.40673		33.11891	33.0476			
25-sep	32.63886		33.17379	33.00778			
26-sep	32.83157		33.24445	32.98177			
27-sep	33.00784		33.34728	32.8947			
28-sep	33.00076		33.42457	32.86758			
29-sep	32.96554		33.51269	32.82161			
30-sep	33.01951		33.45505	32.67047			
1-okt	33.15712		33.34559	32.58889			
2-okt	33.24269		33.16991	32.579			
3-okt	33.23814		33.16433	32.6181			
4-okt	33.3065		33.17417	32.63499			
5-okt	33.26462		33.20024	32.59226			
6-okt	33.21229		33.26077	32.618			
7-okt	33.40758		33.36762	32.4256			
8-okt	33.52643		33.40204	32.13664			
9-okt	33.71055		33.38699	32.08974			
10-okt	33.77627		33.04875	32.10939			
11-okt	33.797		33.11991	32.08218			
12-okt	33.83336		33.057	32.18368			
13-okt	33.86413		32.70283	32.44978			
14-okt	33.8586		32.07646	32.3707			
15-okt	33.86655		32.1592	32.22445			
16-okt	33.84236		32.28179	32.17085			
17-okt	33.8216		32.36055	32.14344			
18-okt	33.75946		32.39016	32.08528			
19-okt	33.72711		32.43451	32.20414			
20-okt	33.71576		32.45964	32.43831			
21-okt	33.68167		32.48375	32.94065			
22-okt	33.69119		32.46183	33.74632			
23-okt	33.63804		32.50902	33.58438			
24-okt	33.63456		32.51598	33.60066			
25-okt	33.61473		32.56204	33.6041			

26-okt	33.62434		32.54815	33.58004			
27-okt	33.60451		33.21106	33.62218			
28-okt	33.59606		34.81302	33.64909			
29-okt	33.71673		34.72402	33.64314			
30-okt	33.66394		34.75537	33.6105			
31-okt	33.6132		34.78444	33.58669			
1-nov	33.64549		34.71352	33.52532			
2-nov	33.67474		34.49603	33.46585			
3-nov	33.70449		34.40657	33.49551			
4-nov	33.69761		34.20553	33.62214			
5-nov	33.68785		34.08542	33.63649			
6-nov	33.72721		33.79749	33.65874			
7-nov	33.67873		33.49211	33.79226			
8-nov	33.77489		33.34822	33.83441			
9-nov	33.81425		33.47532	33.87586			
10-nov	33.90632		33.48088	33.88782			
11-nov	33.89316		33.39228	33.83638			
12-nov	33.93558		33.39523	33.82858			
13-nov	33.95825		33.47067	33.74964			
14-nov	33.94144		33.6118	33.67567			
15-nov	33.98585		33.97269	33.7273			
16-nov	34.00103		33.99833	33.76273			
17-nov	33.97139		33.61465	33.70819			
18-nov	33.95958		33.265	33.8171			
19-nov	33.97128		33.64918	33.91234			
20-nov	33.99191		33.58006	33.90169			
21-nov	34.01829		33.34615	33.99294			
22-nov	34.02065		33.5008	33.86482			
23-nov	34.1674		33.63686				
24-nov	34.17812		33.6758	34.06337			
25-nov	34.06461		33.96856	34.1591			
26-nov	33.93993		33.67449	34.22543			
27-nov	33.9075		33.44522	34.16028			
28-nov	33.91899		33.14324	34.08325			
29-nov	33.91752		33.09551	34.03217			
30-nov	33.94697		33.18617	33.98893			
1-dec			32.90554	34.0223			
2-dec			32.57834	34.17581			

3-dec			32.54415	34.29174			
4-dec			32.60071	34.34753			
5-dec			32.29319	34.25097			
6-dec			32.36479	34.13446			
7-dec			32.10323	34.20768			
8-dec			32.20774	34.22591			
9-dec			32.35372	34.04195			
10-dec			32.5048	33.75913			
11-dec			32.1455	33.56082			
12-dec			32.08186	33.11411			
13-dec			32.10835	33.03972			
14-dec			31.88366	33.03787			
15-dec			31.76389	33.22301			
16-dec			31.61878	33.26454			
17-dec			31.70602	33.27763			
18-dec			31.77548	33.36061			
19-dec			31.65138	34.27451			
20-dec			31.6795	34.26127			
21-dec			31.27438	34.09142			
22-dec			31.73238	34.16246			
23-dec			31.93894	34.65142			
24-dec			34.01076	34.49151			
25-dec			34.28542	34.21716			
26-dec			34.2393	34.01727			
27-dec			34.26202	33.87329			
28-dec			34.34871	33.9757			
29-dec			34.02951	33.9188			
30-dec			33.91285	33.68673			
31-dec			34.24797	33.46202			

Bijlage IV. Productiecijfers Wierderij

Ulva lactuca 2014

Tabel : Behandeling 1 Productie *Ulva lactuca*

Datum oogst	<i>Ulva lactuca</i> opbrengsten kg ds ha ⁻¹				se			
	1m	2m	3m	totaal 1-3m	1m	2m	3m	1-3m
24-jun	58.11	43.08	31.96	133.15	5.99	9.02	4.33	16.18
8-jul	18.76	18.95	11.24	48.95	7.93	4.59	2.86	12.72
22-jul	10.73	0.97	0.00	11.70	9.65	0.97	0.00	9.26
5-aug	1.08	0.00	0.00	1.08	1.08	0.00	0.00	1.08

Tabel : Behandeling 1 Absolute groeisnelheid *Ulva lactuca*

<i>Ulva lactuca</i> absolute groeisnelheid kg ds ha ⁻¹ d ⁻¹				
diepte	Oogst 24- juni	Oogst 8-juni	Oogst 22-jul	Oogst 5-aug
1m	4	1	1	0
2m	3	1	0	0
3m	2	1	0	0
totaal (1-3m)	10	3	1	0

Tabel : Behandeling 2 Productie *Ulva lactuca*

Datum	Opbrengst <i>Ulva lactuca</i> kg ds ha ⁻¹			se		
	1m	2m	totaal 1-2m	1m	2m	1-2m
24-jun	99.05	48.85	147.90	16.32	15.97	26.72
8-jul	16.74	12.35	29.09	9.15	2.12	11.26
22-jul	15.93	1.12	17.05	7.90	1.12	6.86
5-aug	13.43	0.00	13.43	7.97	0.00	7.97

Tabel : Behandeling 4, 5, 6 en 8 Productie *Ulva lactuca*

Datum	Opbrengst <i>Ulva lactuca</i> kg ha ⁻¹				se			
	beh4	beh5	beh6	beh8	beh4	beh5	beh6	beh8
24-jun	79.05	103.74	76.01	77.34	31.68	24.19	28.16	32.49
8-jul	13.81	14.69	19.52	49.46	4.76	5.41	0.84	11.18
22-jul	21.12	22.77	41.95	52.51	7.77	3.35	29.07	33.74
5-aug	7.74	9.11	30.94	47.33	6.63	4.48	22.26	30.31

Ulva lactuca 2015

Tabel : Productie *Ulva lactuca*

Datum oogst	Versgewicht <i>Ulva lactuca</i> g	Opbrengst <i>Ulva lactuca</i> kg ds ha ⁻¹
10-jun	20270	2172
25-jun	8515	912
31-jul	800	86

Tabel : Absolute groeisnelheid *Ulva lactuca*

Absolute groeisnelheid <i>Ulva lactuca</i> 2015 kg ds ha ⁻¹ dag ⁻¹		
Oogst 10-jun	Oogst 25-6-2015	Oogst 31-jul

72	61	2
----	----	---

Bruinwieren 2013/2014

Tabel : Productie en absolute groeisnelheid *Saccharina latissima*

Vergewicht					Productie				Absolute groeisnelheid			
g					kg ds ha ⁻¹				kg ds ha ⁻¹ dag ⁻¹			
	1m	2m	3m	totaal 1-3m	1m	2m	3m	totaal 1-3m	1m	2m	3m	totaal 1-3m
herh 1	5245	1380	356	6981	15735	4140	1068	20943	103.52	27.24	7.03	137.78
herh 2	5874	382	142	6398	17622	1146	426	19194	115.93	7.54	2.80	126.28
herh 3	2276	302	36	2614	6828	906	108	7842	44.92	5.96	0.71	51.59
totaal	13395	2064	534	15993								
gem/lijn	4465	688	178	5331								

Tabel : Gemiddelde productie en absolute groeisnelheid *Saccharina latissima*

	Gem. productie kg ds ha ⁻¹	se		Absolute groeisnelheid kg ds ha ⁻¹ d ⁻¹	se
	29-4-2014	29-4-2014		29-4-2014	29-4-2014
1m	13395	3328.38	1m	88.1	21.9
2m	2064	1040.31	2m	13.6	6.8
3m	534	282.34	3m	3.5	1.9
totaal 1-3m	15993	4106.66	totaal 1-3m	105.2	27.0

Tabel : Productie vers *Laminaria digitata*

	Versgewicht			
	g			
	1m	2m	3m	totaal 1-3m
herh 1	1487	217	0	1704
herh 2	1567	9.5	0	1576.5
totaal	3054	226.5	0	3280.5
gem/lijn	1527	113.25	0	1640.25

Tabel : Productie en absolute groeisnelheid *Laminaria digitata*

	Gem. productie kg ds ha ⁻¹	se	Absolute groeisnelheid kg ds ha ⁻¹ dag ⁻¹	se
1m	4581	120	34.4	0.90
2m	339.75	311.25	2.6	2.34
3m	0	0	0.0	0.00
totaal 1-3m	4920.75	191.25	37.0	1.44

Bruinwierproductie 2014/2015

Tabel : Productie en absolute groeisnelheid *Saccharina latissima*

		Productie kg ds ha ⁻¹		Absolute groeisnelheid kg ds ha ⁻¹ dag ⁻¹	
Touwtype	Diepte	11-6-2015		11-6-2015	
+ behandeling	m	gem	se	gem	se
Groen (Nieuw gespoeld)	1m.	3475	1711	27	13

	2m.	4918	606	38	5
	3m.	1089	405	9	3
	totaal 1-3m.	9482	2723	74	21
Blauw (Oud gespoeld)	1m.	8338		65	
	2m.	4882		38	
	3m.	1220		10	
	totaal 1-3m.	14441		113	
Zwart (Nieuw niet gespoeld)	1m.	6756	638	53	5
	2m.	4846	511	38	4
	3m.	1679	377	13	3
	totaal 1-3m.	13281	1526	104	12
Rood (Oud niet gespoeld)	1m.	11047		86	
	2m.	3711		29	
	3m.	1130		9	
	totaal 1-3m.	15888		124	

Tabel : Absolute groeisnelheid *Saccharina latissima* in de jaren 2013/2014 en 2014/2015

2014	Absolute groeisnelheid kg ds ha ⁻¹ dag ⁻¹	
(n=3)	gem	se
	29-04-2014	29-04-2014
1m	88	22
2m	14	7
3m	4	2
totaal 1-3m	105	27

2015	Absolute groeisnelheid kg ds ha ⁻¹ dag ⁻¹	
(n=6)	gem	se

	11-6-2015	11-6-2015
1m	52	10
2m	37	2
3m	10	1
totaal 1-3m	99	10

Bijlage V. Zeeuwse Tong experiment

5.3 Proefopzet

Het proefbedrijf van Stichting Zeeuwse Tong ligt in Colijnsplaat aan de voet van de Zeeland brug (afbeelding 1). Op het proefbedrijf werd tot eind 2013 de integratie van diverse teelten onderzocht. Op deze locatie werden vier kuub's bakken neergezet, om een verkennend onderzoek naar de *Ulva* productie op het land uit te voeren (afbeelding 2). In twee van de bakken werd de productiviteit van *Ulva* gemeten. De overige twee bakken dienden als opslagbak. De bakken stonden achter een loods in de schaduw (door te veel directe UV-straling verkleurd *Ulva* wit en sterft af). De bakken zijn aangesloten op een doorstromingssysteem met Oosterscheldewater en een waterverversing van 3 keer per etmaal. Saliniteit van het Oosterscheldewater lag constant bij 32‰. Voor de watertemperatuur is gebruik gemaakt van data van Rijkswaterstaat. De watertemperatuur lag tijdens de onderzoeksperiode tussen de 17 -22 °C (figuur). Helaas heeft het meetpunt van Rijkswaterstaat niet geheel de onderzoeksperiode gewerkt. Data hiervoor ontbreken. Hiernaast werd een beluchting geplaatst in de bak, om een circulatie van het zeewier in de bak mogelijk te maken. De *Ulva lactuca* die voor de experimenten werd gebruikt is afkomstig van de 'Wierderij'.

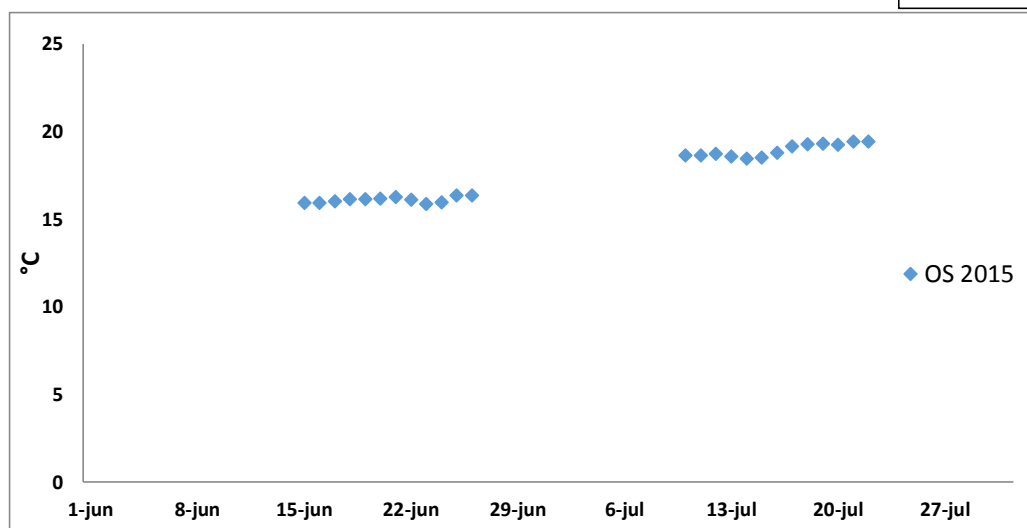


Locatie



Systeem
Afbeelding 2 :
voor *Ulva* kweek

Afbeelding 1 : Locatie Stichting Zeeuwse Tong
Proefopstelling



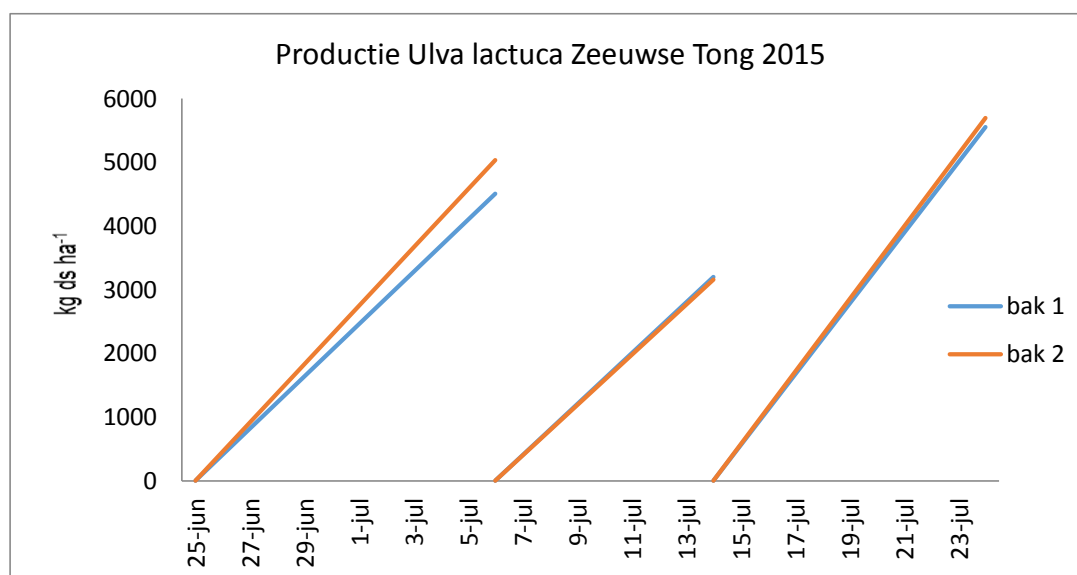
Figuur 1:
Temperatuur

Oosterscheldewater

5.4 Resultaten

De proef op de Zeeuwse Tong is ingezet om na te gaan welke productiesnelheden gerealiseerd kunnen worden onder geconditioneerde en goed controleerbare omstandigheden. De productiecijfers zijn aanzienlijk hoger dan wat er tot nu toe op de “Wierderij” geproduceerd kon worden. In een periode van een maand zijn er drie oogsten gerealiseerd. Voor bak 1 kon een productie van 5032 kg ds ha⁻¹ gerealiseerd worden binnen 10 dagen. Hierna nam de productie af naar 3157 kg ds ha⁻¹, maar liep tijdens de derde oogst weer op naar 5700 kg ds ha⁻¹. Temperatuur heeft hierbij geen rol gespeeld.

De producties tussen de bakken zijn vergelijkbaar. Per bak is een totale hoeveelheid van 13 ton ds ha⁻¹ voor bak 1 en voor bak 2 van 14 t ds ha⁻¹ geproduceerd.



Tabel 1. *Ulva lactuca* productie 2015

Figuur 2: Productie *Ulva lactuca* Zeeuwse Tong 2015

Bijlage VI. Productiecijfers landbouwgewassen

Bijlage VII.

Chemische analyse touw

Regio's	⌵ ⌶	Nederland			
Perioden	⌵ ⌶	2000	2013	2014	2015*
Onderwerpen	⌵ ⌶	Bruto opbrengst per ha	Bruto opbrengst per ha	Bruto opbrengst per ha	Bruto opbrengst per ha
Gewassen	⌶	1 000 kg			
Totaal tarwe		8,4	8,7	9,2	9,9
Wintertarwe		8,6	9,1	9,5	10,2
Zomertarwe		6,8	7,4	7,1	7,7
Wintergerst		5,8	7,8	8,3	9,2
Zomergerst		6,2	6,9	6,8	7,0
Rogge		5,0	3,9	4,1	5,3
Haver		5,6	5,6	5,7	6,0
Triticale		5,4	5,1	6,2	6,8
Korrelmais		16,9	11,9	13,7	9,4
Snijmais		39,7	44,7	47,7	41,1
Corn Cob Mix		18,5	11,4	13,5	12,1
Bruine bonen		2,8	3,0	3,2	.
Koolzaad		3,4	3,0	3,3	3,9
Vezelvlas		6,1	6,0	5,2	.
Lijnzaad		0,9	1,1	0,7	.
Cichorei		44,7	40,5	43,6	.
Hennep		5,9	8,0	8,0	.
Aardappelen, totaal		46,5	42,2	45,7	.
Consumptieaardappelen, totaal		53,1	48,6	52,3	.
Consumptieaardappelen op klei		53,2	47,6	51,2	.
Consumptieaardappelen op zand of veen		52,9	50,8	54,3	.
Pootaardappelen, totaal		36,0	34,8	37,0	.
Pootaardappelen op klei		36,8	35,1	36,7	.
Pootaardappelen op zand of veen		32,2	33,1	39,0	.
Zetmeelaardappelen		43,9	38,5	42,2	.
Suikerbieten		61,3	78,2	90,8	.
Zaai-uien		62,0	54,6	54,6	.
Zaai-uien na uitval		60,0	50,1	50,7	.

© Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag/Heerlen 21-10-2015

<i>Ulva lactuca</i> productie Zeeuwse Tong 2015 kg ds ha ⁻¹ d ⁻¹		
Datum oogst	bak 1	bak 2
oogst 6-jul	409.9	457.5
oogst 14-jul	400.3	394.6
oogst 24-jul	555	570

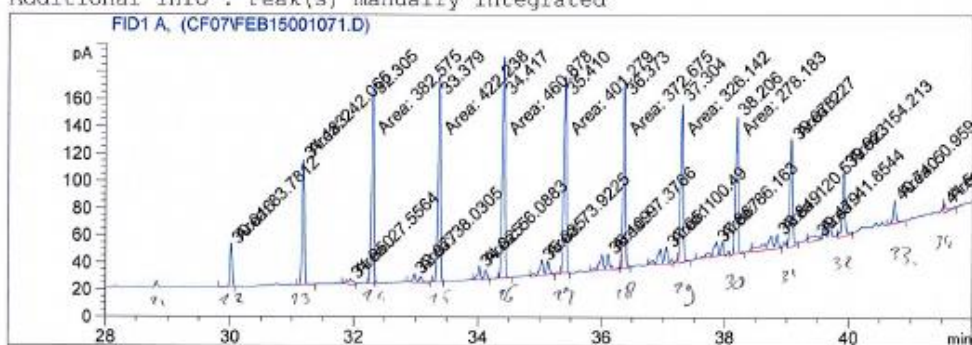
Bron: <http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=7100OOGS&D1=2&D2=a&D3=0&D4=6,19-21&HDR=G2,G3,T&STB=G1&VW=T>

→ Zoekterm: Productiecijfers landbouwgewassen in Nederland

Data File C:\CHEM32\1\DATA\CF07\FEB15001071.D
Sample Name: TOUW

```
=====
Acq. Operator   : Analyst
Acq. Instrument : Instrument C           Location : Vial 102
Injection Date  : 27-2-2015 16:30:58
                                           Inj Volume : 1 µl
Acq. Method     : C:\CHEM32\1\METHODS\CB09.M
Last changed    : 24-1-2015 13:31:37 by Analyst
Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\CB09.M
Last changed    : 2-3-2015 15:08:50 by Analyst
                  (modified after loading)
Sample Info     : ZEEWIER PROJECT
=====
```

Additional Info : Peak(s) manually integrated



Normalized Percent Report

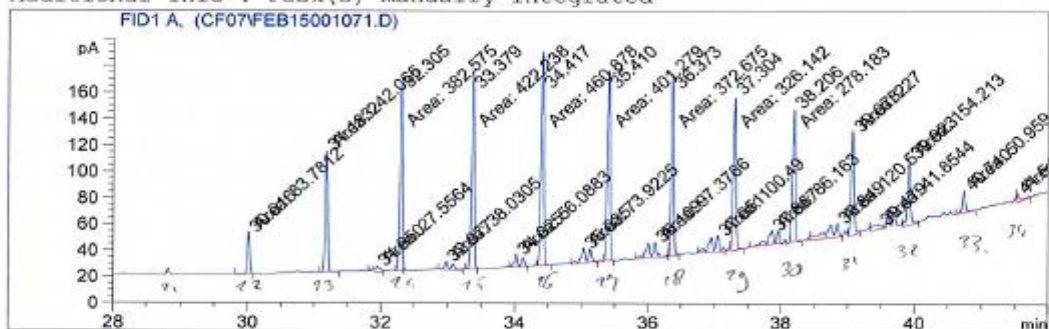
```
=====
Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : Monday 2 March 2015 15:07:41
Multiplier:    : 1.0000
Dilution:      : 1.0000
Sample Amount: : 1.56780 [ISTD %] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
=====
```


Data File C:\CHEM32\1\DATA\CF07\FEB15001071.D
Sample Name: TOUW

```
=====
Acq. Operator   : Analyst
Acq. Instrument : Instrument C                Location : Vial 102
Injection Date  : 27-2-2015 16:30:58
                                           Inj Volume : 1 µl

Acq. Method     : C:\CHEM32\1\METHODS\CB09.M
Last changed    : 24-1-2015 13:31:37 by Analyst
Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\CB09.M
Last changed    : 2-3-2015 15:08:50 by Analyst
                  (modified after loading)
Sample Info     : ZEEWIER PROJECT
=====
```

Additional Info : Peak(s) manually integrated



Normalized Percent Report

```
=====
Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : Monday 2 March 2015 15:07:41
Multiplier:    : 1.0000
Dilution:      : 1.0000
Sample Amount: : 1.56780 [ISTD %] (not used in calc.)
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
=====
```

Figuur : C12- C34

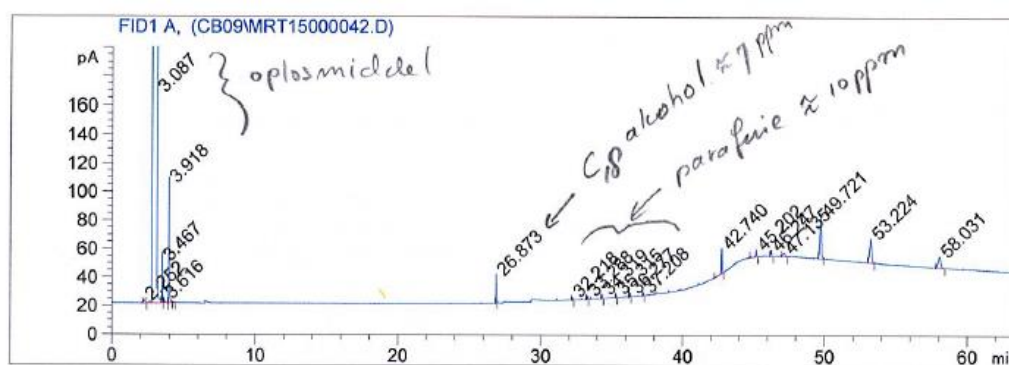
Touw Nieuw

Data File C:\CHEM32\1\DATA\CB09\MRT15000042.D
Sample Name: spark-up

Touw 2 in cyclohexaan

```
=====
Acq. Operator   : Analyst
Acq. Instrument : Instrument C           Location : Vial 102
Injection Date  : 30-3-2015 19:37:46    Inj Volume : 1 µl

Acq. Method     : C:\CHEM32\1\METHODS\CB09.M
Last changed    : 30-3-2015 19:27:17 by Analyst
                  (modified after loading)
Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\CB09.M
Last changed    : 30-3-2015 20:41:20 by Analyst
                  (modified after loading)
Sample Info     : Tk-1
```



Figuur : C18 en parafine

Bijlage VII Aquariumproeven

Aquariumproef 1

Arkema	N/P (Fe+Mn)	0.023	-0.05
Arkema	N/P	0.014	-0.03
OS	0	0.076	0.028
OS	N/P (Fe+Mn)	0.067	-0.005
OS	N/P	0.065	0.054

Tabel: Gemiddelde lengtegroei ($n=12 \pm se$) over 9 dagen van *Saccharina latissima* in water afkomstig van verschillende locaties, met bijbehorende RGR.

watertype	groei (cm)	se	RGR (d^{-1})	se
Oosterschelde	5.42	0.88	0.0250	0.00380
Arkema+UV	3.92	0.53	0.0191	0.00239
Arkema	2.83	0.55	0.0141	0.00237

Aquariumproef 2

Tabel : Gemiddelde totale lengte (mm) ($n=5 \pm se$) *Saccharina* op lijn en berekende RGR voor periode T1-T3 voor de verschillende watertypen en behandelingen.

		T=1 (2-5)		T=2 (9-5)		T=3 (16-5)		T1-T3 (14dagen)	
watertype	behandeling	Lengte	se	lengte	se	lengte	se	RGR(d^{-1})	se
Arkema	0	346	51.37	412	59.43	399.2	46.22	0.0116	0.0035
Arkema	N/P (Fe+Mn)	269	47.10	316	51.46	215	44.36	-0.018	0.0052
Arkema	N/P	283	77.57	313	78.27	250	68.04	-0.009	0.0052
OS	0	288	105.62	490	158.69	598	183.07	0.0552	0.0045
OS	N/P (Fe+Mn)	323	53.33	517	23.54	515	38.28	0.0381	0.0124
OS	N/P	263	63.93	416	82.45	605	140.15	0.0585	0.0078

Tabel 2. RGR voor periode T1-T2 en T2-T3 *Saccharina* per behandeling en watertype

Kolvenproef 1

Tabel : Resultaten van het groei-experiment in kolven met verschillende behandelingen in drie watertypen

(OS= Oosterschelde, WS= Westerschelde, BS= Arkema bassin). behandeling	bladopp (cm ²)				RGR (d ⁻¹)		
	0d	13d	18d	25d	13d	18d	25d
OS	2.05	13.82	22.61	29.83	0.147	0.133	0.103
WS	4.59	15.41	19.11	21.35	0.093	0.079	0.059
BS	5.16	11.90	16.09	19.21	0.064	0.063	0.051
OS-P	4.03	14.15	18.66	22.52	0.097	0.085	0.066
WS-P	3.50	12.41	12.55	15.09	0.097	0.071	0.056
BS-P	3.26	11.89	13.81	14.99	0.099	0.080	0.059
OS+T	2.74	12.14	12.82	21.61	0.114	0.086	0.079
WS+T	4.71	13.93	18.19	22.40	0.083	0.075	0.060
BS+T	3.56	9.26	9.99	12.56	0.074	0.057	0.049
OS+Zn	3.80	13.47	17.04	23.84	0.097	0.083	0.071
WS+Zn	2.24	6.61	9.73	10.18	0.083	0.082	0.058
BS+Zn	4.09	10.01	10.54	14.26	0.069	0.053	0.048
OS-pH10 (K)	3.56	6.68			0.048		
OS-pH10 (Na)		6.81	11.48	23.20		0.136	0.121
WS-pH10 (K)	2.49	3.01			0.015		
WS-pH10 (Na)		6.03	9.13	15.66		0.123	0.106
BS-pH10 (K)	2.85	3.07			0.006		
BS-pH10 (Na)		6.18	8.40	13.13		0.118	0.099
OS+N	2.78	11.98	19.77	34.09	0.112	0.109	0.096
WS+N	2.16	11.82	13.71	20.79	0.131	0.103	0.087
BS+N	5.28	18.06	25.80	41.04	0.095	0.088	0.079
OS+P	2.13	10.12	15.93	21.53	0.120	0.112	0.089
WS+P	3.44	16.88	19.20	26.03	0.122	0.096	0.078
BS+P	3.87	9.55	10.57	12.64	0.070	0.056	0.046
OS+NP	3.57	16.24	28.53	46.96	0.117	0.115	0.099
WS+NP	2.01	10.77	14.27	25.52	0.129	0.109	0.098
BS+NP	5.38	12.30	12.68	16.31	0.064	0.048	0.043

Tabel 3a. Relatieve groeisnelheid van *Saccharina* bij verschillende behandelingen en typen water. De berekende RGR is de hellingshoek van de lineaire regressie van de ln-getransformeerde waardes tegen de tijd.

Behandeling	RGR, d ⁻¹		
	OS	WS	BS
Controle	0.111	0.064	0.054
+ N	0.102	0.091	0.083
+P	0.083	0.083	0.048
+NP	0.105	0.102	0.044
+T	0.082	0.064	0.051
+Zn	0.075	0.065	0.05

Kolvenproef 2

Watertype	gemiddelde				se			
	RGR T1-T0	RGR T2-T0	RGR T3-T0	RGR T4-T0	T1-T0	T2-T0	T3-T0	T4-T0
WS 1	0.058	0.033	0.031	0.011	0.0076	0.0003	0.0060	0.0003
WS 2	0.053	0.051	0.056	0.050	0.0082	0.0036	0.0029	0.0032
WS 3	0.013	0.032	0.041	0.039	0.0201	0.0055	0.0035	0.0022
WS 5	0.017	0.034	0.044	0.044	0.0225	0.0090	0.0112	0.0092
BS 6	0.038	0.032	0.025	0.029	0.0063	0.0067	0.0065	0.0100
BS 7	0.032	0.038	0.033	0.025	0.0015	0.0022	0.0029	0.0012
BS 8	0.027	0.031	0.032	0.026	0.0133	0.0054	0.0057	0.0056
BS 9	0.005	0.020	0.022	0.017	0.0174	0.0060	0.0068	0.0059
BS 10	0.021	0.021	0.029	0.019	0.0166	0.0082	0.0054	0.0048

Tabel 4. Resultaten van het groei-experiment in kolven met verschillende N:P verhoudingen in twee watertypen (WS=Westerschelde, BS= Arkema bassin).

Bijlage D. Verslag WP Raffinage

SPARK-UP – Raffinage van gesileerd bruinwier



Inleiding

Het doel van dit deel van het SparkUp project betreft een verkenning van de route van gesileerd bruin zeewier naar eindgebruikers. Hiertoe wordt er gesileerd zeewier geraffineerd volgens een methode van meervoudige extractie waarbij de geëxtraheerde proteïnen worden gepresenteerd aan verschillende eindgebruikers. Zij zullen vervolgens onderzoeken of deze proteïnen bruikbaar zijn in bestaande productielijnen of voor nieuwe producten. Het beschikbaar stellen van het gesileerde zeewier alsook de labextractie en pilotextractie van dit wier, alsook de bijbehorende analyses van de samenstelling hiervan, valt binnen dit deel van het SparkUp project, en is uitgevoerd door Hortimare volgens de bepaling als zijn opgenomen in de overeenkomst "Refinery Project".

Doel

Vaststelling van geschiktheid van gesileerd zeewier als grondstof voor proteïnen met verschillende food toepassingen alsook als grondstof voor eventuele andere extracten zoals suikers en mineralen.

Resultaat en conclusie

Het project is succesvol geweest in uitvoering alsook in het resultaat. Het is gelukt om al het gesileerde zeewier te verwerken volgens de methode van meervoudige extractie zoals eerder in labschaal opgesteld door Hortimare in samenwerking met Danvos. Hiertoe is gebruik gemaakt van de pilotopstelling met sequentiële waterige extractie, ultrafiltratie en reverse osmose bij het bedrijf Huiberts Bloembollen in Sint-Maartensvlotbrug. De concentraten zijn vervolgens gedroogd tot poeder en het biomassa residu is eveneens gedroogd en vermalen tot poeder bij het bedrijf Maris-Projects in Schijndel. De samenstelling van de verschillende processtromen zijn geanalyseerd bij Nutrilab in Giessen.

Met dit project is het voor eerst gelukt om een grote hoeveelheid zeewier (>8t natgewicht) te sileren en zodanig te stabiliseren en conserveren over langere tijd (>4 maanden) met een zeer laag energieverbruik en tegen zeer lage kosten. Dit zeewier is succesvol verwerkt en geraffineerd tot stabiele poeders die verder kunnen worden gebruikt voor/onderzocht naar eindtoepassingen. Daarbij zijn er tijdens de uitvoering veel nuttige observaties gedaan die kunnen worden benut in vervolprojecten alsook de gehele zeewiersector in Europa. Deze zijn terug te vinden in het hoofdstuk Conclusie aan het einde van dit rapport.

Aanpak

De zeewieroogst van Hortimare is gedurende 4 maanden in silage (ingekuuld) bewaard in 20 IBCs. Deze IBCs zijn gevuld in Noorwegen, luchtdicht afgedekt, getransporteerd naar het bedrijf Huiberts Bloembollen in Sint-Maartensvlotbrug en daar hebben ze ruim 4 maanden, ongekoeld, gestaan. Parallel hieraan is een extractiemethode ontwikkeld door Hortimare in samenwerking met Danvos en vervolgens is deze methode in de praktijk gerealiseerd middels een pilotopstelling die nu operationeel is bij Huiberts bloembollen. Middels onderstaande stappen is het gesileerde zeewier geanalyseerd, verwerkt in lab en in de pilotopstelling en tenslotte verwerkt tot poeders geschikt voor opslag, analyse en toepassing.

Stap1: Identificatie

Als eerste is bepaald wat de kwaliteit van het gesileerde zeewier was na 4 maanden silage. Alle IBC's zijn beoordeeld én bemonsterd. Over het algemeen was de kwaliteit vrij goed. De bovenlaag was vaak gaan rotten maar direct onder deze laag was het wier nog goed. Aldus is al het rotte zeewier verwijderd en alleen het goede materiaal geselecteerd. Er is gestreefd naar een vulling van 250-300 L per IBC. Er is een onderscheid gemaakt tussen medium en goede kwaliteit Saccharina en Alaria:

Batch1 – medium kwaliteit Saccharina latissima: 3 IBC's zijn gevuld met een mix van medium kwaliteit Saccharina.

Batch2 – goede kwaliteit Saccharina latissima: 2 IBC's zijn gevuld met een mix van goede kwaliteit Saccharina (250 en 300 L) en 1 IBC (VII 300 L) is in zijn geheel apart gehouden.

Batch3 – goede kwaliteit Alaria: Alle 3 IBC's Alaria waren van goede kwaliteit. Deze biomassa is verzameld in 2 IBC's van 500 L elk.

Stap2: Extractie op pilotschaal

Er is vervolgens gekozen om de labtesten uit te stellen en zo snel mogelijk met de extractietesten op pilotschaal te beginnen om te voorkomen dat het gesileerde zeewier zou gaan bederven vanwege blootstelling aan de open lucht. Hierbij zijn de volgende stappen gezet:

1. Kneuzen van materiaal;
2. Waterige/basische extractie van gekneusde materiaal;
3. Scheiden van vaste biomassa van de vloeistoffractie;
4. Vloeistof fractioneren in een (UF) eiwitconcentraat (via de UF filter) en een (RO) mineralen-suiker concentraat (via de Reverse Osmose unit) via pilot opstelling



Figure 19 Suiker-mineralen concentraat (RO) – donkerbruin (linker foto), eiwitconcentraat (UF) – lichtbruin/beige (middelste foto) en water (rechter foto)

Stap3: Drogen van vloeistoffen

Vervolgens is gekozen om de concentraten uit de pilotopstelling te drogen bij het bedrijf Maris Projects te Schijndel. Dit is gebeurd met een vacuümdroger (Figuur 2). In totaal is 195 L UF concentraat verwerkt en 240 L RO concentraat resulterend in 2.7 kg eiwit poeder en 8.0 kg RO poeder (Figuur 3).



Figuur 2: Extractievloeistoffen aangeleverd in jerrycans bij Maris projects en verwerkt in de vacuümdroger. Rechter beeld betreft binnenkant van vacuümdroger

Deze stap was eveneens succesvol, ondanks dat de benodigde tijd relatief lang was, en heeft geleid tot poeders van eiwit en van suiker/mineralen concentraat. Wat wel opvalt is dat de kleuren van het gedroogde materiaal invers zijn aan de vloeistofkleuren.



Figuur 3: Suiker-mineralen concentraat (RO) na droging (beige) – linkse beeld en eiwitconcentraat na droging (UF) donkerbruin – rechtse beeld



Figuur 4: En na vermalen is het RO poeder beige (links) en het eiwitpoeder donkerbruin (rechts)

Stap 4: Drogen van biomassa residu

Bij Huiberts Bloembollen is het uitgelekte biomassa residu uit stap2 vervolgens na uitlekken in droogkisten overgeplaatst. Dit zijn droogkisten die normaal worden gebruikt voor het drogen van bloembollen en dit is een beproefde methode. De droogkisten zijn vervolgens in een droogkamer geplaatst met daarbij extra ventilatie (de temperatuur aldaar bedroeg gemiddeld 17 graden).



Figuur 5: Van links naar rechts, drogen van biomassa residu in de droogkamer, het gedroogde materiaal en tenslotte vermaald tot poeder met een totaal gewicht van zo'n 150kg voor alle batches B1, B2, B3

Resultaten van het zeewierextractieproces in de pilotopstelling

Resultaten algemeen

Van het extractieproces is een overzicht gemaakt met betrekking tot de hoeveelheden vloeistoffen gebruikt en verkregen. Daarnaast is elk concentraat vanuit het extractieproces gekwantificeerd, zie hiervoor onderstaande tabel 5.

Zoals hierboven beschreven zijn er 3 batches geëxtraheerd: batch1 – medium kwaliteit Saccharina latissima, batch2 – goede kwaliteit Saccharina latissima en batch3 – goede kwaliteit Alaria. Deze kwaliteit is visueel vastgesteld zoals hierboven omschreven bij

Stap1: Identificatie

Type	Total volume (L)	Dry weight (%)
Uitgangsmateriaal (UM)		
Batch 1 UM	900	-
Batch 2 UM	700	7.9
Batch 3 UM	700	10.1
UF concentraat (UF)		
Batch 1 UF	18	4.5 (B)
Batch 2 UF-WE	8	5.0 (B)
Batch 2 UF – SE	65	3.0
Batch 3 UF	170	1.2
RO concentraat (RO)		
Batch 1 RO	410	7.5 (B)
Batch 2 WE-RO	230	7.0 (B)
Batch 2 SE-RO	100	5.1
Batch 3 RO	390	3.8
Biomassa residu (200ml Saccharine is omgerekend 153 gram, 200ml Alaria is omgerekend 135 gram ³)		
Batch 1 residue	850	-
Batch 2 residue	650	84.8
Batch 3 residue	600	81.8

Tabel 5: Verkregen volumes per batch (UM=uitgangsmateriaal, UF=ultrafiltraat, RO=reverse osmosis, residu is de biomassa residu, dry weights met (B) suffix vastgesteld d.m.v.. BRIX metingen, overige dry weights bepaald door lanalyse)

³ Vastgesteld tijdens labproeven

Zoals uit bovenstaande tabel valt af te leiden is er geen groot verschil in de volumes van het startmateriaal (UM) tussen de verschillende batches (voor extractie). Er is echter wel een groot verschil in de hoeveelheden UF concentraat na extractie. Dit kan worden uitgelegd door de verschillende wijze van extractiemethode. Batch1 was geëxtraheerd op basis van zoet water terwijl batches 2 en 3 zijn geëxtraheerd met een soda-extract (1% soda toegevoegd aan zoet water). Dit laatste is doorgevoerd voor batch 2 en 3 omdat tijdens labproeven de extracties met soda succesvoller waren in termen van hoeveelheid geëxtraheerd eiwit in vergelijking met vergelijkbare testen met alleen zoet water.

Dit zou een verklaring kunnen zijn voor het feit dat in de totale volumes van het UF concentraat voor batch2 en 3 hoger zijn dan voor batch1. In het geval dat het UF filter tot een maximale BRIX waarde van bijvoorbeeld 6.0 kan concentreren levert dat bij de soda extracties meer volume op omdat daar dan meer eiwit in zou zitten. Het lijkt dus dat het limiterende vermogen van het UF filter om te concentreren tot een bepaalde BRIX waarde de reden is voor de hogere volumes. De reden voor een hoger volume UF concentraat in Batch3 is onduidelijk. Op dat moment waren er flow-problemen met de pilotopstelling, wat een oorzaak zou kunnen zijn.

Voor het RO concentraat is er weinig verschil tussen batch1 en batch3 terwijl het totale volume voor batch2 lager is. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat voor batch2 tweemaal extractie heeft plaatsgevonden. Eerst met zoet water en vervolgens met de soda oplossing. Tijdens de zoet water extractie is mogelijk al een deel van de celinhoud weggelekt. De waarde in tabel 6 (Batch 2 UF-WE) vertegenwoordigd dus een derde extractie met soda en laat dus lagere waardes zien omdat een deel ook al in de waterige extractie is uitgefilterd. Dit wordt ondersteund door het gegeven dat de BRIX waarde van het UF permeaat (=voeding RO) van de eerste water-extractie van Batch2 is BRIX=2.5 terwijl dit voor de derde (soda) extractie BRIX=1.5 is. Dit zou ertoe hebben kunnen leiden dat de reverse osmosis (RO) verder heeft kunnen concentreren(tot BRIX 6.0) waardoor er meer water uit is gehaald wat dus heeft geleid tot een lager RO volume dan bij Batch1 en Batch2.

Hieronder worden de resultaten van Batch2 en Batch3 gedetailleerder toegelicht. Batch1 is in dit overzicht weggelaten omdat daarvan geen analyse resultaten beschikbaar zijn.

Resultaten Batch2 – Goede kwaliteit Saccharina I.

Type:	Total volume (L)	Dry weight (%)	Total dry weight (kg)	Protein concentration (%)	Total protein (kg)	Extraction efficiency (%)
Batch 2 silage	700	7,9	55,30	14,1	7,80	-
Batch 2 UF	65	3,0	1,95	16,5	0,32	4,13
Batch 2 RO	100	5,1	5,10	4,5	0,23	2,94
Batch 2 residue	650	7,4	48,25	15,6	7,53	96,53

Tabel 6: Extractieresultaten van batch2

Batch2 SE, extractie met soda, is geanalyseerd bij Nutrilab. In combinatie met de massabalans in tabel 2) leidt dat tot de volgende resultaten:

In het gebruikte silage uitgangsmateriaal was 14,1% totaal eiwit aanwezig. In verse *Saccharina* is dit gehalte rond de 8% (Schiener et al., 2015) in mei. Hiermee kan dus vastgesteld worden dat zeewier sileren het eiwit intact houdt en zelfs verhoogt doordat micro-organismen andere celcomponenten (zoals suikers) gebruiken. Hiermee kan het gebruikte uitgangsmateriaal dus als representatief worden beschouwd voor het extractie proces. Er was in totaal 7.8kg eiwit aanwezig in het silage startmateriaal waarvan 0.55kg is geëxtraheerd tijdens de derde (soda) extractie.

Het is niet duidelijk hoeveel eiwit er gedurende de eerste en tweede waterige extractie is geëxtraheerd aangezien dit eiwitgehalte niet is gemeten. Er is wel bekend dat er van het waterig extractieconcentraat uiteindelijk 8 liter met een BRIX van 5.0 over bleef van de originele 1400 liter water die erin is gegaan. Hieruit valt te concluderen dat er vrijwel geen extractie van cel componenten heeft plaats gevonden.

Het resulterende UF en RO concentraat bevat 0.32kg en 0.23kg eiwit respectievelijk. De totale extractie efficiency voor de totale eiwit is 4.13% wanneer we kijken naar het UF concentraat. Een groot deel van het eiwit is achtergebleven in het biomassa residu, ongeveer 7.53kg oftewel 96.53% van het totaal.

Er is voorts geobserveerd dat het UF concentraat van batch 2 een limiet bereikt van 5.5 gram eiwit /L. Dit is ook al eerder gevonden in andere experimenten, en duidt er op dat de UF niet verder kan concentreren dan dit punt.

Resultaten Batch3 – Goede kwaliteit Alaria

Type:	Total volume (L)	Dry weight (%)	Total dry weight (kg)	Protein concentration (%)	Total protein (kg)	Extraction efficiency (%)
Alaria silage UM	700	10,1	70,70	16,5	11,67	-
Alaria UF	170	1,2	2,04	11,2	0,23	1,96
Alaria RO	390	3,8	14,82	1,5	0,22	1,91
Alaria Residue BM	600	9,0	53,84	14,4	7,75	66,46

Tabel 7: Extractieresultaten van batch3

Batch3, extractie met soda, is eveneens geanalyseerd bij Nutrilab. In combinatie met de massabalans in tabel 3 leidt dat tot de volgende resultaten:

In totaal bevatte het silage startmateriaal zo'n 11.67 kg aan eiwit. Hiervan is 0.45 geëxtraheerd met behulp van twee achtereenvolgende soda-extracties. De hieruit resulterende UF en RO concentraten bevatten 0.23kg en 0.22 kg eiwit respectievelijk. Een extractie-efficiency van het totale eiwit van 1.96% is gehaald wanneer we kijken naar het UF concentraat. Een groot deel van het eiwit is achtergebleven in het biomassa residu, ongeveer 7.75kg oftewel 66.46% van het totaal. Wanneer dit alles bij elkaar wordt opgeteld dan leidt dit niet tot een totaalpercentage van 100%. Ongeveer 29.68% van het totale eiwit is niet terug te vinden in één van de extractiestromen wat tot het vermoeden leidt dat een deel is achtergebleven in de voorfilters van de pilotopstelling. Een andere

mogelijkheid is dat een deel van het eiwit na analyse verloren is gegaan door degradatie als gevolg van blootstelling aan de lucht (visueel waargenomen).

Het Alaria-RO-concentraat laat hetzelfde resultaat zien als bij batch2 waarbij er nog eiwitten (of aminozuren) aanwezig zijn in dit concentraat (zie tabel 3). Ongeveer 1.5% proteïne zit nog in het RO concentraat. Dit duidt erop dat het UF membraan nog niet de juiste poriegrootte heeft. Ongeveer dezelfde ratio (24,9% van de totale hoeveelheid proteïne aanwezig in Alaria RO) als bij S.lat RO (23,4% van totaal proteïne in S. lat RO aanwezig).

Overige observaties:

- Alle geanalyseerde samples bij Nutrilab laten een laag suikergehalte zien, consistent minder dan 1% van het drooggewicht. Dit is echter een analyse geweest op aanwezigheid van mono-, di-, en trisacchariden. Het is zeer waarschijnlijk dat er nog polysacchariden aanwezig zijn in de verschillende extractiestromen alsook het startmateriaal. Hiervoor is echter aanvullende analyse nodig omdat de alginaatanalyses niet mogelijk bleken bij Nutrilab. Het lage suikergehalte is te verklaren door de melkzuur vergisting die plaats heeft gevonden tijdens silage, waarbij melkzuurbacteriën deze suikers opgebruikt hebben.
- Er zit een hoog percentage van natrium (Na) in het UF en RO concentraat (Batch 2 & 3). Dit is toe te wijzen aan de toevoeging van soda aan het extractiemedium aangezien dit bestaat uit natriumcarbonaat (Na_2CO_3). Echter de concentratie in de UF fractie is hoger dan verwacht wat suggereert dat het Na gebonden raakt en wordt geconcentreerd in het UF retentaat.
- Extractie op basis van ultrafiltratie lijkt nog niet optimaal te werken. Tijdens de uitvoering is het filter meermaals verstopt geraakt bij een concentratie van slechts 4.0% drooggewicht waardoor ongewenste componenten uiteindelijk ook eindigen in het UF concentraat.
- Daarom lijkt het aanbevelenswaardig het ontwerp van de pilotopstelling te herzien en verbeteren waar mogelijk. Onderdelen die hierbij bekeken zouden kunnen worden zijn:
 - Verbetering van de vloeistof-extractiefase om meer stoffen die van interesse zijn vrij te kunnen maken uit de zeewiercellen.
 - Poriegrootte van de ultrafiltratieunit
 - Reiniging van de unit tijdens of na extracties
- De extractie-efficiency van het eiwit wordt momenteel als vrij laag ingeschat. Slechts 4% van het totale eiwit is geëxtraheerd met behulp van ultrafiltratie. Een groot deel van het eiwit zit nog steeds in het biomassa residu aan het einde van het extractieproces. Daarom lijkt het raadzaam om nader onderzoek te doen hoe de feitelijke extractie van eiwit uit de biomassa te verhogen is om zodoende de extractie efficiency te kunnen verhogen.

Verdere resultaten over het drogen van de verschillende concentraten is terug te lezen in Stap3: Drogen van vloeistoffen en Stap 4: Drogen van biomassa residu.

Conclusie

Op basis van bovenstaande beschrijving van de aanpak en resultaten zijn de volgende conclusies mogelijk

- Het is voor het eerst gelukt om zeewier te sileren op grote schaal waarbij er 5t (natgewicht) Saccharina is gesileerd waarbij 50% het silageproces goed heeft doorstaan en 1t (natgewicht) Alaria is gesileerd waarbij 100% van het materiaal de silagefase heeft doorstaan. Het verlies van het Saccharina materiaal is te wijten aan problemen met het anaerobe houden van de biomassa.
- Het is voor het eerste gelukt om een bulkhoeveelheid zeewier te raffineren in gecascadeerde concentraten eiwit en mineralen-/suikeroplossing.
- Concentratie met de RO unit is goed verlopen, hierbij zijn vrijwel geen operationele problemen opgetreden.
- Het is voor het eerst gelukt om deze eiwit- en suiker/mineralenconcentraten te drogen tot stabiele poeders

Daarbij zijn de volgende aanbevelingen relevant:

- Tijdens silage alsook extractie zijn logistieke uitdagingen ontstaan die verder onderzoek behoeven om dit proces efficiënter te kunnen laten verlopen met minder verlies van goede biomassa.
- De extractiestap (het uitloggen van de celinhoud tijdens een milde waterige extractie) behoeft verder onderzoek. Uit de resultaten is te zien dat er nog veel eiwit in het biomassa residu overblijft.
- De ultrafiltratiestap behoeft verder onderzoek om vast te kunnen stellen wat een geschikt ontwerp is (poriegrootte) alsook een optimalere doorlooptijd en betere scheiding op specifieke eiwitten. Daarnaast moet het verstoppelen van het filter onderzocht worden.
- Systeem met voorfilters moet bekeken worden omdat hier mogelijk veel stoffen van interesse in kunnen achterblijven.

Vervolgstappen

Hortimare gaat de resultaten van dit onderzoek benutten voor vervolgonderzoek:

- Er wordt verder onderzoek gedaan naar de extractiestap om ervoor te zorgen dat er meer celinhoud van interesse vrijkomt in de extractievloeistof.
- Er wordt verder onderzoek gedaan naar optimalere silage en logistiek zodat doorlooptijd van het proces kan worden verkort alsook de kwaliteit van het silage materiaal omhoog gaat en stabiel wordt.

Bovenstaande onderzoeken zullen worden uitgevoerd als onderdeel van de volgende projecten

- Zeevivo reeds gestart
- Searefinery reeds gestart
- Macrovalue reeds gestart
- Value@sea start in september 2016 indien project wordt gewonnen.