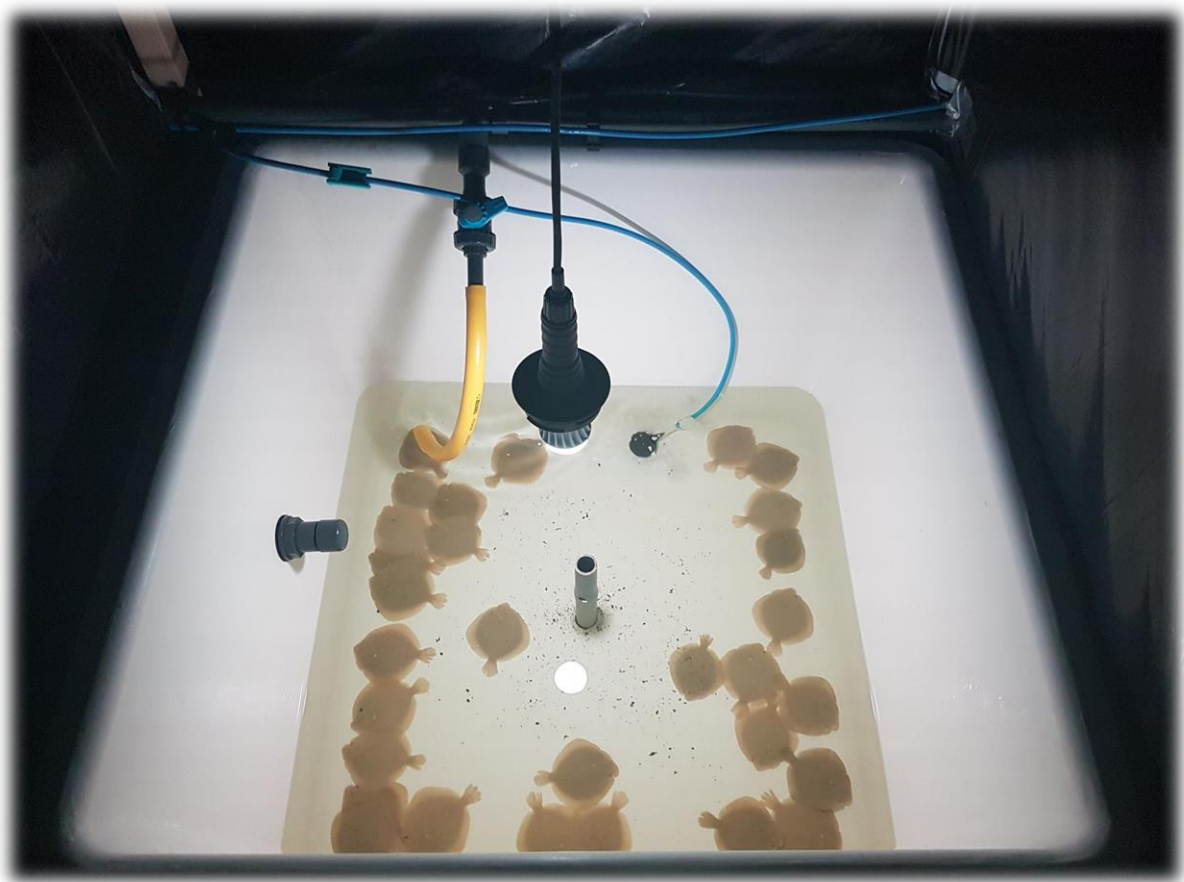


## **Optimalisatie van de huidige tarbotkweek**

*Een onderzoek naar het effect van licht (kleur, intensiteit en fotoperiode) op de groei van de juveniele tarbot (*Scophthalmus maximus*)*



Auteur Kristof Peene

Datum 6-jun-19

Versie Eindversie

Begeleider M.Martens  
J. van Houcke

Studentennummer 71505

HZ University of Applied Sciences

Aquatiscche Ecotechnologie

|                  |                                                                                                                                                                                                  |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Project          | <b>Optimalisatie van de huidige tarbotkweek</b><br><i>Een onderzoek naar het effect van licht (kleur, intensiteit en fotoperiode) op de groei van de juveniele tarbot (Scophthalmus maximus)</i> |
| Status           | Eindversie                                                                                                                                                                                       |
| Projecttype      | Afstudeeronderzoek                                                                                                                                                                               |
| School           | Hogeschool Zeeland University of Applied Sciences                                                                                                                                                |
| Opleiding        | Delta Academy Aquatische Ecotechnologie                                                                                                                                                          |
| Vak              | CU 11020 Delta Academy Afstudeerstage                                                                                                                                                            |
| Stagebegeleider  | Joost Cornelisse<br><a href="mailto:joost@frymarine.nl">joost@frymarine.nl</a>                                                                                                                   |
| Opdrachtgever(s) | Fry Marine<br>Seafarm B.V.                                                                                                                                                                       |
| Adres            | Jacobahaven 4a<br>4493 ML Kamperland                                                                                                                                                             |
| Stagedocent(en)  | Mireille Martens<br><a href="mailto:mireille.martens@hz.nl">mireille.martens@hz.nl</a><br>Jasper van Houcke<br><a href="mailto:j.van.houcke@hz.nl">j.van.houcke@hz.nl</a>                        |
| Adres            | Het Groene Woud 1-3<br>4331 NB Middelburg                                                                                                                                                        |
| Auteur           | Kristof Peene<br>T: 06-36186886<br>E: <a href="mailto:kristofpeene@hotmail.nl">kristofpeene@hotmail.nl</a>                                                                                       |

Bij dit document behoren de volgende bijlagen:

1. Gemiddelde golflengte (nm) en lichtintensiteit ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) raceway systeem
2. Spectra onderzoeksinstellingen deelonderzoek 1
3. Ingrediëntenlijst EFICO Sigma 870F
4. Tests of Normality
5. Independent Samples Test
6. One-Way ANOVA
7. Mogelijke groeicurve
8. Overige grafieken deelonderzoeken

## Samenvatting

Seafarm B.V. is de enige tarbotkwekerij in Nederland en is verantwoordelijk voor ongeveer 1% (100 ton) van de Europese productie van tarbot op jaarbasis (FEAP, 2014a; Seafarm, 2019). Het begin van het kweekproces tot en met de juveniele fase wordt uitgevoerd door het naastliggende bedrijf, Fry Marine. Hedendaags wordt er binnen Fry Marine gebruik gemaakt van één bepaalde lichtinstelling (FSP LED lamp; lichtkleur; wit, kleurtemperatuur; 6000 Kelvin (K), gemiddelde lichtintensiteit;  $2.01 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , fotoperiode; 24:0) voor de opkweek van de juveniele tarbot.

Eerdere onderzoeken naar verschillende vissoorten laten zien dat licht (kleur, intensiteit en fotoperiode) de groei van de vis kan beïnvloeden. Het doel van het uitgevoerde lichtonderzoek is om een lichtsamenstelling (kleur, intensiteit en fotoperiode) te vinden die de maximale groei van juveniele tarbot garandeert. Hiervoor is de volgende onderzoeksvraag opgesteld: ***“Wat is het effect van licht (kleur, intensiteit en fotoperiode) op de groeisnelheid van de tarbot in de juveniele fase van de tarbotkweek?”***. Om een antwoord te kunnen geven op de onderzoeksvraag zijn drie deelonderzoeken uitgevoerd waarbij er verschillende lichtsamenstellingen gebruikt zijn voor de opkweek van juveniele tarbot.

Uit het eerste deelonderzoek naar het effect van monochromatisch licht op de groei van de juveniele tarbot is geconcludeerd dat er na een periode van 29 dagen geen significante verschillen in de eindgewichten van de groepen aangetoond kunnen worden. Echter was de groeisnelheid, procentuele gewichtstoename en de voederconversieratio behaald onder groen licht (525nm) positiever ten opzichte van rood licht (622nm), blauw licht (456nm) en de referentieinstellingen.

Uit het tweede deelonderzoek naar het effect van toevoeging van fotoperiodes (LD; 24:0, 20:4 en 16:8) is geconcludeerd dat er in een tijdsbestek van 30 dagen geen significante verschillen tussen eindgewichten van de groepen met de verschillende fotoperiodes waargenomen kunnen worden. Dit tweede deelonderzoek is uitgevoerd onder groen licht, aangezien dit in het eerste deelonderzoek de hoogste groeisnelheid opleverde.

Uit het derde deelonderzoek naar het effect van verschillende lichtintensiteiten ( $\pm 10.0$ ,  $2.00$  en  $0.50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) samen met de groene lichtkleur uit het eerste deelonderzoek op de groei van de juveniele tarbot is geconcludeerd dat na een periode van 30 dagen geen significante verschillen tussen eindgewichten van de groepen met de verschillende lichtintensiteiten waargenomen kunnen worden. Wel resulteerde de laagste lichtintensiteit ( $0.50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) in een hogere groeisnelheid en procentuele gewichtstoename bij één van de twee onderzoeksgroepen.

Aan de hand van de resultaten uit de bovenstaande drie deelonderzoeken kan geconcludeerd worden dat de resultaten niet concluderend zijn op wetenschappelijke basis. Uit de resultaten zijn er wel aanwijzingen dat onder de monochromatische groene lichtkleur (525nm) samen met een lichtintensiteit van  $0.50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  mogelijk de hoogste groeisnelheid bij de juveniele tarbot bereikt kan worden.

## Summary

Seafarm B.V. is the only turbot farm in the Netherlands and is responsible for around 1% (100 tonnes) of the European production of turbot on an annual basis (FEAP, 2014a; Seafarm, 2019). The beginning of the breeding process up to and including the juvenile phase is carried out by the neighbouring company, Fry Marine. Nowadays Fry Marine uses one specific light setting (FSP LED lamp; light colour; white, colour temperature; 6000 Kelvin (K), average light intensity;  $2.01 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , photoperiod; 24:0) for the cultivation of the juvenile turbot.

Previous studies into different fish species have shown that light (colour, intensity and photoperiod) can influence the growth of the fish. The aim of the light research carried out is to find a light composition (colour, intensity and photoperiod) that guarantees the maximum growth of juvenile turbot. The following research question has been drawn up for this: ***"What is the effect of light (colour, intensity and photoperiod) on the growth rate of the turbot in the juvenile phase of turbot cultivation?"***. To provide an answer to the research question, three sub-studies were conducted in which different light compositions were used for the cultivation of juvenile turbot.

The first sub-study into the effect of monochromatic light on juvenile turbot growth concluded that after a period of 29 days no significant differences in the final weights of the groups could be demonstrated. However, the growth rate, percentage weight gain and the feed conversion ratio achieved under green light (525nm) were more positive compared to red light (622nm), blue light (456nm) and the reference settings.

The second sub-study into the effect of adding photoperiods (LD; 24:0, 20:4 and 16:8) concluded that no significant differences between final weights of the groups with the different photoperiods could be observed over a period of 30 days. This second sub-study was conducted under the green light as this yielded the highest growth rate in the first sub-study.

From the third sub-study into the effect of different light intensities ( $\pm 10.0$ ,  $2.0$  and  $0.50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), together with the green light colour from the first sub-study, on the growth of the juvenile turbot it was concluded that after a period of 30 days no significant differences between final weights of the groups with the different light intensities could be observed. The lowest light intensity ( $0.50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) did, however, result in a higher growth rate and percentage weight gain in one of the two research groups.

Based on the results from the above three sub-studies, it can be concluded that the results are not conclusive on a scientific basis. There are indications from the results that the monochromatic green light colour (525nm) together with a low light intensity ( $0.50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) possibly achieves the highest growth rate in the juvenile turbot.

## Dankwoord

De stageperiode bij Fry Marine heb ik ervaren als een zeer interessante stage. Tijdens deze stage heb ik veel geleerd, zowel op praktisch gebied als op wetenschappelijk gebied. Ik wil graag de volgende personen bedanken die mij de afgelopen periode enorm hebben gesteund en geholpen. Als eerste mijn begeleider binnen het bedrijf, Joost Cornelisse, voor zijn goede input/feedback tijdens het onderzoek. Ook wil ik Mireille Martens en Jasper van Houcke bedanken voor hun begeleiding en revisies vanuit school, Adri Bout en Marcel van Keulen voor hun input vanuit Seafarm en Walter Ovaa voor zijn begeleiding tijdens het ontwerpen en bouwen van de onderzoeksopstelling. Verder wil ik alle collega's van Fry Marine; Adri Cornelisse, Ryan Dekeling en Wim Wielemaker, bedanken voor hun positieve feedback en samenwerking tijdens mijn afstudeerperiode.

Beste mensen, heel erg bedankt!

Kristof Peene

Kamperland, donderdag 6 juni 2019.

## Inhoudsopgave

|                                                                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Verklarende woordenlijst .....                                                                                              | 1         |
| Afkortingenlijst .....                                                                                                      | 1         |
| 1. Introductie .....                                                                                                        | 1         |
| 1.1 Onderzoeksdoel .....                                                                                                    | 2         |
| 1.2 Onderzoeksvraag .....                                                                                                   | 2         |
| 1.3 Hypothese .....                                                                                                         | 2         |
| 1.4 Leeswijzer .....                                                                                                        | 2         |
| 2. Theoretisch kader .....                                                                                                  | 3         |
| 2.1 Algemene informatie .....                                                                                               | 3         |
| 2.2 Biotische en abiotische factoren .....                                                                                  | 3         |
| 2.3 Biologische achtergrond .....                                                                                           | 6         |
| 3. Experimentele opzet .....                                                                                                | 7         |
| 3.1 Opstelling .....                                                                                                        | 7         |
| 3.2 Algemene informatie .....                                                                                               | 7         |
| 3.3 Data-analyse .....                                                                                                      | 9         |
| <b>4. Deelonderzoek 1: Effect van monochromatisch licht op de groei van juveniele tarbot .....</b>                          | <b>10</b> |
| 4.1 Methode .....                                                                                                           | 11        |
| 4.2 Resultaten .....                                                                                                        | 13        |
| 4.3 Conclusie & Discussie .....                                                                                             | 14        |
| <b>5. Deelonderzoek 2: Effect van monochromatisch licht &amp; fotoperiode op de groei van juveniele tarbot .....</b>        | <b>15</b> |
| 5.1 Methode .....                                                                                                           | 16        |
| 5.2 Resultaten .....                                                                                                        | 17        |
| 5.3 Conclusie & Discussie .....                                                                                             | 18        |
| <b>6. Deelonderzoek 3: Effect van monochromatisch licht &amp; lichtintensiteit op de groei van juveniele tarbot .....</b>   | <b>19</b> |
| 6.1 Methode .....                                                                                                           | 20        |
| 6.2 Resultaten .....                                                                                                        | 22        |
| 6.3 Conclusie & Discussie .....                                                                                             | 23        |
| 7. Eindconclusie .....                                                                                                      | 24        |
| 8. Aanbevelingen .....                                                                                                      | 25        |
| Lijst van figuren en tabellen .....                                                                                         | 26        |
| Referenties .....                                                                                                           | 27        |
| Bijlagen .....                                                                                                              | 30        |
| Bijlage 1: gemiddelde golflengte (nm) en lichtintensiteit ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) raceway Fry Marine ..... | 31        |

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| Bijlage 2: Spectra onderzoeksinstellingen deelonderzoek 1 ..... | 32 |
| Bijlage 3: Ingrediëntenlijst EFICO Sigma 870F .....             | 33 |
| Bijlage 4: Tests of Normality .....                             | 34 |
| Bijlage 5: Independent Samples Test .....                       | 37 |
| Bijlage 6: One-Way ANOVA .....                                  | 43 |
| Bijlage 7: Mogelijke groeicurves.....                           | 45 |
| Bijlage 8: Overige grafieken deelonderzoeken.....               | 47 |

## Verklarende woordenlijst

De verwijzing naar de verklarende woordenlijst of de afkortingenlijst wordt in de tekst aangegeven met: ...<sup>(1)</sup>

|                                      |                                                                                                                                                |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ | Eenheid die gebruikt wordt voor het uitdrukken van de totale hoeveelheid fotosynthetisch actieve straling (PAR) bepaalt die een licht afgeeft. |
| Artemia                              | Pekelgarnaal ( <i>Artemia nauplii</i> )                                                                                                        |
| Biofilter                            | Waterzuiveringsproces waarbij nitrificerende bacteriën gebruikt worden om stikstofhoudende afvalproducten te verwerken.                        |
| Cortisol                             | Stresshormoon                                                                                                                                  |
| Denitrificatie                       | Proces waarbij bacteriën nitraat ( $\text{NO}_3^-$ ) omzetten naar stikstofgas ( $\text{N}_2$ )                                                |
| Flounder                             | Bot (platvissoort)                                                                                                                             |
| Fotobioreactor                       | Bioreactor die een lichtbron gebruikt om micro-organismen te kweken                                                                            |
| Hatchery                             | Broedkamer                                                                                                                                     |
| Hom                                  | Sperma van mannelijke vissen                                                                                                                   |
| Juveniele tarbot                     | Jonge tarbot                                                                                                                                   |
| Kuit                                 | Eieren van vrouwelijke vissen                                                                                                                  |
| Lysozyme                             | Ook wel muramidasen genoemd, zijn enzymen die de wand van een bacterie aanvallen.                                                              |
| Melatonine                           | Slaaphormoon                                                                                                                                   |
| Monochromatisch                      | Licht van exact één golflengte                                                                                                                 |
| Nursery                              | Opvoed-kamer voor juveniele vis                                                                                                                |
| Raceway                              | Kunstmatig kanaal dat wordt gebruikt in aquacultuur om aquatische organismen te kweken.                                                        |
| Rotiferen                            | Radardieren ( <i>Brachiomus plicatilis</i> )                                                                                                   |
| Stressor                             | Prikkel die stress veroorzaakt                                                                                                                 |

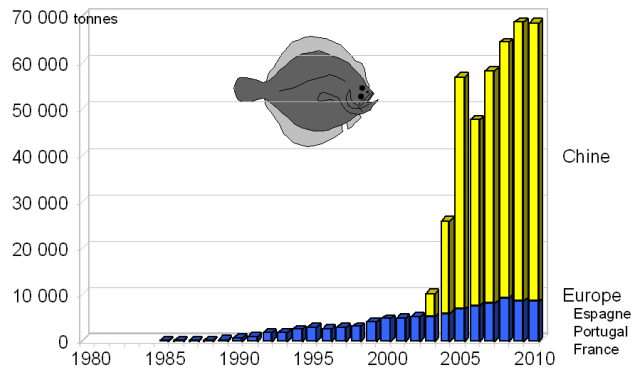
## Afkortingenlijst

|      |                                                                                                                                                   |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| FCR  | Feed Conversion Ratio / voederconversieratio                                                                                                      |
| FSP  | Full Spectrum                                                                                                                                     |
| LD   | Licht-donker (-regime)                                                                                                                            |
| PPFD | Photosynthetic Photon Flux Density, is een meting die de totale hoeveelheid fotosynthetisch actieve straling (PAR) bepaalt die een licht afgeeft. |
| ppt  | zoutgehalte in parts per thousand                                                                                                                 |
| RAS  | Recirculation Aquaculture System                                                                                                                  |
| RGB  | Rood-Groen-Blauw                                                                                                                                  |
| SGR  | Specific Growth Rate / Specifieke groeisnelheid                                                                                                   |



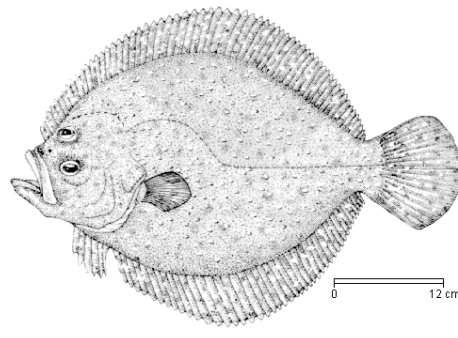
## 1. Introductie

De tarbot (*Scophthalmus maximus*), ook wel *Psetta maxima* genoemd, komt van nature voor in de Europese wateren. Ook komt de tarbot voor in de Stille Oceaan en langs de kust van China, waar hij is geïntroduceerd voor de aquacultuur (FAO, 2019). Sinds het begin van de jaren 90 kwam de kweek van tarbot van de grond, echter wordt een aanzienlijke hoeveelheid tarbot nog steeds gevangen door conventionele vismethoden (Kerby, Cheung, van Oosterhout, & Engelhard, 2013). In 2015 werd ongeveer 6000 ton wild gevangen tarbot in Europa aan land gebracht, in het zelfde jaar produceerde Europa 10.173 ton aan gekweekte tarbot. Wereldwijd wordt er jaarlijks ongeveer 65.000 ton aan tarbot gekweekt, hierin is China met een productiecapaciteit van ongeveer 55.000 ton per jaar verreweg de grootste niet Europese producent. Binnen Europa is Spanje met 73% van de totale Europese tarbotkweek (11.000 ton/jaar) de grootste leverancier, gevolgd door Portugal (23%) (Hjul, 2018; FAO, 2019).



Figuur 1: Productie tarbot in Europa en China. Overgenomen van: <http://aquaculture.ifremer.fr/Statistiques-mondiales/Stats-pisciculture/Production-mondiale/Pisciculture-marine/Turbots>

Seafarm B.V. is de enige tarbotkwekerij in Nederland en is verantwoordelijk voor ongeveer 1% (100 ton) van de Europese productie van tarbot (Figuur 2) op jaarbasis (FEAP, 2014a; Seafarm, 2019). Het begin van het kweekproces (hatchery<sup>(1)</sup>) binnen Seafarm wordt uitgevoerd door het naastliggende bedrijf, Fry Marine. Deze vestiging is door Seafarm, in samenwerking met Grovisco, opgestart. Door een unieke samenwerking tussen deze twee bedrijven, waarbij de kennis van beide bedrijven gebruikt is voor het ontwikkelen van de tarbotkweek, is er een duurzame hatchery voor tarbot bereikt. Binnen Fry Marine worden met behulp van fotobioreactoren<sup>(1)</sup> algen gekweekt die voor verschillende doeleinden gebruikt worden. Het kweken van eigen algen, levend voedsel en larven maakt mogelijk dat de hatchery volledig zelfdragend is en een hoogwaardige juveniele tarbot<sup>(1)</sup> garandeert (Fry Marine, 2019; Seafarm, 2019).



Figuur 2: De tarbot (*Scophthalmus maximus*). Overgenomen van: <https://www.vetofish.com/poisson/psetta/maxima>

Hedendaags wordt er binnen Fry Marine gebruik gemaakt van één bepaalde lichtinstelling (FSP<sup>(1)</sup> LED lamp; lichtkleur; wit, kleurtemperatuur; 6000 Kelvin (K), gemiddelde lichtintensiteit;  $2.0 \mu\text{mol} \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ <sup>(1)</sup>, fotoperiode; 24:0) voor de opkweek van de juveniele tarbot in de raceway-systemen<sup>(1)</sup> tijdens de nursery<sup>(1)</sup>-fase. Eerdere onderzoeken naar de impact van licht op de groei van vissen laten zien dat licht (kleur, intensiteit en fotoperiode) bij sommige soorten een positieve impact heeft op de groei. Eerdere onderzoeken hebben vastgesteld dat fotoperiode invloed heeft op de groei van tarbot, echter is het nog niet bekend of monochromatisch<sup>(1)</sup> licht en lichtintensiteit invloed hebben op de groei van tarbot. Binnen zowel Seafarm als Fry Marine is er een grote interesse in een eventuele lichtaanpassing (kleur, intensiteit en fotoperiode) om de groei van tarbot te versnellen om hierdoor meer tarbot per jaar te kunnen produceren.

## 1.1 Onderzoeksdoel

Zowel Seafarm als Fry Marine hebben interesse in een eventuele lichtaanpassing (kleur, intensiteit en fotoperiode) om de groei van tarbot te versnellen, aan de hand deze vraag is een onderzoek uitgevoerd. Door middel van het opstellen en het uitvoeren van een praktisch onderzoek, waarbij er gekeken is naar de invloed van licht (kleur, intensiteit en fotoperiode) op de van juveniele tarbot, is er een bijdrage geleverd aan de ontwikkeling/verbetering van het kweekproces.

## 1.2 Onderzoeksvraag

Voor het behalen van het onderzoeksdoel is de volgende hoofdvraag geformuleerd:

***“Wat is het effect van licht (kleur, intensiteit en fotoperiode) op de groeisnelheid van de tarbot in de juveniele fase van de tarbotkweek?”***

Deze hoofdvraag is onderverdeeld in de volgende deelvragen;

1. Bij welke monochromatische lichtkleur kan de hoogste groeisnelheid van de juveniele tarbot behaald worden?
2. Welk effect heeft de toevoeging van een fotoperiode aan de beste lichtkleur op de groeisnelheid van de juveniele tarbot?
3. Welk effect heeft lichtintensiteit samen met de beste lichtkleur- en fotoperiode samenstelling op de groeisnelheid van de juveniele tarbot?

## 1.3 Hypothese

1. Aan de hand van de resultaten van de onderzoeken naar twee verschillende platvissoorten door Yamanome et al. (2009) en Choi et al. (2019) (2.2.2; Kleur) wordt verwacht dat bij de groene lichtkleur (525nm) de hoogste groei(snelheid) van de juveniele tarbot ten opzichte van zowel de referentiewaardes als de andere gebruikte lichtkleuren (rood; 622nm, blauw: 456nm) behaald wordt.
2. Aan de hand van de resultaten van de onderzoeken van Imsland et al. (1995, 1997, 2013) (2.2.2; Fotoperiode) wordt verwacht dat de hoogste groei(snelheid) behaald wordt bij het toevoegen van een fotoperiode van 16 uur licht en 8 uur donker aan de beste monochromatische lichtkleur ten opzichte van de andere fotoperiodes.
3. Aan de hand van de resultaten van de onderzoeken van Trippel & Neil (2003) en Han et al. (2005) (2.2.2; Intensiteit) wordt verwacht dat bij een lagere lichtintensiteit ( $<2.0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) een hogere groeisnelheid waargenomen kan worden ten opzichte van de gebruikte lichtintensiteiten ( $2.0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) tijdens de eerste twee delen van het onderzoek.

## 1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de theoretische achtergrond gegeven bij dit onderzoek. Het biedt naast informatie over de huidige tarbotkweek ook informatie over eerder uitgevoerde onderzoeken van het effect van licht (kleur, intensiteit en fotoperiode) op verschillende vissoorten. In hoofdstuk 3 wordt experimentele opzet beschreven. In de hierop volgende hoofdstukken (4, 5 en 6) worden de gebruikte methoden met betrekking tot de gebruikte onderzoeksinstellingen per deelonderzoek beschreven. Bij de hoofdstukken betreffende de deelonderzoeken worden naast methoden, resultaten, conclusie en discussie weergegeven. De eindconclusie wordt weergegeven in hoofdstuk 7. Als laatste worden er ook aanbevelingen gegeven over toekomstig onderzoek in hoofdstuk 8.

## 2. Theoretisch kader

### 2.1 Algemene informatie

De tarbot is een vissoort die leeft op zandige, rotsachtige of gemengde bodems. Het natuurlijke voedsel van de juveniele tarbot is gebaseerd op kreeftachtigen (*Malacostraca* en *Decapoda*). Volwassen tarbot voedt zich voornamelijk met andere bodemdieren (zandspiering, grondels, krabben, enzovoorts). De tarbot vertoont één van de snelste groeisnelheden die bij platvissoorten waargenomen wordt, ongeveer 30 cm in 3 jaar. (Svåsand, Crosetti, García-Vázquez & Verspoor, 2007).

Tarbot plant zich in gevangenschap niet zelf voort, dus worden in de viskweek de gameten met de hand gestript (Chereguini, De La Banda, Rasines & Fernandez, 1999). Nadat geslachtsrijpheid bereikt wordt (2-5 jaar) vertoont vrouwelijke tarbot significant hogere groeisnelheden dan mannelijke tarbot (Imsland, Foss, Nævdal & Stefansson, 2001). Het afgestreken hom<sup>(1)</sup> en kuit<sup>(1)</sup> worden met elkaar vermengd waarna er bevruchting van de eieren plaatsvindt en de eieren, afhankelijk van temperatuur en saliniteit, na ongeveer 5 dagen uitkomen. Pas uitgekomen tarbotlarven zijn doorgaans 2,3-2,8 mm lang en hebben een grote dooierzak die een enkele oliedruppel bevat en die de eerste dagen gebruikt wordt als voedsel (Al-Maghazachi & Gibson, 1984).

Aan het begin van de exogene voedingsfase (ongeveer 3 tot 7 dagen na het uitkomen) worden larven gevoerd met rotiferen<sup>(1)</sup> (*Brachiomus plicatilis*), gevolgd door *Artemia nauplii*<sup>(1)</sup> na ongeveer 13 dagen.

De metamorfose eindigt na 40-50 dagen wanneer de larven ongeveer 25 mm lang zijn en een gewicht hebben van 0.8 – 1.0 gram (Svåsand et al., 2007). Na deze fase worden de visjes overgeplaatst naar raceway-systemen (Figuur 3) met een waterdiepte van 5 centimeter waar ze binnen een tijdsbestek van 2-3 maanden opgroeien tot visjes van ongeveer 10 gram, de zogenoemde nursery-fase. Wanneer de visjes dit gewicht bereikt hebben worden ze overgeplaatst naar diepere raceway-systemen (10-20 cm diep) waar ze tijdens de grow-out fase opgroeien tot consumptieformaat (1.5 kg).



Figuur 3: Raceway-systeem Fry Marine (eigen afbeelding)

Om energie te besparen, verwarmingskosten te minimaliseren en controle te hebben over omgevingsparameters wordt het water uit raceway-systemen door middel van een RAS<sup>(1)</sup>-systeem gezuiverd en hergebruikt, hierbij wordt het totale waterhoeveelheid van de raceways 5 keer per uur verversd (Seafarm, 2019). De bezettingsdichtheid in de raceways is vrij laag aan het begin ( $\pm 3 \text{ kg/m}^2$ , visjes van 5 gram) en neemt toe naarmate de vissen groeien ( $\pm 30 \text{ kg/m}^2$ , vissen van 1.5 kg) (Seafarm, 2019).

### 2.2 Biotische en abiotische factoren

De invloed van biotische en abiotische factoren met betrekking tot hun effecten op de groei en voortplanting van vissen wordt al een lange tijd bestudeerd. Vissen zijn sterk afhankelijk van de temperatuur. Andere factoren zoals zoutgehalte, pH, zuurstofbeschikbaarheid en de aanwezigheid van 'natuurlijke toxische stoffen', zoals ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), distikstof ( $\text{N}_2$ ) en koolstofdioxide ( $\text{CO}_2$ ), spelen een grote rol bij de ontwikkeling en groei van vissen (Boeuf & Le Bail, 1999). Verschillende omgevingsfactoren zoals bezettingsdichtheid, zoutgehalte, watertemperatuur, fotoperiode en licht kunnen, wanneer deze factoren niet juist zijn, fysiologische stress bij vissen veroorzaken.

### 2.2.1 Bezettingsdichtheid

Een te hoge bezettingsdichtheid, afhankelijk van de soort, heeft een aantal negatieve effecten op gekweekte vispopulaties, zoals gedragsveranderingen en slechte voedselopname, resulterend in een toename van de mortaliteit en slechte groei. Een te hoge bezettingsdichtheid is een aquacultuur-gerelateerde chronische stressor<sup>(1)</sup> wat de cortisolaanmaak<sup>(1)</sup> beïnvloedt. Plasma-cortisolmetingen worden in het algemeen gebruikt als een algemene indicator van stressvolle situaties bij gewervelde dieren en in het bijzonder bij vissen (Pickering en Pottinger 1989; Holm, et al., 1990; Björnsson, 1994; Montero, 1999).

Irwin, O'halloran & FitzGerald (1999) heeft onderzoek gedaan naar het effect van bezettingsdichtheid (0.7, 1.1, 1.5 & 1.8 kg/m<sup>2</sup>) op de groei en groeivariatie bij juveniele tarbot. De resultaten van hun onderzoek laten zien de hoogste groeisnelheid (3.46%/dag), over een periode van 45 dagen, werd behaald bij de groep met laagste bezettingsdichtheid (0.7 kg/m<sup>2</sup>). Naarmate de bezettingsdichtheid groter werd nam de groeisnelheid van de groepen af, met als laagste groeisnelheid 3.13%/dag. De groeisnelheid nam in de loop van de tijd af naarmate het gemiddelde visgewicht toenam; de groeisnelheid van de groep met de laagste bezettingsdichtheid nam echter langzamer af dan alle andere.

### 2.2.2 Licht

#### Kleur

Karakatsouli et al. (2007) schrijft dat afhankelijk van de soort, de kenmerken van natuurlijke habitats en specifieke visuele capaciteiten van de soort, het lichtspectrum van invloed is op meerdere fysiologische aspecten, zoals groei, voortplanting en gedrag. Yamanome, Mizusawa, Hasegawa & Takahashi (2009) hebben de effecten van verschillende lichtkleuren (blauw, groen en rood) op de groei van de barfin flounder<sup>(1)</sup> (*Verasper moseri*), een platvissoort, onderzocht. Dit onderzoek toont een groeistimulerend effect bij groen licht (525nm) en een groeiremmend effect bij rood licht (622nm) bij een fotoperiode van 9 uur licht en 15 uur donker (LD<sup>(1)</sup>9:15). Choi et al. (2019) vinden in hun onderzoek naar de effecten van groen licht op antioxidant en niet-specifieke immuun reacties van de olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) onder de groene licht condities hogere waarden in lichaamslengte, lichaamsdiepte en lichaamsgewicht vergeleken met de andere experimentele groep (gesimuleerde natuurlijke fotoperiode). De aanvulling hierop is ook dat onder het groene licht de Specific Growth Rate (SGR<sup>(1)</sup>) hoger was dan de andere experimentele groep (12.2% ± 4.6% ten opzichte van 9.5% ± 2.0%).

Luchiari et al. (2009) hebben de effecten van monochromatisch licht op de specifieke groeisnelheid (SGR), voeropname en voerefficiëntie van juveniele snoekbaarzen (*Sander lucioperca*) onderzocht. De snoekbaarzen werden gedurende 42 dagen gekweekt in aquaria bedekt met wit, blauw, groen, geel of rood licht. Na 42 dagen was het gewicht en de SGR significant hoger bij vissen die gehouden waren onder rood licht ten opzichte van vissen gehouden onder wit licht. De voer efficiëntie (FE) was onder groen, geel en rood licht beter ten opzichte van wit licht, terwijl blauw vergelijkbaar was met wit licht.

Een onderzoek van Karakatsouli et al. (2007) naar de effecten van het lichtspectrum op de groei en fysiologische status van de zeebrasem (*Sparus aurata*) en regenboogforel (*Oncorhynchus mykiss*) toont aan dat blauw licht (480 nm), na een periode van 11 weken, een significantie negatieve impact had op de groei prestatie van de regenboogforel. In het geval van de zeebrasem werd een hogere groeisnelheid (1.44%/dag) gevonden onder blauw licht ten opzichte van de groepen gekweekt onder wit licht (1.42%/dag) en rood licht (1.40%/dag). Een ander onderzoek van Luchiari & Pirhonen (2008) naar het effect van de omgevingskleur op de voorkeur en groei van de juveniele regenboogforel toont aan dat de regenboogforel de meeste voorkeur had voor de groene omgevingskleur. Aan het eind van het groei onderzoek hadden de vissen die in de groene omgeving waren gehouden aanzienlijk hogere

groeisnelheid (4.49%/dag) dan de vis in blauwe (4.16%/dag), witte (4.28%/dag), rode (4.03%/dag) en gele (4.30%/dag) omgeving.

Zoals hierboven beschreven hebben de gebruikte lichtkleuren een andere werking op de groei en ontwikkeling van verschillende vissoorten en kunnen dus bijna niet met elkaar vergeleken worden. Het is mogelijk dat een kleur die de groei en het welzijn van bepaalde soorten verbetert mogelijk verband houdt met de soort specifieke kleurvoorkeur (Luchiari & Pirhonen, 2008).

#### Intensiteit

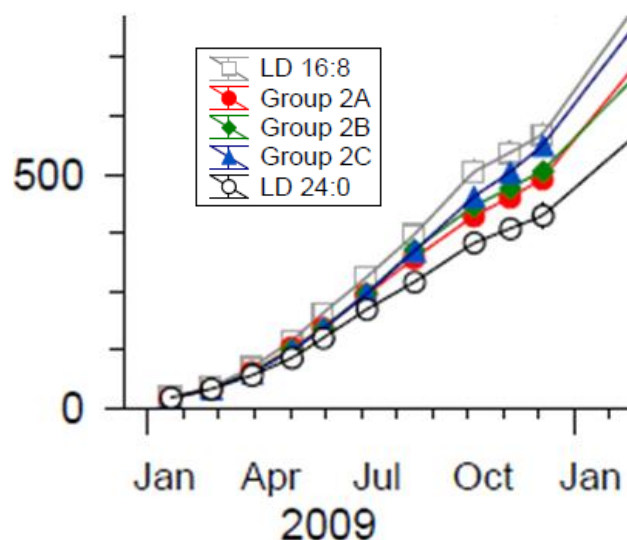
Trippel & Neil (2003) vonden in hun onderzoek naar de effecten van lichtintensiteit op de groei en activiteit van juveniele schelvis (*Melanogrammus aeglefinus*) dat na 24 weken onder een fotoperiode van 24 uur licht de vissen 53-60% zwaarder waren dan die onder de natuurlijke fotoperiode. In een vervolgonderzoek van 24 weken werd schelvis gekweekt onder vijf fotoperiodes (natuurlijke fotoperiode, 12, 16, 20 en 24 uur licht) met twee lichtintensiteiten ( $2.3$  en  $0.69 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). De fotoperiodes van 20 & 24 uur licht resulteerden in de grootste groei, hoewel andere fotoperiodes (12 en 16 uur licht) ook resulteerden in een snellere groei dan de natuurlijke fotoperiode. Verlaagde lichtintensiteit, van  $2.3$  en  $0.69 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (<sup>1</sup>), bij 24 uur licht, leidde tot een verdere verhoging van 11% van het lichaamsgewicht.

Een ander onderzoek naar de effecten van lichtintensiteit op de groei, overleving en huidkleur van juveniele Chinese langsnuit meerval (*Leiocassis longirostris*) door Han et al. (2005) vond een significant verminderde groeisnelheid bij lagere ( $0.15 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ; 3.32%/dag) of hogere ( $5.28 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ; 3.09%/dag) intensiteiten ten opzichte van de hoogste groeisnelheid (3.54%/dag) bij een lichtintensiteit van  $0.98 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

#### Fotoperiode

Fotoperiode regimes worden vaak beschouwd als een geschikte strategie om de groei van verschillende vissoorten te verbeteren (Boeuf & Le Bail, 1999). Een uitgebreide fotoperiode werd met succes gebruikt om de groeisnelheid van verschillende vissen, zoals Atlantische zalm (*Salmo salar*) (Henderson & Saunders, 1970) en schelvis (*Melanogrammus aeglefinus*) (Folkvord & Ottera, 1999) te verbeteren. Anderen zijn niet zo succesvol geweest, bijvoorbeeld tong (*Solea Solea*) (Fuchs, 1978) en Yellowtail-flounder (*Limanda ferruginea*) (Purchase, Boyce, & Brown, 2000). Het is niet zeker waarom er zoveel verschil is tussen de verschillende soorten.

Informatie over de effecten van omgevingsfactoren, zoals fotoperiode, op groei van juveniele tarbot is schaars (Imsland et al., 1995). Jones (1973) ontdekte in een studie naar wilde tarbot dat de groei van juveniele tarbot een duidelijk seizoenspatroon vertoonde: een hogere groei in de zomer dan in de winter. Hij suggereerde dat dit groeipatroon deels te wijten was aan seizoensveranderingen in daglengte. Imsland et al. (1995) vinden na een periode van drie maanden (december-februari) een groei bevorderend effect bij juveniele tarbot onder een fotoperiode met 24 uur licht ten opzichte van de natuurlijke



Figuur 4: Gemiddeld gewicht van individueel getagde tarbot gekweekt tijdens vijf verschillende (licht)periodes. Overgenomen uit "Long-term effect of photoperiod manipulation on growth, maturation and flesh quality in turbot", door Imsland, A. K., Gunnarsson, S., Roth, B., Foss, A., Le Deuff, S., Norberg, B., & Helming, T., 2013, p.8



fotoperiode en een fotoperiode met 16 uur licht bij een watertemperatuur van 10°C, maar bij een hogere temperatuur (16°C) was de groei beperkt. De LD16:8 had het hoogste uiteindelijke gemiddelde gewicht bij een watertemperatuur van 16°C. Een experiment uitgevoerd in Brest liet geen effect zien van zes verschillende fotoperiodes op tarbot (32 gram begingewicht) over een periode van 60 dagen (Pichavant et al., 1998). Andere onderzoeken van Imsland et al. (1997, 2013) laten zien dat de bij toevoeging van een fotoperiode van 16 uur licht en 8 uur donker (LD16:8), bij een watertemperatuur van  $15.2 \pm 0.5$  °C, een snellere groei bij tarbot plaatsvindt in het eerste jaar ten opzichte van een fotoperiode van 24 uur licht en 0 uur donker (LD 24:0) onder de normale licht omstandigheden (Figuur 4). Het verschil na een groeiperiode van één jaar tussen de 2 verschillende fotoperiodes bedraagt ongeveer 150 gram, de tarbotten met LD24:0 hadden het gemiddelde gewicht van  $\pm 450$  gram terwijl andere groep (LD16:8) een gemiddeld gewicht hadden van  $\pm 600$  gram. Echter concludeerden de auteurs dat de effecten van fotoperiodes niet zo overtuigend waren als voor andere vissoorten.

### 2.3 Biologische achtergrond

Onlangs is gerapporteerd dat licht met specifieke golflengten het immuunsysteem van vissen verbetert of hun stressniveaus verlaagt (Choi et al., 2016; Jung et al., 2016; Kim et al., 2016). Groei, voedselinname en spijsvertering staan in verband met specifieke gedragsritmes en met voortplanting; en er wordt gedacht dat melatonine<sup>(1)</sup> hier ook bij betrokken is (Falcon, Migaud, Munoz-Cueto & Carrillo, 2010). Studies onderzochten verschillende fysiologische effecten bij vissen die werden blootgesteld aan monochromatisch licht afkomstig van LED's. Choi et al. (2016) rapporteert dat de niveaus van lysozyme<sup>(1)</sup> en melatonine in het plasma van goudvissen significant toenamen na 4 maanden blootstelling aan groen licht. Dit suggereerde dat groen licht het immuunsysteem van de vis versterkte. De resultaten van deze studie komen overeen met eerdere studies die suggereren dat groen licht de immuniteit en groei verhoogt in vergelijking met wit licht, en in het bijzonder de effecten van stress als gevolg van hoge bezettingsdichtheid vermindert. Karakatsouli et al. (2007) & Falcon et al. (2010) schrijven dat ondanks het bewijs van gekleurde lichteffecten op fysiologische processen in vissen, de gerapporteerde resultaten niet uniform zijn en het duidelijk is dat verschillende soorten anders reageren op licht, waarschijnlijk vanwege hun specifieke natuurlijke habitatkenmerken in verband met aanpassingen van hun visuele systeem.

### 3. Experimentele opzet

In dit hoofdstuk wordt de experimentele opzet beschreven die gebruikt is om een indirect antwoord te kunnen geven op de voor dit onderzoek opgestelde hoofdvraag. Er zijn drie delen:

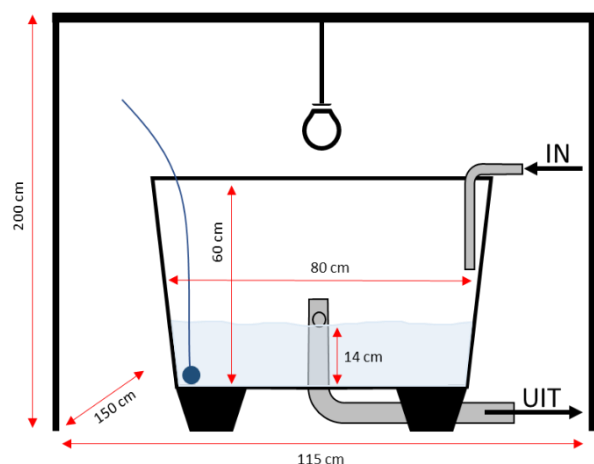
1. Opstelling
2. Algemene informatie
3. Data analyse

In de hoofdstukken hierna worden de deelonderzoeken beschreven die gebruikt zijn om directe antwoorden te kunnen geven op de opgestelde deelvragen. Per onderdeel zal het verrichte onderzoek gedetailleerd worden beschreven.

#### 3.1 Opstelling

Voor dit onderzoek zijn zeven bakken met behulp van tussenschotten onderverdeeld in verschillende compartimenten. De compartimenten zijn door middel van een zeil verduisterd zodat het licht van buitenaf geen invloed heeft op het onderzoek. Boven de bakken zijn zelf instelbare LED lampen (Smart LED Bulb, 7,5 W) bevestigd, deze kunnen ingesteld worden met de gewenste instellingen per deelonderzoek. Figuur 5 geeft een schematische weergave voor de opstelling weer, Figuur 6 de huidige opstelling.

In Figuur 5 is te zien dat de middelste standpijp een hoogte heeft van  $\pm 14$  cm, deze waterdiepte komt overeen met de gebruikte waterdiepte die gebruikt wordt voor de opkweek van de juveniele tarbot in raceway-systemen binnen Seafarm (Seafarm, 2019). Tijdens het onderzoek zijn de bakken op doorstroom gevuld met grondwater (volume:  $\pm 75$  liter). Wanneer het water boven  $\pm 14$  cm komt wordt het water via de standpijp afgevoerd naar de afvoer in de grond. Deze opstelling is voor alle deelonderzoeken gebruikt.



Figuur 5: Schematische weergave opstelling licht onderzoek tarbot.

#### 3.2 Algemene informatie

##### 3.2.1 Kweekomstandigheden

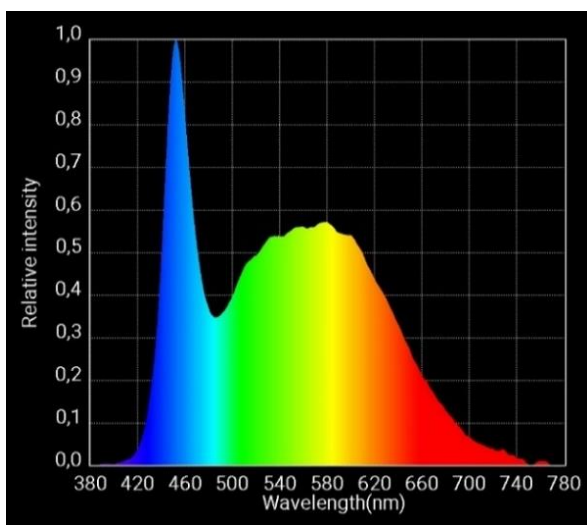
Tijdens de proef is er grondwater met een zoutgehalte van  $26 \pm 1$  ppt<sup>(1)</sup> gebruikt. Tijdens het onderzoek vond er een continue verversing ( $\pm 100\%$  per uur) van het water in de bakken plaats. Ook waren de bakken voorzien van zuurstof ( $>80\%$  verzadiging). Het instromende grondwater had een gemiddelde temperatuur van  $15.5^\circ\text{C}$ . Het grondwater bevatte ammonium en ging tijdens het onderzoek eerst door een klein biofilter<sup>(1)</sup> voordat het in de bakken terecht kwam, dit om de ammoniumconcentratie door middel van denitrificatie<sup>(1)</sup> (Bregnballe, 2010) in het instromende water te minimaliseren.



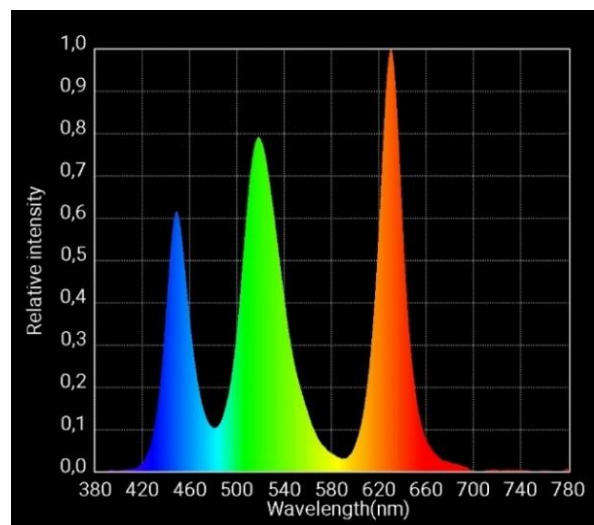
Figuur 6: Opstelling licht onderzoek tarbot

Uit eerdere onderzoeken binnen Fry Marine is gebleken dat kleine schommelingen in temperatuur geen significante impact heeft op de juveniele tarbot, het water is voor dit onderzoek dus niet verwarmt. Wel is bekend dat temperatuur de voedselopname en de groei van de juveniele tarbot beïnvloedt (Árnason et al., 2009 & Imsland et al., 2007). Omdat tijdens het onderzoek de watertemperatuur overall hetzelfde was is de invloed van temperatuur tijdens de experimenten niet in beschouwing genomen. Wel is tijdens het onderzoek dagelijks watertemperatuur, zuurstofconcentratie en pH in de onderzoeksbakken gemonitord.

Tijdens het opstellen van de methode voor het deelonderzoek is geprobeerd om de referentiekleur en lichtintensiteit van de raceways zo goed mogelijk na te bootsen. De gebruikte LED lampen (LED Tri-proof Light, 50W) boven de raceways hebben een volledig spectrum (FSP) (Figuur 8) die alle kleuren mengt waardoor er een witte lichtkleur waargenomen wordt. De LED lampen (60W) die voor het onderzoek gebruikt zijn, zijn RGB<sup>(1)</sup>-lampen (Figuur 7). Deze lamp mengt rood, groen en blauw licht waarbij ook een witte kleur waargenomen wordt en bevatten dus niet het gehele spectrum.



Figuur 8: Spectrum LED Tri-proof Light (50W)



Figuur 7: Spectrum Smart LED Bulb (7.5W)

### 3.2.2 Voeding

Tijdens het onderzoek zijn de tarbotjes met de hand gevoerd met een commercieel tarbot droogvoer (EFICO Sigma 870F, bevattend 56% eiwit, 12% vet, 9.8% as) op 3 momenten per dag (om 8:30 uur, 12:30 uur en 16:00 uur) (Bijlage 3: Ingrediëntenlijst EFICO Sigma 870F), in de weekenden op 2 momenten per dag (om 12:00 uur en 17:00 uur). Tijdens het onderzoek zijn pellets gevoerd met een diameter van 3.0 mm. Aan het einde van de dag, tijdens de laatste voerperiode, zijn de vissen gevoerd totdat er waargenomen werd dat de vissen het voer niet meer op aten. De vissen konden het voer voor de gehele periode van 16:00 uur tot 8:30 uur de volgende dag verteren. Het niet opgegeten voer werd opschreven en meegenomen in de berekeningen.

### 3.2.3 Groepssamenstelling

Voor elk deelonderzoek zijn aan het begin van het onderzoek in elke bak 30 juveniele tarbotjes geplaatst. De tarbotjes bevonden zich voorafgaand de deelonderzoeken in de raceways in de naastliggende tarbotkwekerij, Seafarm. In totaal zijn per deelonderzoek 210 juveniele tarbotjes overgeplaatst van Seafarm naar Fry Marine. Deze tarbotjes zijn binnen Seafarm uitgezocht, hierbij zijn zoveel mogelijk tarbotjes geselecteerd met dezelfde grootte om de spreiding van de gewichten zo klein mogelijk te houden. Na het vervoeren van de tarbotjes zijn de 210 juveniele tarbotjes willekeurig verdeelt over de zeven ruimtes waar ze voor vijf dagen konden wennen aan hun nieuwe omgeving, de gewenningsperiode.



### 3.3 Data-analyse

Voorafgaand aan en aan het einde van de deelonderzoeken zijn de tarbotjes individueel gewogen. Deze begin- en eindgewichten zijn ingevoerd in een per deelonderzoek opgestelde Excel-file waar het gemiddelde gewicht en de hierbij horende standaardafwijking berekend is. Ook zijn van elke groep de volgende parameters berekend:

- **Specifieke groeisnelheid (SGR);**

$$\frac{\ln \text{gemiddeld eindgewicht} - \ln \text{gemiddeld begingewicht}}{\text{aantal dagen}} * 100\% \text{ (in \%} \cdot \text{d}^{-1}\text{)}$$

- **Feed Conversion Ratio (FCR<sup>(1)</sup>);**

$$\frac{(\text{Totaal gevoerd} * \text{drooggewicht gehalte}) / \text{Gemiddelde groei}}{\text{aantal dagen}}$$

- **Procentuele gewichtstoename;**

$$\frac{\text{Gemiddelde groei}}{\frac{(\text{Gemiddeld begingewicht} / 100\%)}{100}} \text{ (in \%)}$$

- **Gemiddelde groei;**

$$\text{Gemiddeld begingewicht} - \text{Gemiddeld eindgewicht (in gram)}$$

Alle gegevens zijn geanalyseerd met behulp van SPSS (IBM SPSS Statistics).

#### *Kolmogorov-Smirnov Test*

De *Kolmogorov-Smirnov Test* werd gebruikt om de normaliteit van de groepen te bepalen. De gewichten van alle groepen voorafgaand aan deelonderzoeken één en twee hadden een normale verdeling (SPSS, *Kolmogorov-Smirnov Test*,  $P > 0.05$ ) (Bijlage 4: Tests of Normality). De gewichten van alle groepen voorafgaand aan het derde deelonderzoeken hadden een normale verdeling ( $P > 0.05$ ), behalve één groep met de hoogste lichtintensiteit-instelling ( $9.71 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Deze groep had een kleine afwijking in normaliteit ( $P = 0.04$ ) (Bijlage 4.3: Tests of Normality deelonderzoek 3).

#### *Independent Samples Test*

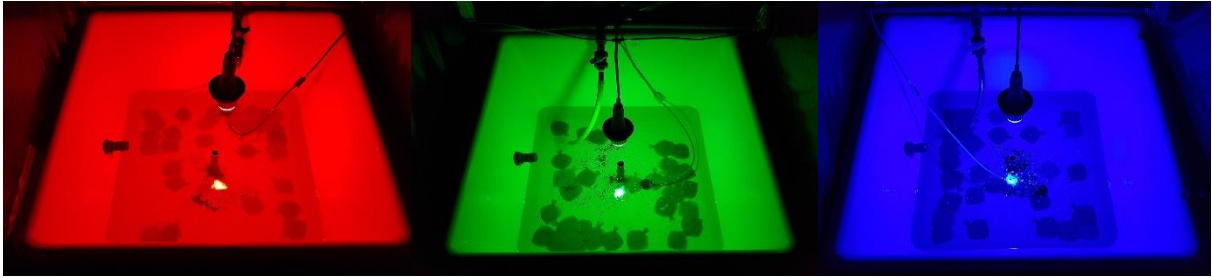
Een *Independent Samples Test* werd gebruikt om verschillen tussen de duplo's te vergelijken. Tussen de gewichten van duplo's van de drie deelonderzoeken was voorafgaand aan het onderzoek geen significant verschil aantoonbaar (SPSS, *Independent Samples Test*,  $P > 0.05$ ) (Bijlage 5: Independent Samples Test).

#### *One-Way ANOVA*

Een *One-Way ANOVA* werd gebruikt om de gemiddelde gewichten van de groepen met elkaar te vergelijken. Tussen alle groepen voorafgaand aan de drie deelonderzoek was geen significant verschil tussen de gewichten van de groepen aantoonbaar (SPSS, *One-Way ANOVA*,  $P > 0.05$ ) (Bijlage 6: One-Way ANOVA).

De bovenstaande drie testen zijn ook gebruikt voor het analyseren van de verkregen gegevens aan het einde van elk deelonderzoek. Wanneer na de *Independent Samples Test* geen significante verschillen tussen de eindgewichten van de duplo's aangetoond konden worden zijn de specifieke groeisnelheden, voederconversieratio's, procentuele gewichtstoenames en de gemiddelde groei van deze duplo's gemiddeld. Deze gegevens worden per deelonderzoek samen met de standaardafwijkingen na middelen weergegeven in de resultaten.

4. Deelonderzoek 1: Effect van monochromatisch licht op de groei van  
juvenile tarbot



## 4.1 Methode

Om een antwoord te kunnen geven op de deelvraag met betrekking tot het effect van monochromatisch licht op de groeisnelheid van de juveniele tarbot is hieronder de volgende methode opgesteld.

### 4.1.1 Instellingen

#### Referentie

Voor het eerste deel van het onderzoek is gekozen om de gebruikte lichtkleur en de hierbij behorende lichtintensiteit op het wateroppervlak in de raceways te gebruiken als referentiewaarde tijdens het onderzoek. Met behulp van een lichtmeter (*Asensetek Lighting Passport*) is op 18 verschillende plekken in verschillende raceways een meting uitgevoerd om de lichtkleur en de lichtintensiteit op het wateroppervlak (in  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) voor de referentiewaarde te kunnen bepalen. De gemiddelde lichtintensiteit ( $2.01 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) samen met de witte lichtkleur afkomstig uit de metingen (Bijlage 1: gemiddelde golflengte (nm) en lichtintensiteit ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) raceway Fry Marine) diende als richtlijn voor de referentieinstellingen tijdens dit deelonderzoek (Tabel 1). Ruimte één van de voor dit onderzoek gebruikte opstelling zijn als referentieruimtes gebruikt.

#### Onderzoeksinstellingen

De eerdere onderzoeken van Yamanome et al. (2009) en Choi et al. (2019) hebben verschillende lichtkleuren en lichtintensiteiten gebruikt voor de onderzoeken naar twee verschillende platvissoorten, de olive flounder en barfin flounder. De voor deze onderzoeken gebruikte lichtkleurinstellingen zijn, samen met de gemiddelde lichtintensiteit van de raceway-systeem instellingen binnen Fry Marine (zie; Referentie), gebruikt om de instellingen voor dit onderzoek op te stellen. Hierbij is als richtlijn voor de lichtintensiteiten op het wateroppervlak voor dit deelonderzoek een waarde van  $2.00 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  genomen.

De lichtkleuren (rood; 622nm, groen; 525 nm, blauw; 456nm) uit de hierboven genoemde onderzoeken zijn in de voor dit onderzoek gemaakte opstelling ingesteld. De LED lampen zijn elk op verschillende hoogtes gehangen om de lichtintensiteit op het wateroppervlak rond de  $2.00 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  te houden.

De met de lichtmeter gemeten instellingen (golflengte en lichtintensiteit) in de zeven ruimtes worden weergegeven in Tabel 1 & Bijlage 2: Spectra onderzoeksinstellingen. Omdat alle ruimtes van elkaar gescheiden waren tijdens het onderzoek, zijn deze ruimtes ingedeeld in volgorde van golflengte.

Tabel 1: Instellingen licht onderzoek tarbot

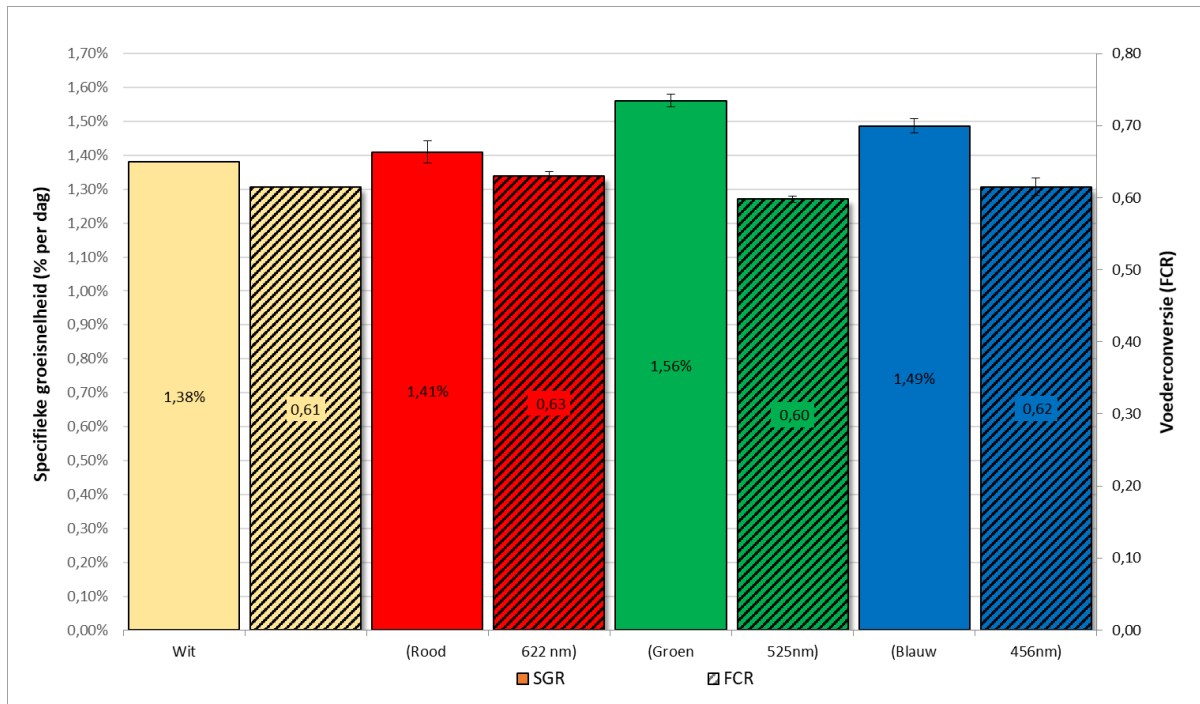
|                       | Lichtkleur | Golflengte (nm) | PPFD <sup>(1)</sup> ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) | Spectrum (Bijlage)       |
|-----------------------|------------|-----------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Ruimte 1 (referentie) | Wit        | -               | 2.15                                                         | 2.1 Spectrum referentie  |
| Ruimte 2              | Rood       | 622             | 2.07                                                         | 2.2 Spectrum rood licht  |
| Ruimte 3              | Rood       | 622             | 2.05                                                         |                          |
| Ruimte 4              | Groen      | 525             | 2.06                                                         | 2.3 Spectrum groen licht |
| Ruimte 5              | Groen      | 525             | 2.07                                                         |                          |
| Ruimte 6              | Blauw      | 456             | 2.02                                                         | 2.4 Spectrum blauw licht |
| Ruimte 7              | Blauw      | 456             | 2.03                                                         |                          |

#### 4.1.2 Uitvoering onderzoek

Tijdens de gewenningsperiode (7 februari tot 11 februari) stonden alle bakken ingesteld op de instellingen die vandaag de dag gebruikt worden voor de raceway systemen binnen Fry Marine, lichtkleur; wit, intensiteit;  $\pm 2.00 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . In verloop van de gewenningsperiode zijn de lichtkleuren langzamerhand ingesteld naar de gewenste lichtkleuren die voor dit onderzoek opgesteld zijn. Na de gewenningsperiode zijn de tarbotjes uit elke ruimte individueel gewogen en terug geplaatst, waarna het onderzoek gestart is. Het onderzoek is uitgevoerd in een periode van 29 dagen, van 12 februari tot en met 12 maart.

## 4.2 Resultaten

De gewichten van alle groepen na het deelonderzoek hadden een normale verdeling (SPSS, *Kolmogorov-Smirnov Test*,  $P > 0.05$ ) (Bijlage 4.1: Tests of Normality deelonderzoek 1). Tussen de gewichten van groepen met dezelfde monochromatische lichtkleurinstellingen was na het onderzoek geen significant verschil aantoonbaar (Bijlage 5.1: Independent Samples Test deelonderzoek 1). De bezettingsdichtheid voorafgaand het onderzoek was ongeveer  $2.4 \text{ kg/m}^2$ .



Figuur 9: Specifieke groeisnelheid en voederconversieratio van juveniele tarbot na het eerste deelonderzoek. Effen opvulling = SGR, schuin patroon = FCR.

De verschillende monochromatische lichtkleuren hadden geen significante effecten op de eindgewichten tussen de groepen met juveniele tarbot (SPSS, *One-Way ANOVA*,  $P = 0.186$ ) (Bijlage 6.1: *One-Way ANOVA* deelonderzoek 1). Hoewel niet significant, de specifieke groeisnelheid (Figuur 9) en de procentuele gewichtstoename (Tabel 2) van de groepen gekweekt onder groen licht (525nm) waren aanzienlijk hoger ten opzichte van de groepen gekweekt onder rood licht (622nm), blauw licht (456nm) en de referentiegroep.

Bovendien was de uiteindelijke FCR van de vissen in gekweekt onder groen licht lager ten opzichte van de vissen gekweekt onder rood licht, blauw licht en de referentiegroep (Figuur 9). Er was geen sprake van mortaliteit tijdens het experiment.

Tabel 2: Resultaten deelonderzoek 1: effect monochromatisch licht op de groei van juveniele tarbot

| Lichtkleur ( $\lambda_{max}$ nm)                          | Wit            | Rood (622)      | Rood (622)      | Groen (525)     | Groen (525)     | Blauw (456)     | Blauw (456)     |
|-----------------------------------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Fotoperiode (L:D)                                         | 24:0           | 24:0            | 24:0            | 24:0            | 24:0            | 24:0            | 24:0            |
| Lichtintensiteit ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) | 2.15           | 2.07            | 2.05            | 2.06            | 2.07            | 2.02            | 2.03            |
| Begingewicht (g)                                          | 41.9 $\pm$ 5.1 | 41.5 $\pm$ 6.0  | 39.9 $\pm$ 6.0  | 41.6 $\pm$ 5.8  | 39.6 $\pm$ 5.6  | 38.2 $\pm$ 6.1  | 40.0 $\pm$ 6.7  |
| Eindgewicht (g)                                           | 63.5 $\pm$ 6.6 | 63.9 $\pm$ 11.3 | 60.3 $\pm$ 11.1 | 66.7 $\pm$ 10.1 | 63.0 $\pm$ 11.4 | 60.0 $\pm$ 9.9  | 62.0 $\pm$ 10.0 |
| Gemiddelde groei (g)                                      | 21.5           | 21.1 $\pm$ 1.3  |                 | 24.3 $\pm$ 0.9  |                 | 21.9 $\pm$ 0.1  |                 |
| Gewichtstoename (% 30 dagen)                              | 51             | 52 $\pm$ 2.3    |                 | 60 $\pm$ 0.9    |                 | 56 $\pm$ 1.0    |                 |
| SGR (% dag <sup>-1</sup> )                                | 1.38           | 1.41 $\pm$ 0.03 |                 | 1.56 $\pm$ 0.02 |                 | 1.49 $\pm$ 0.02 |                 |
| FCR                                                       | 0.61           | 0.63 $\pm$ 0.01 |                 | 0.60 $\pm$ 0.00 |                 | 0.62 $\pm$ 0.01 |                 |

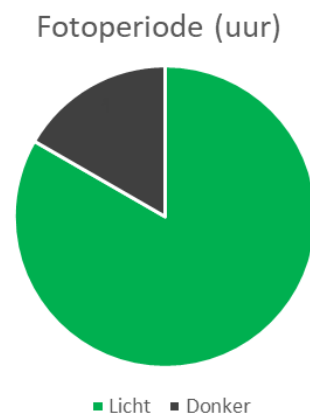
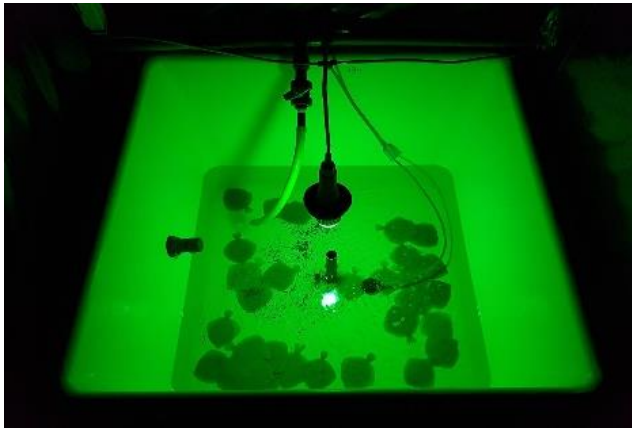
### 4.3 Conclusie & Discussie

In dit deelonderzoek is gezocht naar een antwoord op de deelvraag: 'Bij welke monochromatische lichtkleur kan de hoogste groeisnelheid van de juveniele tarbot behaald worden?'. Hiervoor zijn drie monochromatische lichtkleuren (rood, groen en blauw) en de referentiekleur (wit) onderzocht. Aan de hand van de gevonden resultaten uit de onderzoeken van Yamanome et al. (2009) en Choi et al. (2019) werd verwacht dat de hoogste groeisnelheid behaald werd onder groen licht ten opzichte van de andere monochromatische lichtkleuren. Uit de resultaten van dit deelonderzoek kwam naar voren dat in een tijdsbestek van 29 dagen geen significante verschillen in de eindgewichten van de groepen aangetoond kunnen worden, hierdoor kan de voor dit deelonderzoek opgestelde hypothese (Hypothese: 1) niet bevestigd worden.

Uit de resultaten van het deelonderzoek is wel te zien dat na 29 dagen zowel de specifieke groeisnelheid (SGR) als de procentuele gewichtstoename bij vissen gekweekt onder het groene licht hoger is dan de vissen gekweekt onder de andere monochromatische lichtkleuren en de referentiegroep. Een mogelijke verklaring voor de niet significante verschillen tussen de groepen van dit onderzoek biedt het onderzoek van Yamanome et al. (2009). Hun onderzoek vindt significante verschillen in lichaamsgewicht en lichaamslengte na een onderzoeksperiode van 14 weken. Echter vonden Choi et al. (2019) in hun onderzoek naar de olive flounder (*P. olivaceus*) wel significantie verschillen na een onderzoeksperiode van 30 dagen, echter begonnen zij met een gemiddeld startgewicht van  $3.41 \pm 0.5$  gram. Een reden voor de niet significante verschillen zou dus kunnen liggen in het feit dat de onderzoeksperiode te kort was samen met het relatief hoog gemiddeld begingewicht. Dit is in overeenstemming met eerdere studies over verschillende vissoorten (Björnsson & Tryggvadóttir, 1996; Imsland et al., 1996) die schrijven dat naarmate de vis groter wordt de groeisnelheid afneemt.

De rapporten van Baer, Schulz, Traulsen & Krieter (2011), Imsland et al. (2007) en cijfers afkomstig van Seafarm (2019) bewijzen dat de juveniele tarbotten tijdens de eerste maanden exponentieel in gewicht toenemen. Om aan de hand van resultaten uit het huidige onderzoek een indicatie te krijgen over de groeiverschillen na een langere onderzoeksperiode zijn de gevonden groeisnelheden gebruikt om een 'mogelijke groei curve' (Bijlage 7.1: Mogelijke groeicurve deelonderzoek 1) van 15 weken op te stellen. Hiermee worden de mogelijke gewichtsverschillen na een langere onderzoeksperiode weergegeven, dit deelonderzoek kon vanwege de korte onderzoeksperiode niet aantonen dat de verschillen in gewicht in werkelijkheid waarneembaar is.

## 5. Deelonderzoek 2: Effect van monochromatisch licht & fotoperiode op de groei van juveniele tarbot





## 5.1 Methode

Om een antwoord te kunnen geven op de deelvraag met betrekking tot het effect van monochromatisch licht en fotoperiode op de groeisnelheid van de juveniele tarbot is hieronder de volgende methode opgesteld.

De resultaten uit het eerste deelonderzoek zijn gebruikt voor het opstellen van het tweede deelonderzoek. Vanwege het gebrek aan ruimte om meerdere fotoperiodes toe te passen aan verschillende lichtkleuren is besloten om het tweede deelonderzoek uit te voeren met de beste lichtkleur (groen) uit het eerste onderzoek, samen met verschillende fotoperiodes, om hiermee een antwoord te kunnen geven op deelvraag twee.

### 5.1.1 Instellingen

#### *Referentie*

Bij dit deelonderzoek is er voor gekozen om de beste instellingen uit het eerste deelonderzoek (lichtkleur; groen (525nm), fotoperiode; 24:0, intensiteit;  $2.00 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) te gebruiken als referentie en deze in duplo uit te voeren. Ruimte twee en drie van de voor dit onderzoek gebruikte opstelling zijn als referentieruimtes gebruikt (Tabel 3).

#### *Onderzoeksinstellingen*

Imsland et al. (2013) vinden een betere groei bij tarbot gekweekt onder een licht en donker periode (LD 16:8) ten opzichte van een periode met alleen licht (LD 24:0). Met als gedachte dat naarmate de donker-periode korter is er meer gevoerd kan worden waardoor de vissen mogelijk sneller groeien en met een kortere fotoperiode mogelijk dezelfde groeisnelheid behaald kan worden als bij een langere fotoperiode (LD16:8) is gekozen om naast de fotoperiodes van 24:0 en 16:8 nog een fotoperiode te nemen die tussen deze fotoperiodes invalt, LD20:4. Praktisch gezien is een langere fotoperiode, bijvoorbeeld LD12:12, niet haalbaar in de kwekerij.

De LED lampen zijn na het eerste deelonderzoek aangepast naar de gewenste lichtinstellingen voor het tweede deelonderzoek (Tabel 3). De LED lampen hebben geen schemerfunctie en kunnen alleen aan en uitgeschakeld worden. Vanuit de praktijk blijkt dat het aan of uit zetten van een lichtbron geen nadelig effect heeft op de tarbot. Als richtlijn voor de lichtintensiteiten op het wateroppervlak is een waarde rond de  $2.00 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  genomen. Omdat al de ruimtes van elkaar gescheiden zijn, zijn deze ruimtes ingedeeld in volgorde van fotoperiode.

*Tabel 3: Instelling uitbreiding onderzoek a.d.h.v. eerste deel lichtonderzoek*

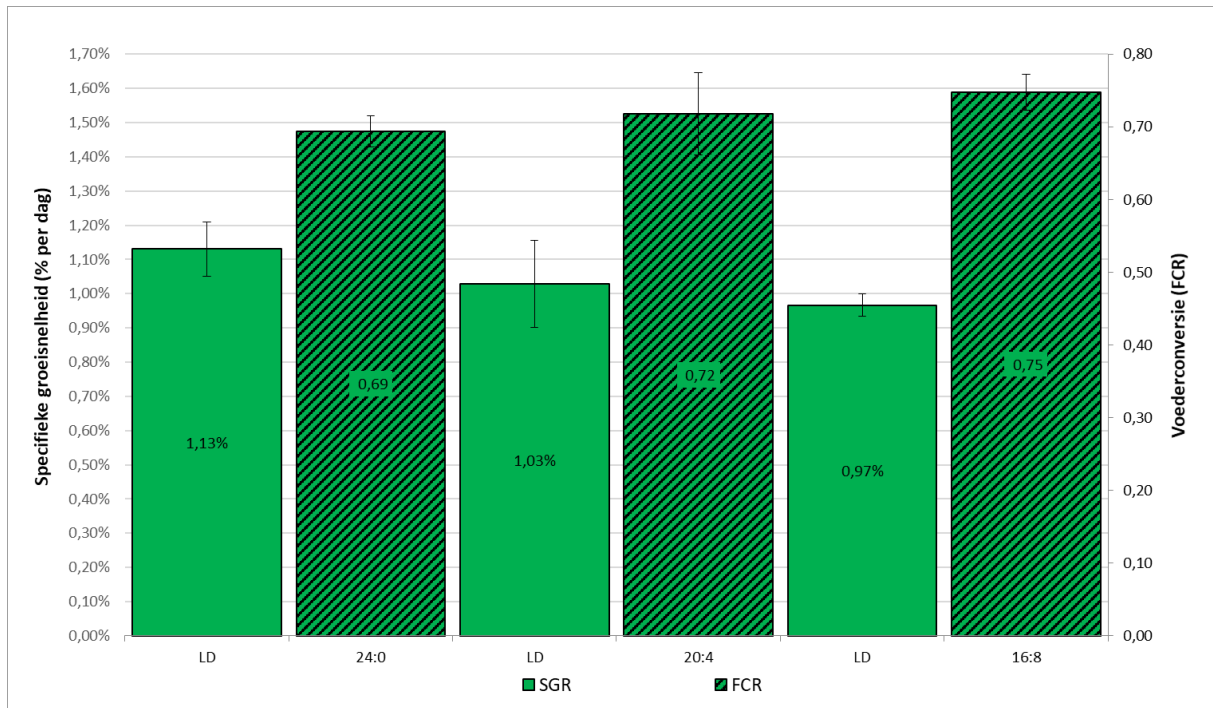
|                              | Lichtkleur | Fotoperiode (L:D) | Golflengte (nm) | PPFD ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) |
|------------------------------|------------|-------------------|-----------------|-----------------------------------------------|
| <b>Ruimte 2 (referentie)</b> | Groen      | 24:0              | 525             | 2.09                                          |
| <b>Ruimte 3 (referentie)</b> | Groen      | 24:0              | 525             | 2.08                                          |
| <b>Ruimte 4</b>              | Groen      | 20:4              | 525             | 2.06                                          |
| <b>Ruimte 5</b>              | Groen      | 20:4              | 525             | 2.11                                          |
| <b>Ruimte 6</b>              | Groen      | 16:8              | 525             | 2.09                                          |
| <b>Ruimte 7</b>              | Groen      | 16:8              | 525             | 2.10                                          |

### 5.1.2 Uitvoering onderzoek

Tijdens de gewenningsperiode (14 maart tot 18 maart) stonden de bakken ingesteld met de monochromatische groene lichtkleur met een fotoperiode van 24 uur licht. Na de gewenningsperiode zijn de tarbotjes uit elke ruimte individueel gewogen en terug geplaatst, waarna het onderzoek gestart werd. De eerste dag van het deelonderzoek zijn de lichtinstellingen veranderd naar de gewenste fotoperiodes die voor dit onderzoek opgesteld waren. Het onderzoek is uitgevoerd in een periode van 30 dagen, van 19 maart tot en met 17 april.

## 5.2 Resultaten

De gewichten van alle groepen na het deelonderzoek hadden een normale verdeling (SPSS, *Kolmogorov-Smirnov Test*,  $P > 0.05$ ) (Bijlage 4.2: Tests of Normality deelonderzoek 2). Tussen de groepen met groene lichtkleur en de verschillende fotoperiodes was na het onderzoek geen significant verschil in gewicht aantoonbaar (SPSS, *Independent Samples Test*,  $P > 0.05$ ) (Bijlage 5.2: Independent Samples Test deelonderzoek 2). De bezettingsdichtheid voorafgaand het onderzoek was ongeveer 3.1 kg/m<sup>2</sup>.



Figuur 10: Specifieke groeisnelheid en voederconversieratio van juveniele tarbot na het tweede deelonderzoek. Effen opvulling = SGR, schuin patroon = FCR.

De verschillende fotoperiodes, samen met de groene lichtkleur, hadden geen significante effecten op de eindgewichten tussen de groepen met juveniele tarbot (SPSS, *One-Way ANOVA*,  $P = 0.217$ ) (Bijlage 6.2: One-Way ANOVA deelonderzoek 2). Ook is er vanwege de grote spreiding tussen de duplo's geen duidelijk effect/verband tussen de procentuele gewichtstoenames (Tabel 4 Tabel 4), specifieke groeisnelheden en de FCR's (Figuur 10) van de vissen gekweekt onder de verschillende fotoperiodes zichtbaar. Er was geen sprake van mortaliteit tijdens het experiment.

Tabel 4: Resultaten deelonderzoek 2: effect monochromatisch licht en fotoperiode op de groei van juveniele tarbot

| Lichtkleur ( $\lambda_{\text{max}}$ nm)                   | Groen (525)     | Groen (622)     | Groen (525)     | Groen (525)    | Groen (525)     | Groen (525)    |
|-----------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Fotoperiode (L:D)                                         | 24:0            | 24:0            | 20:4            | 20:4           | 16:8            | 16:8           |
| Lichtintensiteit ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) | 2.09            | 2.08            | 2.06            | 2.11           | 2.09            | 2.10           |
| Begingewicht (g)                                          | 53.0 $\pm$ 7.3  | 52.8 $\pm$ 7.8  | 52.0 $\pm$ 6.9  | 53.6 $\pm$ 6.4 | 54.0 $\pm$ 7.9  | 52.5 $\pm$ 7.1 |
| Eindgewicht (g)                                           | 76.2 $\pm$ 11.8 | 72.4 $\pm$ 11.7 | 73.6 $\pm$ 11.2 | 70.2 $\pm$ 9.8 | 72.9 $\pm$ 11.0 | 69.5 $\pm$ 9.7 |
| Gemiddelde groei (g)                                      | 21.4 $\pm$ 1.8  |                 | 19.1 $\pm$ 2.5  |                | 17.9 $\pm$ 1.0  |                |
| Gewichtstoename (% 30 dagen)                              | 40 $\pm$ 3.4    |                 | 36 $\pm$ 5.2    |                | 34 $\pm$ 1.3    |                |
| SGR (% dag <sup>-1</sup> )                                | 1.13 $\pm$ 0.08 |                 | 1.03 $\pm$ 0.13 |                | 0.97 $\pm$ 0.03 |                |
| FCR                                                       | 0.69 $\pm$ 0.02 |                 | 0.72 $\pm$ 0.06 |                | 0.75 $\pm$ 0.02 |                |

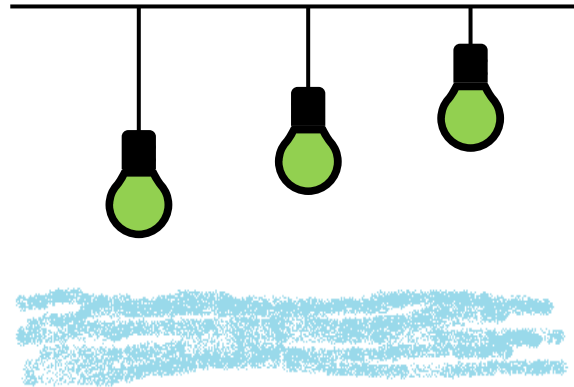
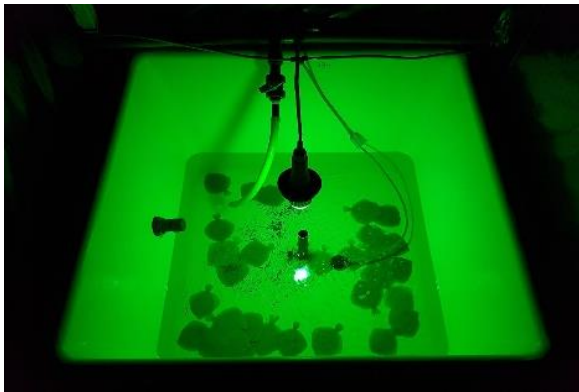
### 5.3 Conclusie & Discussie

In dit deelonderzoek is gezocht naar een antwoord op de deelvraag: 'Welk effect heeft de toevoeging van een fotoperiode aan de beste lichtkleur uit het eerste onderzoek op de groeisnelheid van de juveniele tarbot?'. Hiervoor zijn drie fotoperiodes (24:0, 20:4 en 16:8) onderzocht. Aan de hand van de gevonden resultaten uit de onderzoeken van Imsland et al. (2013) werd verwacht dat de hoogste groei(snelheid) behaald werd bij het toevoegen van een fotoperiode van 16 uur licht en 8 uur donker aan de beste monochromatische lichtkleur ten opzichte van de andere fotoperiodes. Uit de resultaten van het uitgevoerde onderzoek is gebleken dat in een tijdsbestek van 30 dagen geen significante verschillen tussen de gebruikte fotoperiodes waargenomen kunnen worden. Met de resultaten van dit deelonderzoek kan de opgestelde hypothese (Hypothese: 2) niet bevestigd worden waardoor er geen duidelijk antwoord op de tweede deelvraag gegeven kan worden.

Een opvallend resultaat uit dit onderzoek zijn de verschillen tussen de duplo-groepen. Alle omgevingsfactoren, zoals temperatuur, zuurstofgehalte en pH, waren hetzelfde tijdens het onderzoek. De resultaten hangen mogelijk samen met het onderzoeken van Stefansson (2002), Sunde (1998) en Saether (1999) die groeiverschillen in groepen juveniele tarbot aangetoond hebben. Bovenop dit schreef Jobling (1995) dat een toename in gewichtsvariatie mogelijk komt door competitie binnen de groep en dat gedragsinteracties kunnen leiden tot een slechtere groei bij kleinere vissen. Barki et al. (2000) wezen uit dat wanneer er in een groep van 30 zilverbaarzen (*Bidyanus bidyanus*) vijf snellere groeiers aanwezig zijn, dit een negatief effect heeft op de groeisnelheid van de relatief kleinere vissen. Een mogelijke verklaring zou dus kunnen zijn dat er binnen de groepen gedragsinteracties plaats hebben gevonden waardoor de dominante 'snelgroeiers' de overhand hadden. Hierdoor is het mogelijk dat de 'traaggroeiers' een vorm van stress ervaarden wat leidde tot een slechtere groei bij deze vissen wat heeft geleid tot groeiverschillen tussen de groepen.

De opgestelde lineaire regressie grafiek (Bijlage 8.1: Lineaire regressie SGR en FCR deelonderzoek 2) van de groepen gekweekt onder de groene lichtkleur samen met de verschillende fotoperiodes, indiceert een toename van de FCR en een afname van de SGR naarmate het aantal uren donker toeneemt. Deze resultaten spreken dus mogelijk de gevonden resultaten uit het onderzoek van Imsland et al. (2013) tegen. In vergelijking met het onderzoek van Imsland et al. (2013) waren de uitkomsten van dat onderzoek vanwege de onderzoeksperiode van vier jaar duidelijker dan de uitkomsten van dit deelonderzoek. In het algemeen lijkt het erop dat er een mogelijke relatie bestaat tussen monochromatische lichtkleuren en verschillende fotoperiodes.

6. Deelonderzoek 3: Effect van monochromatisch licht & lichtintensiteit op de groei van juveniele tarbot



## 6.1 Methode

Om een antwoord te kunnen geven op de vraag met betrekking tot het effect van monochromatisch licht samen met verschillende lichtintensiteiten op de groeisnelheid van de juveniele tarbot is hieronder de volgende methode opgesteld.

Aan de hand van de conclusie uit het tweede deelonderzoek is besloten de fotoperiode in het derde deelonderzoek weg te laten en alleen te focussen op lichtintensiteit. Vanwege het gebrek aan ruimte om meerdere lichtintensiteiten toe te passen aan de groene lichtkleur is besloten om het derde deelonderzoek uit te voeren met een brede range aan lichtintensiteiten.

### 6.1.1 Instellingen

#### Referentie

Voor dit deelonderzoek is gekozen om de beste instellingen uit het eerste deelonderzoek (lichtkleur; groen (525nm), fotoperiode; 24:0, intensiteit;  $2.00 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) te gebruiken als referentie en deze in duplo uit te voeren. Ruimte vier en vijf van de voor dit onderzoek gebruikte opstelling dienden als referentieruimtes en werden met de genoemde instellingen ingesteld (Tabel 5).

#### Onderzoeksinstellingen

Trippel & Neil (2003) onderzochten de effecten van twee lichtintensiteiten ( $2.3$  en  $0.69 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), bij 24 uur licht voor een periode van 24 weken, op de groei en activiteit van juveniele schelvis (*Melanogrammus aeglefinus*). Een ander onderzoek door Han et al. (2005) naar de effecten van lichtintensiteit op de groei, overleving en huidkleur van juveniele Chinese langsnuut meerval (*Leiocassis longirostris*) gebruikten vijf verschillende lichtintensiteiten ( $0.15$ ,  $0.98$ ,  $2.46$ ,  $3.82$  en  $5.28 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Over het effect van de monochromatische lichtkleuren in combinatie met verschillende lichtintensiteiten op de groei van tarbot is nog niets bekend. De lichtkleur die als beste uit het eerste deelonderzoek naar voren is gekomen is samen met de zelf opgestelde intensiteiten, die voor een deel afgeleid zijn uit de onderzoeken van Trippel & Neil (2003) en Han et al. (2005), gebruikt om de instellingen voor het tweede deelonderzoek op te stellen. Voor dit deelonderzoek zijn de volgende lichtintensiteiten gebruikt;  $10.0$ ,  $2.00$  en  $0.50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

De LED lampen zijn na het tweede deelonderzoek aangepast naar de gewenste lichtinstellingen voor het derde deelonderzoek (Tabel 5). Het licht uitgezonden door de LED lampen wordt naarmate er verder van de lichtbron af wordt gegaan gedempt waardoor de lichtintensiteiten ook afnemen, de onderstaande lichtintensiteiten zijn recht onder de lichtbron gemeten. De ruimtes zijn ingedeeld op volgorde van de sterkte van de lichtintensiteiten onder de lichtbron.

Tabel 5: Instelling uitbreiding onderzoek a.d.h.v. tweede deel lichtonderzoek

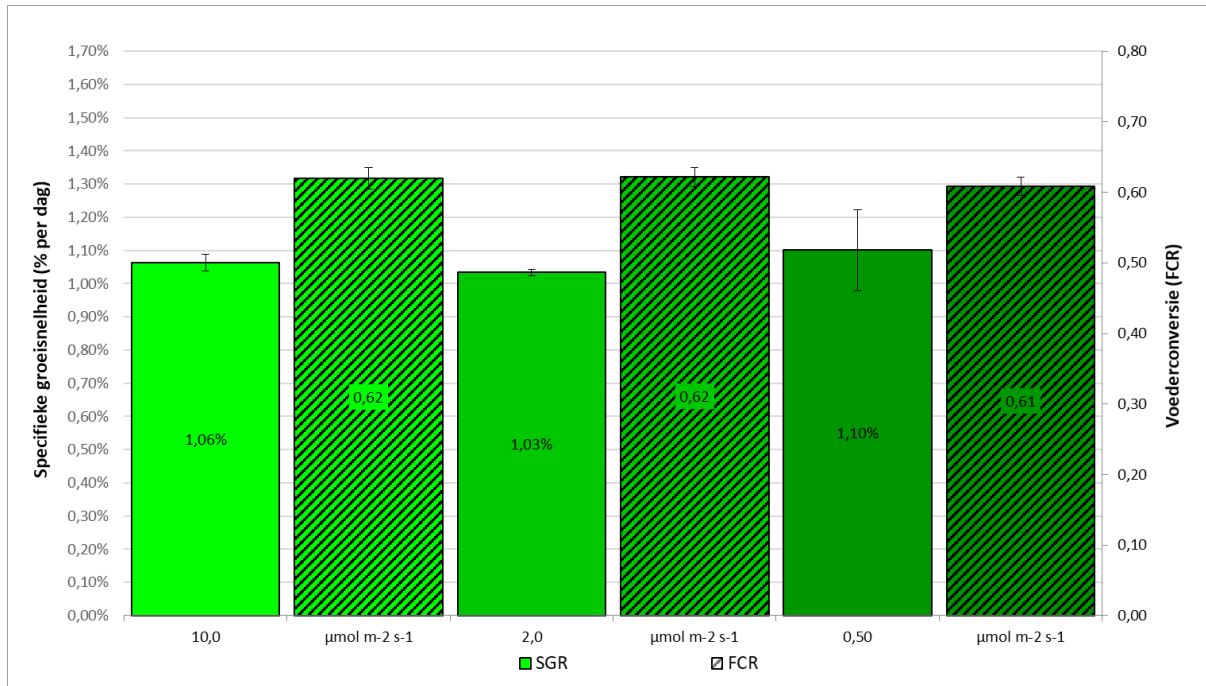
|                       | Lichtkleur | Golflengte (nm) | Fotoperiode (L:D) | PPFD ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) |
|-----------------------|------------|-----------------|-------------------|-----------------------------------------------|
| Ruimte 2              | Groen      | 525             | 24:0              | 9.79                                          |
| Ruimte 3              | Groen      | 525             | 24:0              | 9.71                                          |
| Ruimte 4 (referentie) | Groen      | 525             | 24:0              | 2.06                                          |
| Ruimte 5 (referentie) | Groen      | 525             | 24:0              | 2.09                                          |
| Ruimte 6              | Groen      | 525             | 24:0              | 0.51                                          |
| Ruimte 7              | Groen      | 525             | 24:0              | 0.50                                          |

### 6.1.2 Uitvoering onderzoek

Tijdens de gewenningsperiode (18 april tot 22 april) stonden de bakken ingesteld met de monochromatische groene lichtkleur met een lichtintensiteit van ongeveer  $2.00 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Na de gewenningsperiode zijn de tarbotjes uit elke ruimte individueel gewogen en teruggeplaatst, waarna het onderzoek gestart werd. De eerste dag van het deelonderzoek zijn de lichtinstellingen veranderd naar de gewenste fotoperiodes die voor dit onderzoek opgesteld waren. Het onderzoek is uitgevoerd in een periode van 30 dagen, van 23 april tot en met 22 mei.

## 6.2 Resultaten

De gewichten van alle groepen hadden na het deelonderzoek hadden een normale verdeling (SPSS, *Kolmogorov-Smirnov Test*,  $P > 0.05$ ) (Bijlage 4.3: Tests of Normality deelonderzoek 3). Tussen de groepen met de groene lichtkleur en de verschillende fotoperiodes was na het onderzoek geen significant verschil in gewicht aantoonbaar (SPSS, *Independent Samples Test*,  $P > 0.05$ ) (Bijlage 5.3: Independent Samples Test deelonderzoek 3). De bezettingsdichtheid voorafgaand het onderzoek was ongeveer  $3.1 \text{ kg/m}^2$ .



Figuur 11: Specifieke groeisnelheid en voederconversieratio van juveniele tarbot na het derde deelonderzoek. Effen opvulling = SGR, schuin patroon = FCR.

De verschillende lichtintensiteiten, samen met de groene monochromatische lichtkleur, hadden geen significante effecten op de eindgewichten tussen de groepen van de juveniele tarbot (SPSS, *One-Way ANOVA*,  $P = 0.062$ ) (Bijlage 6.3: One-Way ANOVA deelonderzoek 3). Hoewel niet significant, de specifieke groeisnelheid (Figuur 11) en de procentuele gewichtstoename (Tabel 6) van de groepen gekweekt onder de laagste lichtintensiteit ( $0.50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) waren aanzienlijk hoger ten opzichte van de groepen gekweekt onder de andere lichtintensiteiten. Echter waren de standaardafwijkingen tussen de duplo's van de laagste lichtintensiteit groter dan de bij de andere groepen.

De FCR's van de groepen met de hoogste lichtintensiteiten ( $10.0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) en de referentiegroepen ( $2.00 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) waren vrijwel gelijk, de FCR's van de groepen onder de laagste lichtintensiteiten waren gemiddeld iets lager (Figuur 11 en Tabel 6).

Tabel 6: Resultaten deelonderzoek 3: effect monochromatisch licht en intensiteit op de groei van juveniele tarbot

| Lichtkleur ( $\lambda_{\text{max}}$ nm)                   | Groen (525) | Groen (622) | Groen (525) | Groen (525) | Groen (525) | Groen (525) |
|-----------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Fotoperiode (L:D)                                         | 24:0        | 24:0        | 24:0        | 24:0        | 24:0        | 24:0        |
| Lichtintensiteit ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) | <b>9.79</b> | <b>9.71</b> | <b>2.06</b> | <b>2.09</b> | <b>0.51</b> | <b>0.50</b> |
| Begingewicht (g)                                          | 52.1 ± 5.9  | 52.5 ± 5.9  | 52.7 ± 6.9  | 52.7 ± 7.1  | 54.0 ± 6.0  | 51.7 ± 7.4  |
| Eindgewicht (g)                                           | 72.2 ± 9.9  | 71.7 ± 9.6  | 72.1 ± 9.8  | 71.6 ± 13.0 | 77.9 ± 10.0 | 69.4 ± 10.3 |
| Gemiddelde groei (g)                                      | 19.7 ± 0.4  |             | 19.2 ± 0.2  |             | 20.8 ± 3.2  |             |
| SGR (% dag <sup>-1</sup> )                                | 1.06 ± 0.02 |             | 1.03 ± 0.01 |             | 1.10 ± 0.12 |             |
| Gewichtstoename (% 30 dagen)                              | 38 ± 1.0    |             | 36 ± 0.4    |             | 39 ± 5.1    |             |
| FCR                                                       | 0.62 ± 0.02 |             | 0.62 ± 0.01 |             | 0.61 ± 0.01 |             |

### 6.3 Conclusie & Discussie

In dit deelonderzoek is gezocht naar een antwoord op de deelvraag: “Welk effect heeft lichtintensiteit samen met de beste lichtkleur- en fotoperiode samenstelling uit het tweede onderzoek op de groeisnelheid van de juveniele tarbot?”. Hiervoor zijn drie lichtintensiteiten ( $\pm 10.0$ ,  $2.00$  en  $0.50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) onderzocht. Aan de hand van de gevonden resultaten uit de onderzoeken van Trippel & Neil (2003) en Han et al. (2005) werd verwacht dat de hoogste groei(snelheid) behaald werd bij lagere lichtintensiteiten ( $< 2.00 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) ten opzichte van hogere lichtintensiteiten ( $> 2.00 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Uit de resultaten van het uitgevoerde onderzoek is gebleken dat in een tijdsbestek van 30 dagen geen significante verschillen tussen de gebruikte lichtintensiteiten waargenomen kunnen worden. Met de resultaten van dit deelonderzoek kan de opgestelde hypothese (Hypothese: 3) niet bevestigd worden waardoor er geen duidelijk antwoord op de derde deelvraag gegeven kan worden.

Een opvallende bevinding is dat de duplo's van de groepen gekweekt onder de laagste lichtintensiteit ( $0.50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) erg van elkaar verschillen, resulterend in een hoge standaardafwijking tussen deze groepen. De duplo's van de andere groepen waren vrijwel gelijk aan elkaar. Een mogelijke verklaring voor de verschillen tijdens tussen de groepen met de laagste lichtintensiteit zou ook hier kunnen zijn dat er binnen de groep met de erg lage SGR gedragsinteracties plaats hebben gevonden waardoor de dominante ‘snelgroeiers’ de overhand hadden. Hierdoor is het mogelijk dat de ‘traaggroeiers’ een vorm van stress ervaren wat leidde tot een slechtere groei bij deze vissen wat heeft geleid tot groeiverschillen tussen de groepen.

Op basis van de resultaten van dit deelonderzoek kan het effect van lichtintensiteit niet wetenschappelijk bewezen worden. De resultaten van de vissen gekweekt in ruimte zes onder de laagste lichtintensiteit ( $0.50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), zonder dat er gekeken wordt naar de afwijkende groep in ruimte zeven, komen mogelijk overeen met de verwachtingen die passen bij de onderzoeken van Trippel & Neil (2003) en Han et al. (2005) die hogere groeisnelheden vonden bij vissen gekweekt onder lagere lichtintensiteiten ( $0.69 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  &  $0.98 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) ten opzichte van hogere lichtintensiteiten ( $> 2.00 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Om aan de hand van resultaten uit het huidige onderzoek een indicatie te krijgen over de groeiverschillen na een langere onderzoeksperiode zijn de gevonden groeisnelheden gebruikt om een ‘mogelijke groei curve’ (Bijlage 7.2: Mogelijke groeicurve deelonderzoek 3) van 15 weken op te stellen. Hiermee worden de mogelijke gewichtsverschillen weergegeven, dit deelonderzoek kon vanwege de korte onderzoeksperiode niet aantonen dat de verschillen in gewicht in werkelijkheid gevonden worden.



## 7. Eindconclusie

In dit onderzoek is gezocht naar een antwoord op de vraag: *“Wat is het effect van licht (kleur, intensiteit en fotoperiode) op de groeisnelheid van de tarbot in de juveniele fase van de tarbotkweek?”*. Om een antwoord te kunnen geven op de onderzoeksvraag zijn drie deelonderzoeken uitgevoerd waarbij er in hiervoor opgestelde ruimtes verschillende lightsamenstellingen gebruikt zijn voor de opkweek van juveniele tarbot.

Aan de hand van de resultaten uit de onderzoek van Yamanome et al. (2009) en Choi et al. (2019) werd verwacht dat in het eerste deelonderzoek de hoogste groeisnelheid behaald zou worden onder groen licht ten opzichte van de andere monochromatische lichtkleuren. Echter wijzen de resultaten uit dat na een periode van 29 dagen geen significante verschillen in de eindgewichten van de groepen aangetoond kunnen worden. Een opvallend resultaat is wel dat groen licht na een periode van 29 dagen een positiever effect had op groeisnelheid, voederconversieratio en procentuele gewichtstoename ten opzichte van de andere monochromatische lichtkleuren.

Het tweede deelonderzoek is uitgevoerd samen met de groene monochromatische lichtkleur uit het eerste deelonderzoek. Door middel van het toevoegen van een fotoperiode afkomstig uit het onderzoek van Imsland et al. (2013) aan de groene lichtkleur werd verwacht dat de hoogste groeisnelheid behaald zou worden onder een fotoperiode met 16 uur licht en 8 uur donker. Uit de resultaten van het tweede deelonderzoek kon geen duidelijk verband/effect van de fotoperiodes op de groei van de tarbot aangetoond worden.

Het derde deelonderzoek heeft zich gericht op het effect van verschillende lichtintensiteiten, samen met de groene monochromatische lichtkleur. Aan de hand van de resultaten uit de onderzoek van Trippel & Neil (2003) en Han et al. (2005) werd verwacht dat de hoogste groei(snelheid) behaald zou worden bij lagere lichtintensiteiten ( $<2.00 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) ten opzichte van hogere lichtintensiteiten ( $>2.00 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Uit de resultaten van het uitgevoerde onderzoek is gebleken dat in een tijdsbestek van 30 dagen geen significante verschillen tussen de gebruikte lichtintensiteiten waargenomen kunnen worden. Een opvallend resultaat is wel dat één groep tarbot gekweekt onder de laagste lichtintensiteit ( $0.50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) een lagere voederconversieratio en een hogere groeisnelheid en procentuele gewichtstoename had ten opzichte van de hogere lichtintensiteiten.

De drie hypotheses uit dit onderzoek konden met behulp van deze resultaten niet bevestigd worden waardoor de resultaten niet concluderend zijn op wetenschappelijke basis. Uit de resultaten zijn er wel aanwijzingen dat onder de monochromatische groene lichtkleur (525nm) samen met een lichtintensiteit van  $0.50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  mogelijk de hoogste groeisnelheid bij de juveniele tarbot bereikt wordt. Op basis van deze conclusie worden in het volgende hoofdstuk de aanbevelingen voor vervolgonderzoeken en een eventuele lichtaanpassing beschreven.

## 8. Aanbevelingen

Het is voor de huidige tarbotkweek belangrijk dat er gefocust wordt op verschillende lichtparameters die de groei van de tarbot beïnvloeden. Wanneer Fry Marine en Seafarm tot een daadwerkelijk besluit komen om de huidige lichtsamenstelling aan te passen om hiermee de tarbotkweek te optimaliseren is het van belang een duidelijk inzicht te krijgen op de effecten van de verschillende parameters gebruikt in dit onderzoek. Het is voor de optimalisatie van de tarbotkweek belangrijk dat er per parameter (kleur, intensiteit en fotoperiode) gestreefd wordt naar de samenstelling/instelling waarmee de hoogste groeisnelheid bereikt kan worden. Op deze manier kan er een samenstelling gevonden worden die de kweek van de (juvenile) tarbot kan optimaliseren.

Op basis van de verkregen inzichten worden de volgende handvaten, in de vorm van aanbevelingen, aangeboden. Allereerst lijkt het erop dat verschillende lichtinstellingen een positief effect hebben op de groei van de juvenile tarbot. Het wordt dan ook aanbevolen om na dit onderzoek verder te gaan met onderzoek naar het effect van licht op de groei van tarbot. Ook lijkt het erop dat er na een periode van 30 dagen geen significante verschillen aangetoond kunnen worden wanneer er vissen gebruikt worden met een begingewicht boven de 40 gram. De wens vanuit Seafarm en Fry Marine om de lichtinstellingen aan te passen om een hogere groeisnelheid tijdens de tarbotkweek te behalen leidt tot de volgende aanbevelingen:

- Voor vervolgonderzoeken wordt aanbevolen om een mogelijkheid te vinden om de vissen individueel te kunnen volgen. Door de vissen individueel te volgen kan er vanuit de statistiek een duidelijker beeld verkregen worden op het effect van licht op de juvenile tarbot.
- Voor vervolgonderzoeken wordt aanbevolen om meer onderzoeksruimtes te gebruiken. Hierdoor kan er dieper ingegaan worden op de lichtsamenstellingen en kunnen deze in triplo uitgevoerd worden waardoor er, wanneer deze aanwezig zijn, afwijkende groepen gevonden kunnen worden.
- Het wordt aanbevolen om de deelonderzoeken uit te voeren met vissen in de gewichtsklasse rond de 10 gram. Hierbij is de verwachting dat, vanwege de hogere groeisnelheid in de jongere levensstadium van de tarbot, in een dezelfde onderzoeksperiode wel significante verschillen in gewicht aangetoond kunnen worden.
- Een andere mogelijkheid is het vergroten van de onderzoeksperiode naar een periode van 15 weken of meer. Hierbij is de verwachting dat naarmate de onderzoeksperiode uitgebreid wordt, de gewichtsverschillen tussen de groepen, als er een positief effect van licht op de groei van de tarbot aanwezig is, significante verschillen tussen de groepen waargenomen kunnen worden.
- Met betrekking tot fotoperiode op de groeisnelheid van de (juvenile) tarbot moet er, in een eventuele samenwerking met een onderzoeksinstituut en/of andere tarbotkwekers, een onderzoek uitgevoerd worden. Hierbij dient er gekeken te worden naar het effect van verschillende fotoperiodes op tarbot in verschillende gewichtsklassen, te beginnen bij een grotere hoeveelheid tarbot met een gemiddelde gewicht rond de 10 gram en te eindigen bij consumptieformaat. Hierdoor kan er een duidelijk beeld verkregen worden over het effect van fotoperiodes op verschillende gewichtsklassen.

### *Vervolgonderzoek voor het bedrijf*

Na dit onderzoek wordt aanbevolen om juvenile tarbot te kweken onder groen licht met een lichtintensiteit van  $0.50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  in een raceway-systeem. Men dient te starten met tarbot met een begingewicht tussen de 5 en 15 gram in een onderzoeksperiode van 15 weken. Voor dit onderzoek moeten de hedendaagse lichtinstellingen (FSP LED lamp; lichtkleur; wit, kleurtemperatuur; 6000 Kelvin (K), gemiddelde lichtintensiteit;  $2.0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , fotoperiode; 24:0) gebruikt worden als referentieinstellingen om hiermee de effecten van de mogelijke beste instellingen uit dit onderzoek met de referentieinstellingen te kunnen vergelijken.

## Lijst van figuren en tabellen

| <b>Figuur</b> | <b>Beschrijving</b>                                                                                                                             | <b>Pagina</b> |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1             | Productie tarbot in Europa en China                                                                                                             | 1             |
| 2             | De tarbot ( <i>Scophthalmus maximus</i> )                                                                                                       | 1             |
| 3             | Raceway-systeem Fry Marine (eigen afbeelding)                                                                                                   | 3             |
| 4             | Gemiddeld gewicht van individueel getagde tarbot gekweekt tijdens vijf (licht)perioden.                                                         | 5             |
| 5             | Schematische weergave opstelling licht onderzoek tarbot.                                                                                        | 7             |
| 6             | Opstelling licht onderzoek tarbot                                                                                                               | 7             |
| 7             | Spectrum LED Tri-proof Light (50W)                                                                                                              | 8             |
| 8             | Spectrum Smart LED Bulb (7.5W)                                                                                                                  | 8             |
| 9             | Specifieke groeisnelheid en voederconversieratio van juveniele tarbot na het eerste deelonderzoek. Effen opvulling = SGR, schuin patroon = FCR. | 13            |
| 10            | Specifieke groeisnelheid en voederconversieratio van juveniele tarbot na het tweede deelonderzoek. Effen opvulling = SGR, schuin patroon = FCR. | 17            |
| 11            | Specifieke groeisnelheid en voederconversieratio van juveniele tarbot na het derde deelonderzoek. Effen opvulling = SGR, schuin patroon = FCR.  | 22            |

| <b>Tabel</b> | <b>Beschrijving</b>                                                                                      | <b>Pagina</b> |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1            | Instellingen licht onderzoek tarbot                                                                      | 11            |
| 2            | Resultaten deelonderzoek 1: effect monochromatisch licht op de groei van juveniele tarbot                | 13            |
| 3            | Instelling uitbreiding onderzoek a.d.h.v. eerste deel lichtonderzoek                                     | 16            |
| 4            | Resultaten deelonderzoek 2: effect monochromatisch licht en fotoperiode op de groei van juveniele tarbot | 17            |
| 5            | Instelling uitbreiding onderzoek a.d.h.v. tweede deel lichtonderzoek                                     | 20            |
| 6            | Resultaten deelonderzoek 3: effect monochromatisch licht en intensiteit op de groei van juveniele tarbot | 22            |

## Referenties

- Al-Maghazachi, S. J., & Gibson, R. (1984). The developmental stages of larval turbot, *Scophthalmus maximus* (L.). *Journal of experimental marine biology and ecology*, 82(1), 35-51.
- Árnason, T., Björnsson, B., Steinarsson, A., & Oddgeirsson, M. (2009). Effects of temperature and body weight on growth rate and feed conversion ratio in turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture*, 295(3-4), 218-225.
- Baer, A., Schulz, C., Traulsen, I., & Krieter, J. (2011). Analysing the growth of turbot (*Psetta maxima*) in a commercial recirculation system with the use of three different growth models. *Aquaculture International*, 19(3), 497-511.
- Barki, A., Harpaz, S., Hulata, G., & Karplus, I. (2000). Effects of larger fish and size grading on growth and size variation in fingerling silver perch. *Aquaculture International*, 8(5), 391-401.
- Björnsson, B. & Tryggvadóttir, S. V. (1996). Effect of size on optimal temperature for growth and growth efficiency of immature Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Aquaculture*, in press.
- Björnsson, B. (1994). Effects of stocking density on growth rate of halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) reared in large circular tanks for three years. *Aquaculture*, 123(3-4), 259-270.
- Boeuf, G., & Le Bail, P. Y. (1999). Does light have an influence on fish growth?. *Aquaculture*, 177(1-4), 129-152.
- Bregnballe, J. (2010). A guide to recirculation aquaculture: an introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems.
- Chereguini, O., De La Banda, I. G., Rasines, I., & Fernandez, A. (1999). Artificial fertilization in turbot, *Scophthalmus maximus* (L.): different methods and determination of the optimal sperm-egg ratio. *Aquaculture Research*, 30(5), 319-324.
- Choi, C. Y., Choi, J. Y., Choi, Y. J., Kim, B. S., & Kim, J. W. (2019). Effects of green wavelength light on antioxidant and non-specific immune responses of the olive flounder *Paralichthys olivaceus* maintained at different stocking densities. *Aquacultural Engineering*, 84, 23-28.
- Choi, Y. J., Choi, J. Y., Yang, S. G., Kim, B. S., & Choi, C. Y. (2016). The effect of green and red light spectra and their intensity on the oxidative stress and non-specific immune responses in gold-striped amberjack, *Seriola lalandi*. *Marine and freshwater behaviour and physiology*, 49(4), 223-234.
- Falcon, J., Migaud, H., Munoz-Cueto, J. A., & Carrillo, M. (2010). Current knowledge on the melatonin system in teleost fish. *General and comparative endocrinology*, 165(3), 469-482.
- FAO (2019). *Psetta maxima* (Linnaeus, 1758). Geraadpleegd op 25 maart 2019, van [www.fao.org/fishery/culturedspecies/Psetta\\_maxima/en](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Psetta_maxima/en)
- FEAP (The Federation of European Aquaculture Producers) (2014a). Production and price reports of member associations of the F.E.A.P.
- Folkvord, A., & Ottera, H. (1999). The influence of light intensity on growth of larval haddock. *Aquaculture*.
- Fuchs, J. (1978). Influence de la photoperiode sur la croissance et la survie de la larve et du juvenile de sole (*Solea solea*) en e'levage. *Aquaculture*.
- Han, D., Xie, S., Lei, W., Zhu, X., & Yang, Y. (2005). Effect of light intensity on growth, survival and skin color of juvenile Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris* Günther). *Aquaculture*, 248(1-4), 299-306.
- Henderson, E. B., & Saunders, R. L. (1970). Influence of photoperiod on smolt development and growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*).
- Hjul, J. (2018, 18 oktober). Turbot growth driven by aquaculture. Geraadpleegd op 25 maart 2019, van <https://www.fishupdate.com/turbot-growth-driven-by-aquaculture/>

- Holm, J. C., Refstie, T., & Bø, S. (1990). The effect of fish density and feeding regimes on individual growth rate and mortality in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 89(3-4), 225-232.
- Imsland, A. K., Folkvord, A., & Stefansson, S. O. (1995). Growth, oxygen consumption and activity of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) reared under different temperatures and photoperiods. *Netherlands Journal of Sea Research*, 34(1-3), 149-159.
- Imsland, A. K., Folkvord, A., Jónsdóttir, Ó. D., & Stefansson, S. O. (1997). Effects of exposure to extended photoperiods during the first winter on long-term growth and age at first maturity in turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture*, 159(1-2), 125-141.
- Imsland, A. K., Foss, A., Nævdal, G., & Stefansson, S. O. (2001). Selection or adaptation: differences in growth performance of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* Rafinesque) from two close-by localities off Norway. *Sarsia*, 86(1), 43-51.
- Imsland, A. K., Gunnarsson, S., Roth, B., Foss, A., Le Deuff, S., Norberg, B., ... & Helming, T. (2013). Long-term effect of photoperiod manipulation on growth, maturation and flesh quality in turbot. *Aquaculture*, 416, 152-160.
- Imsland, A. K., Schram, E., Roth, B., Schelvis-Smit, R., & Kloet, K. (2007). Improving growth in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* Rafinesque) by rearing fish in switched temperature regimes. *Aquaculture International*, 15(5), 403-407.
- Imsland, A. K., Sunde, L. M., Folkvord, A., & Stefansson, S. O. (1996). The interaction of temperature and fish size on growth of juvenile turbot. *Journal of fish biology*, 49(5), 926-940.
- Irwin, S., O'halloran, J., & FitzGerald, R. D. (1999). Stocking density, growth and growth variation in juvenile turbot, *Scophthalmus maximus* (Rafinesque). *Aquaculture*, 178(1-2), 77-88.
- Jobling, M. (1995). Simple indices for the assessment of the influences of social environment on growth performance, exemplified by studies on Arctic charr. *Aquaculture International*, 3(1), 60-65.
- Jones, A. (1973). The ecology of young turbot, *Scophthalmus maximus* (L.), at Borth, Cardiganshire, Wales. *Journal of Fish Biology*, 5(3), 367-383.
- Jung, S. J., Choi, Y. J., Kim, N. N., Choi, J. Y., Kim, B. S., & Choi, C. Y. (2016). Effects of melatonin injection or green-wavelength LED light on the antioxidant system in goldfish (*Carassius auratus*) during thermal stress. *Fish & shellfish immunology*, 52, 157-166.
- Kamstra, A., Davidse, W. P., & Klomp, G. (1992). De technische en economische haalbaarheid van tarbotteelt in recirculatiesystemen (No. AQ 92-02). RIVO.
- Karakatsouli, N., Papoutsoglou, S. E., Pizzonia, G., Tsatsos, G., Tsopelakos, A., Chadio, S., ... & Papadopoulou-Daifoti, Z. (2007). Effects of light spectrum on growth and physiological status of gilthead seabream *Sparus aurata* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* reared under recirculating system conditions. *Aquacultural Engineering*, 36(3), 302-309.
- Kerby, T. K., Cheung, W. W., van Oosterhout, C., & Engelhard, G. H. (2013). Entering uncharted waters: long-term dynamics of two data limited fish species, turbot and brill, in the North Sea. *Journal of sea research*, 84, 87-95.
- Kim, B. S., Jung, S. J., Choi, Y. J., Kim, N. N., Choi, C. Y., & Kim, J. W. (2016). Effects of different light wavelengths from LEDs on oxidative stress and apoptosis in olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) at high water temperatures. *Fish & shellfish immunology*, 55, 460-468.
- Luchiari, A. C., & Pirhonen, J. (2008). Effects of ambient colour on colour preference and growth of juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Journal of Fish Biology*, 72(6), 1504-1514.
- Luchiari, A. C., de Morais Freire, F. A., Pirhonen, J., & Koskela, J. (2009). Longer wavelengths of light improve the growth, intake and feed efficiency of individually reared juvenile pikeperch *Sander lucioperca* (L.). *Aquaculture Research*, 40(8), 880-886.

- Montero, D., Izquierdo, M. S., Tort, L., Robaina, L., & Vergara, J. M. (1999). High stocking density produces crowding stress altering some physiological and biochemical parameters in gilthead seabream, *Sparus aurata*, juveniles. *Fish Physiology and Biochemistry*, 20(1), 53-60.
- Ö Stefánsson, M., FitzGerald, R. D., & Cross, T. F. (2002). Growth, feed utilization and growth heterogeneity in juvenile turbot *Scophthalmus maximus* (Rafinesque) under different photoperiod regimes. *Aquaculture Research*, 33(3), 177-187.
- Person-Le Ruyet, J. (2002). Turbot (*Scophthalmus maximus*) grow-out in Europe: practices, results, and prospects. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2(1), 29-39.
- Pichavant, K., Person-Le Ruyet, J., Sévère, A., Le Roux, A., Quéméner, L., & Boeuf, G. (1998). Capacités adaptatives du turbot (*Psetta maxima*) juvénile à la photopériode. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, (350-351), 265-277.
- Purchase, C. L., Boyce, D. L., & Brown, J. A. (2000). Growth and survival of juvenile flounder *Pleuronectes ferrugineus* (Storer) under different photoperiods. *Aquaculture*.
- Sæther, B. S., & Jobling, M. (1999). The effects of ration level on feed intake and growth, and compensatory growth after restricted feeding, in turbot *Scophthalmus maximus* L. *Aquaculture Research*, 30(9), 647-653.
- Seafarm B.V. (2019). <https://www.seafarm.nl/modules/smartsection/item.php?itemid=118>. Geraadpleegd op 22 mei 2019.
- Sunde, L. M., Imsland, A. K., Folkvord, A., & Stefansson, S. O. (1998). Effects of size grading on growth and survival of juvenile turbot at two temperatures. *Aquaculture International*, 6(1), 19-32.
- Svåsand, T., Crosetti, D., García-Vázquez, E., & Verspoor, E. (2007). Genetic impact of aquaculture activities on native populations. *European Commission*.
- Trippel, E. A., & Neil, S. R. (2003). Effects of photoperiod and light intensity on growth and activity of juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). *Aquaculture*, 217(1-4), 633-645.
- Yamanome, T., Mizusawa, K., Hasegawa, E. I., & Takahashi, A. (2009). Green light stimulates somatic growth in the barfin flounder *Verasper moseri*. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology*, 311(2), 73-79.

## Bijlagen

Op de volgende pagina's zijn de bijlagen voor dit rapport toegevoegd.

De volgende bijlagen zijn gegeven:

1. Gemiddelde golflengte (nm) en lichtintensiteit ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) raceway systeem
2. Spectra onderzoeksinstellingen deelonderzoek 1
3. Ingrediëntenlijst EFICO Sigma 870F
4. Tests of Normality
5. Independent Samples Test
6. One-Way ANOVA
7. Mogelijke groeicurves
8. Overige grafieken deelonderzoeken

Bijlage 1: gemiddelde golflengte (nm) en lichtintensiteit ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) raceway Fry Marine

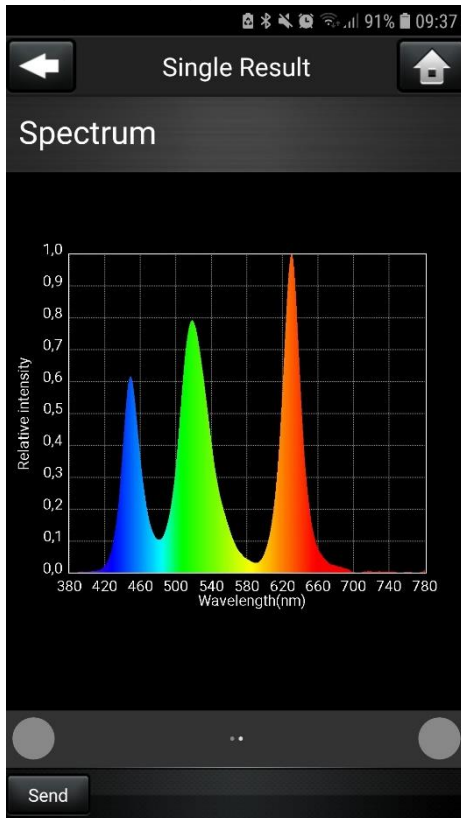
| Statistics                    |        |
|-------------------------------|--------|
| <b><math>\lambda D</math></b> |        |
| Max                           | 507 nm |
| Min                           | 493 nm |
| Avg                           | 500 nm |
| Select Item(s)                |        |
| 1st                           | 500 nm |
| 2nd                           | 498 nm |
| 3rd                           | 501 nm |
| 4th                           | 505 nm |
| 5th                           | 499 nm |
| 6th                           | 498 nm |
| 7th                           | 502 nm |
| 8th                           | 495 nm |
| 9th                           | 499 nm |

| Statistics     |                            |
|----------------|----------------------------|
| <b>PPFD</b>    |                            |
| Max            | 2,51 $\mu\text{mol/s.m}^2$ |
| Min            | 1,36 $\mu\text{mol/s.m}^2$ |
| Avg            | 2,01 $\mu\text{mol/s.m}^2$ |
| Select Item(s) |                            |
| 1st            | 2,30 $\mu\text{mol/s.m}^2$ |
| 2nd            | 1,68 $\mu\text{mol/s.m}^2$ |
| 3rd            | 1,42 $\mu\text{mol/s.m}^2$ |
| 4th            | 1,85 $\mu\text{mol/s.m}^2$ |
| 5th            | 2,07 $\mu\text{mol/s.m}^2$ |
| 6th            | 1,36 $\mu\text{mol/s.m}^2$ |
| 7th            | 1,43 $\mu\text{mol/s.m}^2$ |
| 8th            | 2,51 $\mu\text{mol/s.m}^2$ |
| 9th            | 2,30 $\mu\text{mol/s.m}^2$ |

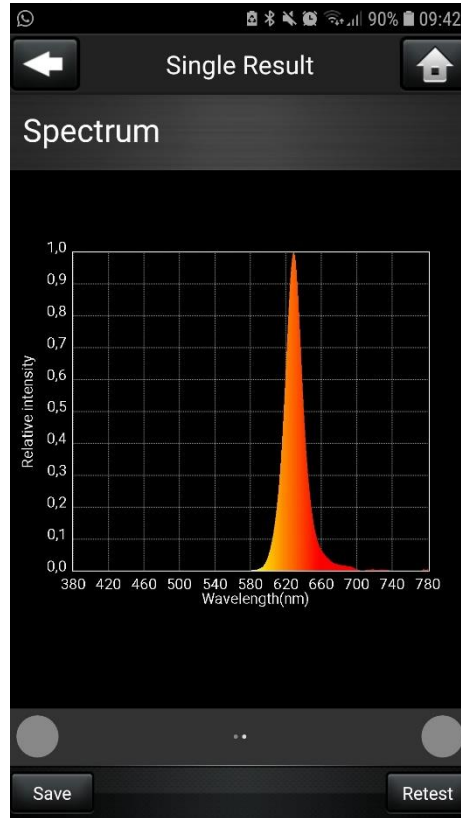


## Bijlage 2: Spectra onderzoekinstellingen deelonderzoek 1

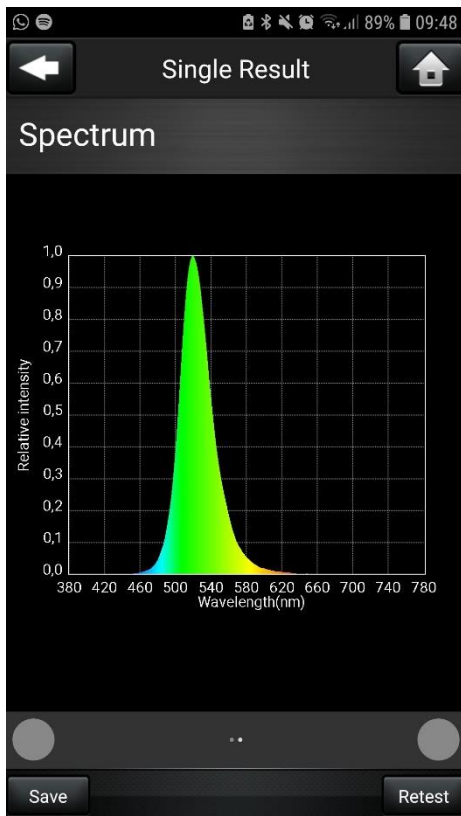
### 2.1 Spectrum referentie



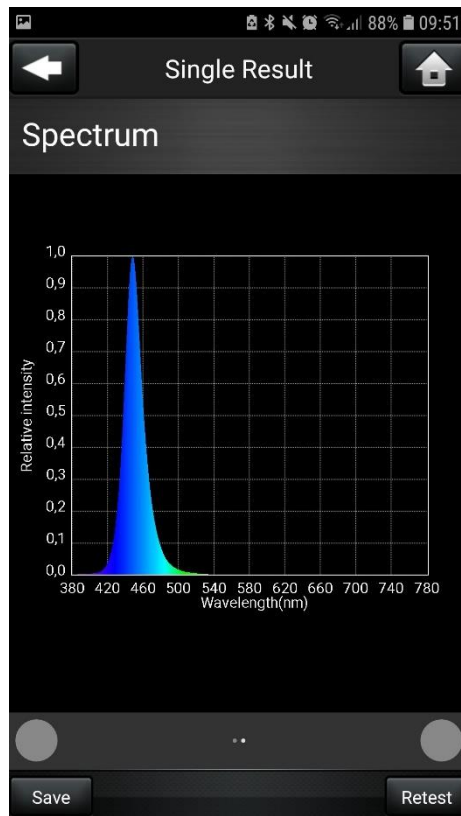
### 2.2 Spectrum rood licht



### 2.3 Spectrum groen licht



### 2.4 Spectrum blauw licht



## Bijlage 3: Ingrediëntenlijst EFICO Sigma 870F



27-06-2018

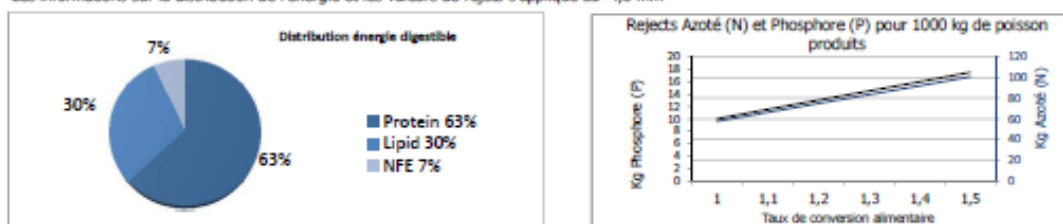
| EFICO Sigma 870F                         |       | TURBOT   |        |        |      |       |       |
|------------------------------------------|-------|----------|--------|--------|------|-------|-------|
|                                          |       | Flottant |        |        |      |       |       |
| Declaration                              |       | 3 mm     | 4,5 mm | 6,5 mm | 9 mm | 12 mm | 15 mm |
| Protéines brutes                         | %     | 56       | 54     | 54     | 52   | 52    | 52    |
| Lipides bruts                            | %     | 12       | 14     | 14     | 16   | 16    | 16    |
| Extrait non azoté (ENA)                  | %     | 14,0     | 15,5   | 15,5   | 15,0 | 15,0  | 15,0  |
| Cellulose brute                          | %     | 0,2      | 0,9    | 0,9    | 0,3  | 0,3   | 0,3   |
| Cendres                                  | %     | 9,8      | 9,9    | 9,9    | 9,9  | 9,9   | 9,9   |
| Phosphore total                          | %     | 1,5      | 1,5    | 1,5    | 1,5  | 1,5   | 1,5   |
| Protéines Digestibles/Energie Digestible | g/MJ  | 27,7     | 26,5   | 26,5   | 25,0 | 25,0  | 25,0  |
| Energie digestible BioMar*               | MJ/kg | 18,2     | 18,4   | 18,4   | 18,7 | 18,7  | 18,7  |
| Energie digestible classique**           | MJ/kg | 18,3     | 18,7   | 18,7   | 19,0 | 19,0  | 19,0  |
| Energie brute                            | MJ/kg | 20,3     | 20,9   | 20,9   | 21,1 | 21,1  | 21,1  |
| Vitamine C - ajoutée                     | mg/kg | 200      | 200    | 200    | 200  | 200   | 200,0 |
| Vitamine E - ajoutée                     | mg/kg | 250      | 250    | 250    | 250  | 250   | 250,0 |
| Nombre indicatif de granulés par kg      |       | 46000    | 15800  | 5600   | 4000 | 3700  | 450   |

\* Energie digestible BioMar calculée sur protéines, lipides et amidon

\*\*Energie digestible classique calculée sur protéines, lipides et tout l'extrait non azoté

### Distribution énergie digestible & Déclaration écologique

Les informations sur la distribution de l'énergie et les valeurs de rejets s'applique au 4,5 mm



En fonction de l'usine de production et des variations naturelles dans les matières premières, les informations de la fiche technique peuvent varier. Voir l'étiquette pour plus d'information et la composition exacte. L'étiquette se trouve sur le produit comme le stipule la réglementation de l'Union Européenne.

### Table de nourrissage indicative (kg aliment par jour pour 100 kg de poisson)

| Taille des poissons | Granulés | Temperature (°C) |      |      |       |       |       |       |       |       |  |
|---------------------|----------|------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| gram                | mm       | 4 °C             | 6 °C | 8 °C | 10 °C | 12 °C | 14 °C | 16 °C | 18 °C | 20 °C |  |
| 20 - 50             | 3,0      | 0,54             | 0,65 | 0,77 | 0,93  | 1,11  | 1,33  | 1,59  | 1,91  | 2,03  |  |
| 50 - 100            | 4,5      | 0,39             | 0,47 | 0,56 | 0,67  | 0,80  | 0,96  | 1,15  | 1,37  | 1,49  |  |
| 100 - 300           | 6,5      | 0,26             | 0,31 | 0,37 | 0,44  | 0,52  | 0,63  | 0,75  | 0,90  | 0,93  |  |
| 300 - 600           | 9,0      | 0,18             | 0,21 | 0,25 | 0,31  | 0,37  | 0,44  | 0,52  | 0,63  | 0,58  |  |
| 600 - 1000          | 12,0     | 0,14             | 0,17 | 0,20 | 0,24  | 0,29  | 0,35  | 0,42  | 0,50  | 0,48  |  |
| 1000 - 1500         | 15,0     | 0,12             | 0,14 | 0,17 | 0,20  | 0,24  | 0,29  | 0,34  | 0,41  | 0,36  |  |
| 1500 - 2000         | 15,0     | 0,10             | 0,12 | 0,14 | 0,17  | 0,21  | 0,25  | 0,30  | 0,35  | 0,24  |  |

Le taux de distribution doit être adapté à la stratégie de production ainsi qu'aux conditions d'élevage. Les données sont calculées pour atteindre le taux de conversion minimum. Elles ne prennent pas en compte les pertes possibles d'aliment dues à la configuration de la ferme. Pour obtenir la croissance maximale, des quantités supérieures peuvent être distribuées. Contactez le Support Technique BioMar pour plus de détails.

Conserver dans un endroit frais et sec, à l'abri du soleil, des intempéries et des nuisibles.

A utiliser de préférence avant le/voir étiquette

BioMar SAS France - [www.biomar.fr](http://www.biomar.fr) & [www.biomar.it](http://www.biomar.it) - contact: tel.: +33 545 90 35 00 - [biomar@biomar.fr](mailto:biomar@biomar.fr)  
 BioMar Iberia Spain - [www.biomariberia.com](http://www.biomariberia.com) - Tel: +34 979 76 14 04 - [biomariberia@biomar.com](mailto:biomariberia@biomar.com)

## Bijlage 4: Tests of Normality

### Bijlage 4.1: Tests of Normality deelonderzoek 1

Begin

| Tests of Normality |      |                                 |    |                   |              |    |      |
|--------------------|------|---------------------------------|----|-------------------|--------------|----|------|
|                    | R    | Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> |    |                   | Shapiro-Wilk |    |      |
|                    |      | Statistic                       | df | Sig.              | Statistic    | df | Sig. |
| Eindgewicht        | 1,00 | ,131                            | 30 | ,199              | ,950         | 30 | ,171 |
|                    | 2,00 | ,151                            | 30 | ,077              | ,919         | 30 | ,025 |
|                    | 3,00 | ,106                            | 29 | ,200 <sup>*</sup> | ,957         | 29 | ,274 |
|                    | 4,00 | ,098                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,953         | 30 | ,200 |
|                    | 5,00 | ,087                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,980         | 30 | ,831 |
|                    | 6,00 | ,133                            | 30 | ,185              | ,974         | 30 | ,658 |
|                    | 7,00 | ,122                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,965         | 30 | ,424 |

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Eind

| Tests of Normality |      |                                 |    |                   |              |    |      |
|--------------------|------|---------------------------------|----|-------------------|--------------|----|------|
|                    | R    | Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> |    |                   | Shapiro-Wilk |    |      |
|                    |      | Statistic                       | df | Sig.              | Statistic    | df | Sig. |
| Begingewicht       | 1,00 | ,095                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,976         | 30 | ,713 |
|                    | 2,00 | ,090                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,969         | 30 | ,512 |
|                    | 3,00 | ,121                            | 29 | ,200 <sup>*</sup> | ,949         | 29 | ,172 |
|                    | 4,00 | ,123                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,962         | 30 | ,342 |
|                    | 5,00 | ,083                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,973         | 30 | ,634 |
|                    | 6,00 | ,128                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,930         | 30 | ,048 |
|                    | 7,00 | ,150                            | 30 | ,083              | ,964         | 30 | ,379 |

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

## Bijlage 4.2: Tests of Normality deelonderzoek 2

Begin

### Tests of Normality

|    | Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> |    |                   | Shapiro-Wilk |    |      |
|----|---------------------------------|----|-------------------|--------------|----|------|
|    | Statistic                       | df | Sig.              | Statistic    | df | Sig. |
| R1 | ,081                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,980         | 30 | ,820 |
| R2 | ,083                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,960         | 30 | ,313 |
| R3 | ,088                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,975         | 30 | ,691 |
| R4 | ,119                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,976         | 30 | ,708 |
| R5 | ,082                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,988         | 30 | ,976 |
| R6 | ,103                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,955         | 30 | ,236 |
| R7 | ,110                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,965         | 30 | ,413 |

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Eind

### Tests of Normality

|    | Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> |    |                   | Shapiro-Wilk |    |      |
|----|---------------------------------|----|-------------------|--------------|----|------|
|    | Statistic                       | df | Sig.              | Statistic    | df | Sig. |
| R1 | ,109                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,937         | 30 | ,075 |
| R2 | ,137                            | 30 | ,159              | ,946         | 30 | ,131 |
| R3 | ,103                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,976         | 30 | ,700 |
| R4 | ,151                            | 30 | ,078              | ,949         | 30 | ,159 |
| R5 | ,090                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,962         | 30 | ,350 |
| R6 | ,141                            | 30 | ,131              | ,931         | 30 | ,053 |
| R7 | ,113                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,980         | 30 | ,835 |

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

### Bijlage 4.3: Tests of Normality deelonderzoek 3

Begin

#### Tests of Normality

|    | Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> |    |                   | Shapiro-Wilk |    |      |
|----|---------------------------------|----|-------------------|--------------|----|------|
|    | Statistic                       | df | Sig.              | Statistic    | df | Sig. |
| R1 | ,067                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,979         | 30 | ,795 |
| R2 | ,131                            | 30 | ,200              | ,945         | 30 | ,122 |
| R3 | ,163                            | 30 | ,040              | ,931         | 30 | ,052 |
| R4 | ,121                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,959         | 30 | ,294 |
| R5 | ,094                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,969         | 30 | ,510 |
| R6 | ,134                            | 30 | ,176              | ,947         | 30 | ,139 |
| R7 | ,078                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,974         | 30 | ,651 |

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Eind

#### Tests of Normality

|    | Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> |    |                   | Shapiro-Wilk |    |      |
|----|---------------------------------|----|-------------------|--------------|----|------|
|    | Statistic                       | df | Sig.              | Statistic    | df | Sig. |
| R1 | ,116                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,967         | 30 | ,462 |
| R2 | ,085                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,978         | 30 | ,760 |
| R3 | ,121                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,959         | 30 | ,297 |
| R4 | ,063                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,991         | 30 | ,995 |
| R5 | ,126                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,953         | 30 | ,208 |
| R6 | ,088                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,959         | 30 | ,294 |
| R7 | ,107                            | 30 | ,200 <sup>*</sup> | ,967         | 30 | ,464 |

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

## Bijlage 5: Independent Samples Test

### Bijlage 5.1: Independent Samples Test deelonderzoek 1

Ruimte 2 & 3 (rood licht; 622nm)

Begin

| Independent Samples Test |                             |                                         |      |      |        |                 |                 |                       |                                           |         |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|------|------|--------|-----------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------------------|---------|
|                          |                             | Levene's Test for Equality of Variances |      |      |        |                 |                 |                       | t-test for Equality of Means              |         |
|                          |                             | F                                       | Sig. | t    | df     | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference |         |
| Gewicht                  | Equal variances assumed     | ,074                                    | ,787 | ,975 | 57     | ,334            | 1,55276         | 1,59283               | -1,63683                                  | 4,74235 |
|                          | Equal variances not assumed |                                         |      | ,975 | 56,954 | ,334            | 1,55276         | 1,59267               | -1,63656                                  | 4,74208 |

Eind

| Independent Samples Test |                             |                                         |      |       |        |                 |                 |                       |                                           |         |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|------|-------|--------|-----------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------------------|---------|
|                          |                             | Levene's Test for Equality of Variances |      |       |        |                 |                 |                       | t-test for Equality of Means              |         |
|                          |                             | F                                       | Sig. | t     | df     | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference |         |
| Gewicht                  | Equal variances assumed     | ,030                                    | ,863 | 1,207 | 57     | ,232            | 3,57678         | 2,96240               | -2,35533                                  | 9,50889 |
|                          | Equal variances not assumed |                                         |      | 1,208 | 56,991 | ,232            | 3,57678         | 2,96130               | -2,35313                                  | 9,50670 |

Ruimte 4 & 5 (groen licht; 525nm)

Begin

| Independent Samples Test |                             |                                         |      |       |        |                 |                 |                       |                                           |         |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|------|-------|--------|-----------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------------------|---------|
|                          |                             | Levene's Test for Equality of Variances |      |       |        |                 |                 |                       | t-test for Equality of Means              |         |
|                          |                             | F                                       | Sig. | t     | df     | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference |         |
| Gewicht                  | Equal variances assumed     | ,008                                    | ,930 | 1,277 | 58     | ,207            | 1,91000         | 1,49523               | -1,08303                                  | 4,90303 |
|                          | Equal variances not assumed |                                         |      | 1,277 | 57,930 | ,207            | 1,91000         | 1,49523               | -1,08310                                  | 4,90310 |

Eind

| Independent Samples Test |                             |                                         |      |       |        |                 |                 |                       |                                           |         |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|------|-------|--------|-----------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------------------|---------|
|                          |                             | Levene's Test for Equality of Variances |      |       |        |                 |                 |                       | t-test for Equality of Means              |         |
|                          |                             | F                                       | Sig. | t     | df     | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference |         |
| Gewicht                  | Equal variances assumed     | ,577                                    | ,450 | 1,334 | 58     | ,187            | 3,77333         | 2,82787               | -1,88727                                  | 9,43394 |
|                          | Equal variances not assumed |                                         |      | 1,334 | 57,188 | ,187            | 3,77333         | 2,82787               | -1,88898                                  | 9,43565 |

Ruimte 6 & 7 (blauw licht; 456nm)

Begin

| Independent Samples Test |                             |                                         |      |        |        |                 |                 |                       |                                           |         |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|------|--------|--------|-----------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------------------|---------|
|                          |                             | Levene's Test for Equality of Variances |      |        |        |                 |                 |                       | t-test for Equality of Means              |         |
|                          |                             | F                                       | Sig. | t      | df     | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference |         |
| Gewicht                  | Equal variances assumed     | ,775                                    | ,382 | -1,072 | 58     | ,288            | -1,80000        | 1,67984               | -5,16257                                  | 1,56257 |
|                          | Equal variances not assumed |                                         |      | -1,072 | 57,448 | ,288            | -1,80000        | 1,67984               | -5,16326                                  | 1,56326 |

Eind

| Independent Samples Test |                             |                                         |      |       |        |                 |                 |                       |                                           |         |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|------|-------|--------|-----------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------------------|---------|
|                          |                             | Levene's Test for Equality of Variances |      |       |        |                 |                 |                       | t-test for Equality of Means              |         |
|                          |                             | F                                       | Sig. | t     | df     | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference |         |
| Gewicht                  | Equal variances assumed     | ,000                                    | ,994 | -,782 | 58     | ,437            | -2,05333        | 2,62412               | -7,30608                                  | 3,19941 |
|                          | Equal variances not assumed |                                         |      | -,782 | 57,995 | ,437            | -2,05333        | 2,62412               | -7,30609                                  | 3,19942 |

## Bijlage 5.2: Independent Samples Test deelonderzoek 2

Ruimte 2 & 3 (groen licht; 525nm, fotoperiode; 24:0)

Begin

| Independent Samples Test |                             |                                         |      |      |        |                 |                              |                       |                                           |         |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|------|------|--------|-----------------|------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------|---------|
|                          |                             | Levene's Test for Equality of Variances |      |      |        |                 | t-test for Equality of Means |                       | 95% Confidence Interval of the Difference |         |
|                          |                             | F                                       | Sig. | t    | df     | Sig. (2-tailed) | Mean Difference              | Std. Error Difference | Lower                                     | Upper   |
| Begingewicht             | Equal variances assumed     | ,242                                    | ,625 | ,067 | 58     | ,947            | ,13333                       | 1,98275               | -3,83558                                  | 4,10225 |
|                          | Equal variances not assumed |                                         |      | ,067 | 57,774 | ,947            | ,13333                       | 1,98275               | -3,83591                                  | 4,10258 |

Eind

| Independent Samples Test |                             |                                         |      |       |        |                 |                              |                       |                                           |         |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|------|-------|--------|-----------------|------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------|---------|
|                          |                             | Levene's Test for Equality of Variances |      |       |        |                 | t-test for Equality of Means |                       | 95% Confidence Interval of the Difference |         |
|                          |                             | F                                       | Sig. | t     | df     | Sig. (2-tailed) | Mean Difference              | Std. Error Difference | Lower                                     | Upper   |
| Begingewicht             | Equal variances assumed     | ,018                                    | ,895 | 1,218 | 58     | ,228            | 3,76000                      | 3,08607               | -2,41745                                  | 9,93745 |
|                          | Equal variances not assumed |                                         |      | 1,218 | 57,994 | ,228            | 3,76000                      | 3,08607               | -2,41746                                  | 9,93746 |

Ruimte 4 & 5 (groen licht; 525nm, fotoperiode; 20:4)

Begin

| Independent Samples Test |                             |                                         |      |       |        |                 |                              |                       |                                           |         |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|------|-------|--------|-----------------|------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------|---------|
|                          |                             | Levene's Test for Equality of Variances |      |       |        |                 | t-test for Equality of Means |                       | 95% Confidence Interval of the Difference |         |
|                          |                             | F                                       | Sig. | t     | df     | Sig. (2-tailed) | Mean Difference              | Std. Error Difference | Lower                                     | Upper   |
| VAR00005                 | Equal variances assumed     | ,054                                    | ,817 | -,876 | 58     | ,384            | -1,53000                     | 1,74593               | -5,02486                                  | 1,96486 |
|                          | Equal variances not assumed |                                         |      | -,876 | 57,694 | ,384            | -1,53000                     | 1,74593               | -5,02526                                  | 1,96526 |

Eind

| Independent Samples Test |                             |                                         |      |       |        |                 |                              |                       |                                           |         |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|------|-------|--------|-----------------|------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------|---------|
|                          |                             | Levene's Test for Equality of Variances |      |       |        |                 | t-test for Equality of Means |                       | 95% Confidence Interval of the Difference |         |
|                          |                             | F                                       | Sig. | t     | df     | Sig. (2-tailed) | Mean Difference              | Std. Error Difference | Lower                                     | Upper   |
| VAR00005                 | Equal variances assumed     | 1,222                                   | ,273 | 1,227 | 58     | ,225            | 3,39000                      | 2,76279               | -2,14032                                  | 8,92032 |
|                          | Equal variances not assumed |                                         |      | 1,227 | 57,080 | ,225            | 3,39000                      | 2,76279               | -2,14222                                  | 8,92222 |



Ruimte 6 & 7 (groen licht; 525nm, fotoperiode; 16:8)

Begin

| Independent Samples Test |                             |                                         |      |                              |        |                 |                 |                       |                                           |         |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|------|------------------------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------------------|---------|
|                          |                             | Levene's Test for Equality of Variances |      | t-test for Equality of Means |        |                 |                 |                       |                                           |         |
|                          |                             | F                                       | Sig. | t                            | df     | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference |         |
| VAR00007                 | Equal variances assumed     | ,319                                    | ,574 | ,775                         | 58     | ,441            | 1,53000         | 1,97391               | -2,42120                                  | 5,48120 |
|                          | Equal variances not assumed |                                         |      | ,775                         | 57,251 | ,441            | 1,53000         | 1,97391               | -2,42230                                  | 5,48230 |

Eind

| Independent Samples Test |                             |                                         |      |                              |        |                 |                 |                       |                                           |         |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|------|------------------------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------------------|---------|
|                          |                             | Levene's Test for Equality of Variances |      | t-test for Equality of Means |        |                 |                 |                       |                                           |         |
|                          |                             | F                                       | Sig. | t                            | df     | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference |         |
| VAR00007                 | Equal variances assumed     | ,186                                    | ,668 | 1,263                        | 58     | ,212            | 3,43667         | 2,72168               | -2,01137                                  | 8,88470 |
|                          | Equal variances not assumed |                                         |      | 1,263                        | 57,185 | ,212            | 3,43667         | 2,72168               | -2,01302                                  | 8,88636 |

### Bijlage 5.3: Independent Samples Test deelonderzoek 3

Ruimte 2 & 3 (groen licht; 525nm, intensiteit;  $\pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

Begin

| Independent Samples Test |                             |                                         |      |       |        |                 |                              |                       |                                           |         |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|------|-------|--------|-----------------|------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------|---------|
|                          |                             | Levene's Test for Equality of Variances |      |       |        |                 | t-test for Equality of Means |                       | 95% Confidence Interval of the Difference |         |
|                          |                             | F                                       | Sig. | t     | df     | Sig. (2-tailed) | Mean Difference              | Std. Error Difference | Lower                                     | Upper   |
| Begingewicht             | Equal variances assumed     | ,000                                    | ,997 | -,266 | 58     | ,791            | -,41333                      | 1,55125               | -3,51850                                  | 2,69183 |
|                          | Equal variances not assumed |                                         |      | -,266 | 58,000 | ,791            | -,41333                      | 1,55125               | -3,51850                                  | 2,69183 |

Eind

| Independent Samples Test |                             |                                         |      |      |        |                 |                              |                       |                                           |         |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|------|------|--------|-----------------|------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------|---------|
|                          |                             | Levene's Test for Equality of Variances |      |      |        |                 | t-test for Equality of Means |                       | 95% Confidence Interval of the Difference |         |
|                          |                             | F                                       | Sig. | t    | df     | Sig. (2-tailed) | Mean Difference              | Std. Error Difference | Lower                                     | Upper   |
| Eindgewicht              | Equal variances assumed     | ,004                                    | ,950 | ,192 | 58     | ,848            | ,49000                       | 2,55134               | -4,61706                                  | 5,59706 |
|                          | Equal variances not assumed |                                         |      | ,192 | 57,941 | ,848            | ,49000                       | 2,55134               | -4,61717                                  | 5,59717 |

Ruimte 4 & 5 (groen licht; 525nm, intensiteit;  $\pm 2.00 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

Begin

| Independent Samples Test |                             |                                         |      |      |        |                 |                              |                       |                                           |         |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|------|------|--------|-----------------|------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------|---------|
|                          |                             | Levene's Test for Equality of Variances |      |      |        |                 | t-test for Equality of Means |                       | 95% Confidence Interval of the Difference |         |
|                          |                             | F                                       | Sig. | t    | df     | Sig. (2-tailed) | Mean Difference              | Std. Error Difference | Lower                                     | Upper   |
| VAR00005                 | Equal variances assumed     | ,001                                    | ,979 | ,025 | 58     | ,980            | ,04667                       | 1,84090               | -3,63830                                  | 3,73163 |
|                          | Equal variances not assumed |                                         |      | ,025 | 57,980 | ,980            | ,04667                       | 1,84090               | -3,63833                                  | 3,73166 |

Eind

| Independent Samples Test |                             |                                         |      |      |        |                 |                              |                       |                                           |         |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|------|------|--------|-----------------|------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------|---------|
|                          |                             | Levene's Test for Equality of Variances |      |      |        |                 | t-test for Equality of Means |                       | 95% Confidence Interval of the Difference |         |
|                          |                             | F                                       | Sig. | t    | df     | Sig. (2-tailed) | Mean Difference              | Std. Error Difference | Lower                                     | Upper   |
| Eindgewicht2             | Equal variances assumed     | 3,927                                   | ,052 | ,151 | 58     | ,881            | ,45667                       | 3,02846               | -5,60545                                  | 6,51878 |
|                          | Equal variances not assumed |                                         |      | ,151 | 54,011 | ,881            | ,45667                       | 3,02846               | -5,61499                                  | 6,52833 |

Ruimte 6 & 7 (groen licht; 525nm, intensiteit;  $\pm 0.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

Begin

| Independent Samples Test |                             |                                         |      |                              |        |                 |                 |                       |                                           |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|------|------------------------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------------------|
|                          |                             | Levene's Test for Equality of Variances |      | t-test for Equality of Means |        |                 |                 |                       |                                           |
|                          |                             | F                                       | Sig. | t                            | df     | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference |
|                          |                             |                                         |      |                              |        |                 |                 |                       | Lower Upper                               |
| VAR00007                 | Equal variances assumed     | 2,366                                   | ,129 | 1,265                        | 58     | ,211            | 2,24333         | 1,77293               | -1,30557 5,79224                          |
|                          | Equal variances not assumed |                                         |      | 1,265                        | 55,704 | ,211            | 2,24333         | 1,77293               | -1,30869 5,79535                          |

Eind

| Independent Samples Test |                             |                                         |      |                              |        |                 |                 |                       |                                           |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|------|------------------------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------------------|
|                          |                             | Levene's Test for Equality of Variances |      | t-test for Equality of Means |        |                 |                 |                       |                                           |
|                          |                             | F                                       | Sig. | t                            | df     | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference |
|                          |                             |                                         |      |                              |        |                 |                 |                       | Lower Upper                               |
| Eindgewicht3             | Equal variances assumed     | ,114                                    | ,737 | 3,206                        | 58     | ,002            | 8,54333         | 2,66470               | 3,20937 13,87730                          |
|                          | Equal variances not assumed |                                         |      | 3,206                        | 57,949 | ,002            | 8,54333         | 2,66470               | 3,20927 13,87740                          |

## Bijlage 6: One-Way ANOVA

### Bijlage 6.1: One-Way ANOVA deelonderzoek 1

Begin

#### ANOVA

Begingewicht

|                | Sum of Squares | df  | Mean Square | F     | Sig. |
|----------------|----------------|-----|-------------|-------|------|
| Between Groups | 327,183        | 6   | 54,531      | 1,505 | ,178 |
| Within Groups  | 7320,195       | 202 | 36,239      |       |      |
| Total          | 7647,379       | 208 |             |       |      |

Eind

#### ANOVA

Begingewicht

|                | Sum of Squares | df  | Mean Square | F     | Sig. |
|----------------|----------------|-----|-------------|-------|------|
| Between Groups | 952,218        | 6   | 158,703     | 1,483 | ,186 |
| Within Groups  | 21623,710      | 202 | 107,048     |       |      |
| Total          | 22575,928      | 208 |             |       |      |

### Bijlage 6.2: One-Way ANOVA deelonderzoek 2

Begin

#### ANOVA

Begingewicht

|                | Sum of Squares | df  | Mean Square | F    | Sig. |
|----------------|----------------|-----|-------------|------|------|
| Between Groups | 77,868         | 5   | 15,574      | ,286 | ,920 |
| Within Groups  | 9462,029       | 174 | 54,379      |      |      |
| Total          | 9539,896       | 179 |             |      |      |

Eind

#### ANOVA

Begingewicht

|                | Sum of Squares | df  | Mean Square | F     | Sig. |
|----------------|----------------|-----|-------------|-------|------|
| Between Groups | 876,244        | 5   | 175,249     | 1,427 | ,217 |
| Within Groups  | 21371,031      | 174 | 122,822     |       |      |
| Total          | 22247,276      | 179 |             |       |      |

### Bijlage 6.3: One-Way ANOVA deelonderzoek 3

Begin

#### ANOVA

Begingewicht

|                | Sum of Squares | df  | Mean Square | F    | Sig. |
|----------------|----------------|-----|-------------|------|------|
| Between Groups | 87,428         | 5   | 17,486      | ,391 | ,854 |
| Within Groups  | 7776,566       | 174 | 44,693      |      |      |
| Total          | 7863,994       | 179 |             |      |      |

Eind

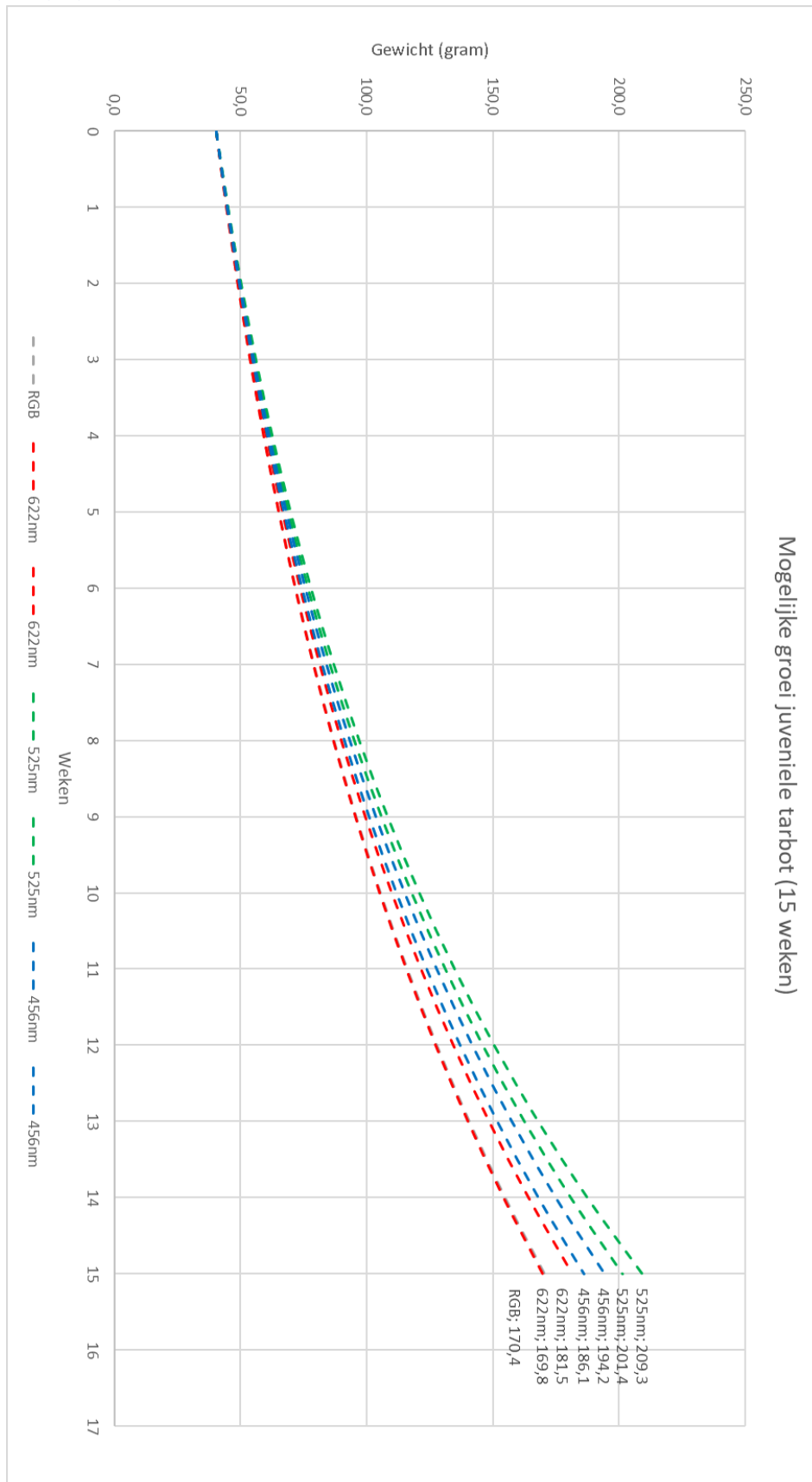
#### ANOVA

gewicht

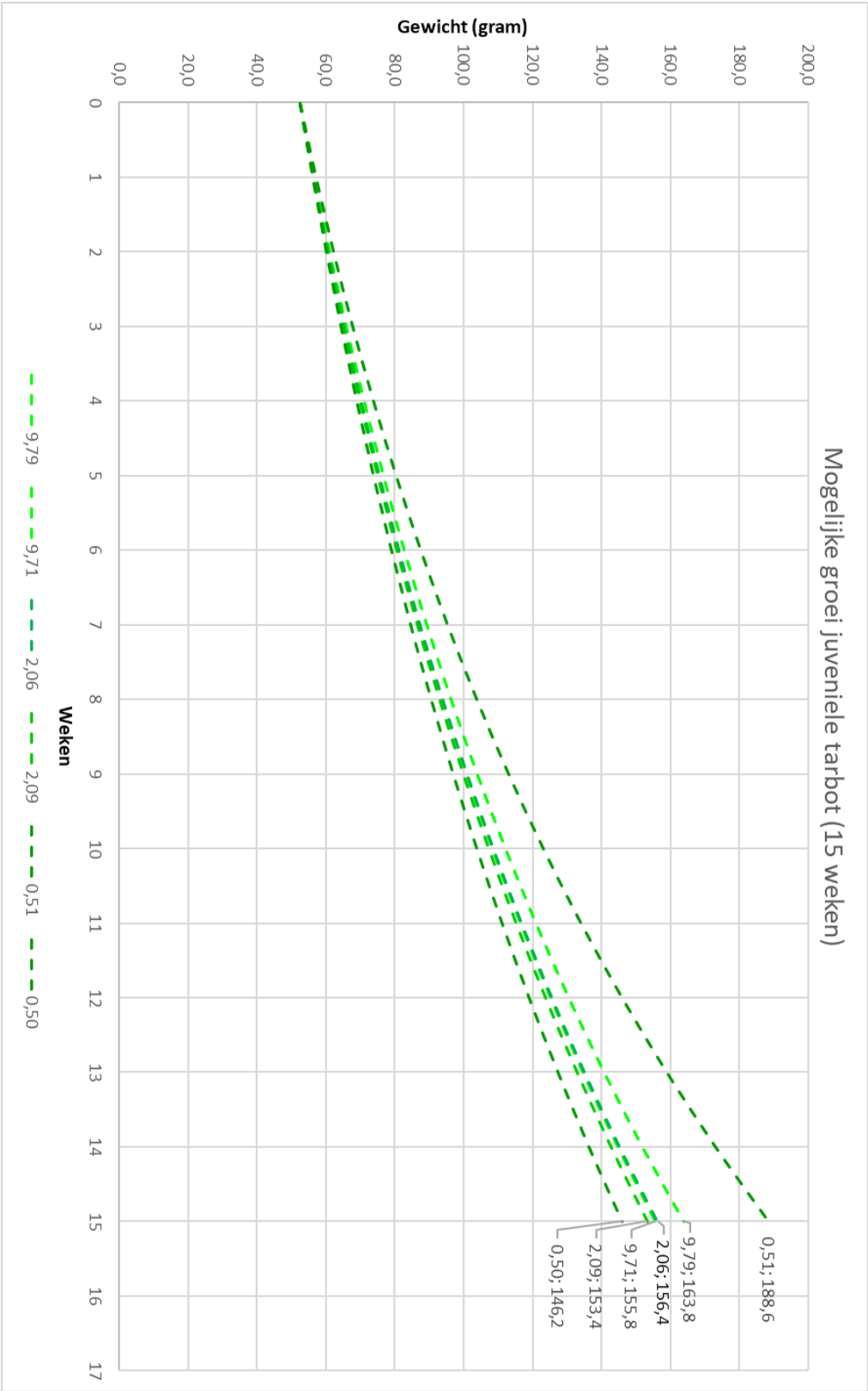
|                | Sum of Squares | df  | Mean Square | F     | Sig. |
|----------------|----------------|-----|-------------|-------|------|
| Between Groups | 1222,168       | 5   | 244,434     | 2,146 | ,062 |
| Within Groups  | 19819,873      | 174 | 113,907     |       |      |
| Total          | 21042,041      | 179 |             |       |      |

## Bijlage 7: Mogelijke groeicurves

### Bijlage 7.1: Mogelijke groeicurve deelonderzoek 1



Bijlage 7.2: Mogelijke groeicurve deelonderzoek 3



## Bijlage 8: Overige grafieken deelonderzoeken

### Bijlage 8.1: Lineaire regressie SGR en FCR deelonderzoek 2

