

Taak 2

OCEAAN

11 mei 2017



LAND: Nederland

TEAM:

Algemene instructies

Je hebt 4 uur om deze taak uit te voeren.

**Draag in de labzaal te allen tijde een labjas en een veiligheidsbril.
Als je zelf al brildragend bent hoef je geen extra veiligheidsbril te dragen.
Het is verboden te eten en/of drinken in de labzaal.**

Het wordt aanbevolen om ook wegwerphandschoenen aan te doen als je met chemicaliën werkt.

Als je per ongeluk chemicaliën op je huid krijgt, verwijder die dan direct met kraanwater.

Alle papieren die je gebruikt hebt, inclusief kladpapier en aantekeningen, moeten na afloop van de taak ingeleverd worden.

Alle (meet)resultaten moeten ingevuld worden op het blauwe antwoordblad.

De grafieken moeten tegelijk met het blauwe antwoordblad ingeleverd worden.

Printen vanuit LoggerPro: Zorg ervoor dat je je land en je team onderaan / in de voettekst schrijft voordat je print, zodat je de correcte print van je labassistent krijgt. Naderhand kun je met pen op de prints schrijven om aflezingen e.d. aan te geven

Alleen het blauwe antwoordblad, en de daaraan toegevoegde grafieken worden beoordeeld.

De taak bestaat uit 3 experimenten.

Experiment 1: 34 punten

Experiment 2: 32 punten

Experiment 3: 34 punten

Totaal: 100 punten

Introductie

Njord is een viskweker die vis kweekt in het Kattegat. Hij is druk met het leiden van het familiebedrijf, dus hij krijgt veel hulp van zijn slimme dochter Freja van 16.

Recent heeft Njord besloten om de kleine diertjes waarmee hij zijn vissen voert zelf te produceren in plaats van ze te kopen. Daarvoor moet hij eerst verse microalgen kweken. Fotosynthetische algen hebben water, koolstofdioxide, licht en voedingsstoffen nodig om te groeien. Voedingsstoffen, die stikstof en fosfor bevatten, kunnen kostbaar zijn. Het kost veel energie om stikstof (N) uit de atmosfeer vast te leggen en fosfor (P) moet door mijnbouw gewonnen worden en raakt op zeker moment op. Een alternatieve bron van deze elementen is afvalwater, waaruit ze juist verwijderd moeten worden voordat het geloosd mag worden. Afvalwater dat is behandeld onder anaerobe condities bevat nog een hoog gehalte aan N en P content, maar niet veel organisch koolstof. Het is aangetoond dat zulk afvalwater een goed medium is om algen in te kweken.

Op een dag ging Freja haar vader helpen en zag ze dat hij een fancy set experimentele fotobioreactoren had aangeschaft gevuld met afvalwater en dat er een paneel met LEDs boven hing dat de reactoren belichtte.

BELANGRIJK: Merk op dat onderdeel B een aantal tijdrovende stappen bevat. Lees daarom de opdracht van tevoren goed door en laat een teamlid meteen met deze stappen beginnen.



Het Kattegat, de zee tussen Denemarken en Zweden.

1. Metingen van algenproductie en afvalwater-behandeling met behulp van spectrofotometrie.

Njord begon afvalwater in zijn fotobioreactor te pompen met een constante snelheid, schakelde de LEDs in en vergat daarna de boel een tijdje omdat hij naar het Kattegat moest om een aantal viskooien te repareren. Toen hij terugkwam zag hij dat er daadwerkelijk algen waren gegroeid in de reactor en dat hij ze kon gaan opvangen in de grote tank die hij had gekocht om het effluent (= de uitstromende vloeistof) uit de reactor in op te vangen. Omdat hij onzeker was over hoe nu te bepalen wat er precies gebeurd was riep hij Freja. Njord vroeg haar:

- A. Hoeveel algen produceer ik?**
- B. Hoeveel carotenoïden produceren de algen?**
- C. Hoeveel voedingsstoffen halen de algen uit het afvalwater? Krijgen we hier geld voor?**

Freja kwam aanlopen en bekeek het systeem. Ze zette ook een grote plastic container klaar op een weegschaal en wachtte. Na een uur zag ze dat er 21,5 L algensuspensie uit de reactor was gekomen. (Ze nam aan dat de suspensie een dichtheid heeft van $1 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$). Ze nam twee monsters om mee naar school te nemen en daar te analyseren. Ze labelde ze:

- Monster 1: “Influent” – het afvalwater dat de fotobioreactor instroomde.
- Monster 2: “Effluent” – de vloeistof met algen die uit de fotobioreactor stroomde.

Jullie gaan nu Freja helpen uit te vogelen hoe ze Njords vragen kan beantwoorden met behulp van de apparaten en methoden die ze op school kan gebruiken, specifiek spectrofotometrie.

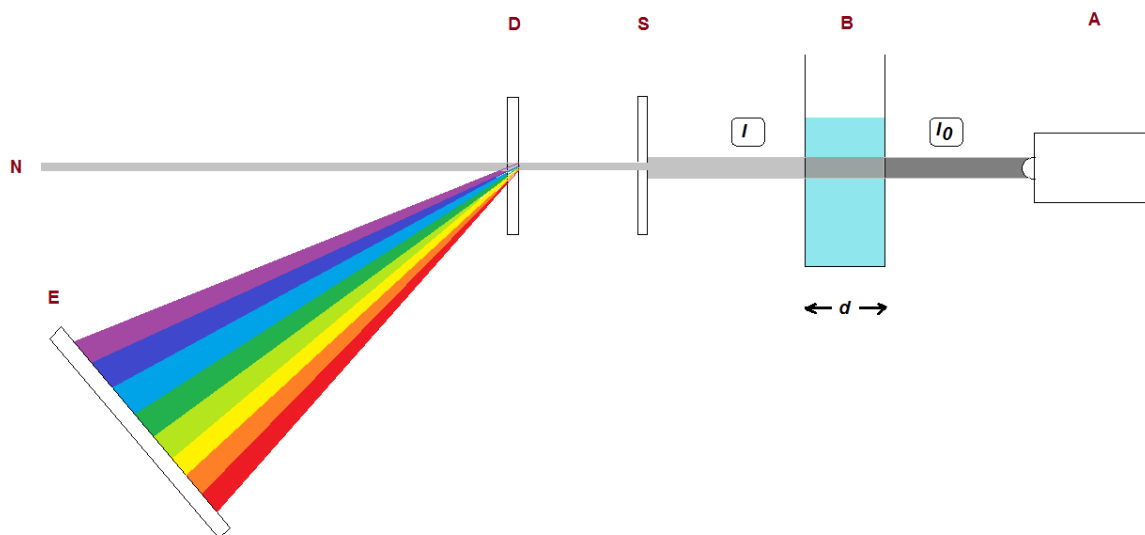
Een spectrofotometer is een apparaat waar licht van een bepaalde golflengte gedetecteerd wordt nadat het door een cuvet met monsteroplossing is gegaan (zie [figuur 1.1](#)). De hoeveelheid licht die door de monsteroplossing geabsorbeerd wordt, wordt extinctie (A) genoemd.

$$A = -\log \frac{I}{I_0}$$

Hierin is I_0 de intensiteit van het invallende licht en I de intensiteit van het doorgelaten licht.

De extinctie is recht evenredig met de concentratie van het monster (c), de afstand die het licht door het monster aflegt (d) en een stofconstante (ϵ). Meestal wordt in spectrofotometers een cuvet gebruikt met $d = 1$ cm.

$$A = \epsilon \cdot c \cdot d$$



Figuur 1.1. Het principe van een spectrofotometer. Van rechts naar links: lamp (A), cuvet (B), spleet (S), diffractierooster (D), doorgaande lichtstraal (N, wordt niet gebruikt), detector (E).

Een foto van de daadwerkelijke binnenzijde staat in Appendix B.

Daar staat het diffractierooster schuin om de resolutie te vergroten en is de spleet niet zichtbaar.

Materialen

Materialen die door meerdere teams gebruikt worden

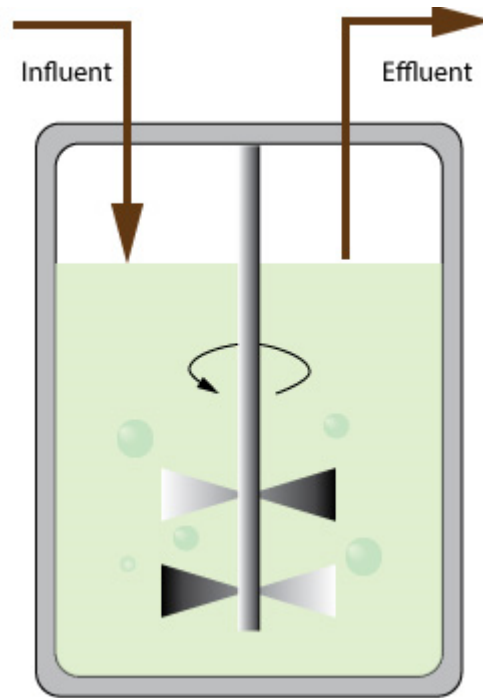
- hitteblokken ingesteld op 60 °C
- een ijscontainer
- een vriezer
- een ijsschep

Bij elke labtafel

- een laptop met LoggerPro
- een rekenmachine
- een spectrofotometer met een SpectroVis optische fiberglaskabel voor lichtemissiemetingen
- een zwarte doek voor de spectrofotometer
- een centrifuge voor centrifugebuizen van 2 mL met een instructie erbij
- een vortexmixer
- een wit-lichtbron
- 4 rekken voor 50/15/2 mL centrifugebuizen
- lenspapier voor het schoonmaken van cuvetten
- 2 stopwatches
- een vat met gedemineraliseerd water
- een bak voor ijs
- een afvalvat voor vast afval
- een afvalvat voor organisch en anorganisch afval
- een plastic beker van 250 mL
- een automaat met papieren handdoeken
- zeep
- veiligheidsbrillen

Voor elk team

- een koffer met:
 - een Visicolor-schoolkit voor (o.a.) ammonium- en fosfaatbepalingen
 - 3 glazen flesjes met dop
 - een plastic maatlepel
- 50 mL "Influent" afvalwater in een glazen fles met een schroefdop
- 50 mL "Effluent" water met algen in een glazen fles met schroefdop
- vierentwintig centrifugebuizen:
 - 2 x 50 mL buizen met schaalverdeling (kijk goed naar waar het 50 mL-streepje staat)
 - 6 x 15 mL buizen met schaalverdeling
 - 16 x 2 mL buizen met schaalverdeling
- twintig cuvetten met een dikte van 1,00 cm:
 - 16 x 4,5 mL
 - 4 x 1,5 mL
- 20 plastic wegwerppipetten van 1,0 mL met maatstreepjes om de 0,25 mL
- 25 mL 96% ethanol in een druppelflesje
- een 'LED box' (een plastic doos met allerlei attributen)
- een plastic liniaal van 20 cm
- 3 potloden
- een notitieblok
- een zwarte watervaste pen
- wegwerphandschoenen



Figuur 1.2. Een gesimplificeerd stroomdiagram.

Voor de vragen hieronder kun je meestal uitgaan van de influent (voeding) en de effluent zoals ze hier zijn weergegeven. Een gedetailleerd diagram van een reactor met algen op laboratoriumschaal staat in Appendix A1.

A. Hoeveel algen produceer ik?

Wanneer algenonderzoekers deze vraag stellen willen ze meestal een resultaat in termen van de droge massa algen per volume-eenheid van de fotobioreactor per tijdseenheid hebben. Vaak wordt $\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \text{dag}^{-1}$ als eenheid gebruikt. We noemen dit de volumetrische productiviteit (VP). Voor een continue reactor kan de volumetrische productiviteit eenvoudig worden berekend door de verdunningsnelheid (Engels: dilution rate, D) te vermenigvuldigen met de algenconcentratie.

$$VP = D_w \cdot D,$$

waarin D_w de droge-massaconcentratie is in de eenheden g droge massa per L en de verdunningsnelheid de eenheid dag^{-1} .

Verdunningsnelheid kan gemeten worden zoals hier onder staat beschreven (Freja vond dit op Wikipedia):

Verdunningsnelheid

In een systeem dat niet verandert is de specifieke groeisnelheid (μ) van het micro-organisme gelijk aan de verdunningsnelheid (D). De verdunningsnelheid is gedefinieerd als de stroomsnelheid (F) van het groeimedium gedeeld door het volume (V) van de kweek in de bioreactor.

$$D = \frac{\text{stroomsnelheid van het medium}}{\text{kweekvolume}} = \frac{F}{V}$$

Vraag 1.1

Gegeven dat Freja 21,5 L effluent in een uur had opgevangen en dat de reactor een volume van 400 L heeft, wat is de verdunningssnelheid in de eenheid dag⁻¹?

- *Schrijf je berekeningen en het antwoord op op het antwoordblad in vak 1.1.*

Spectrofotometrie wordt door biotechnologen vaak gebruikt als een snelle manier om de droge massa aan biologisch celmateriaal in een systeem te bepalen. Omdat cellen zowel licht absorberen als verstrooien is dat geen perfecte maat, dus je kunt hem alleen gebruiken in een beperkt bereik van concentraties van cellen. Desalniettemin is het een stuk sneller dan het filtreren, drogen en wegen van de biomassa. De eerste stap is om de droge-massaconcentratie (D_w in g·L⁻¹) te berekenen uit de gemeten extinctie bij 750 nm (A_{750}), met behulp van een formule die Freja al voor je opgezocht heeft:

$$D_w = 0,4561 \cdot A_{750}$$

Het meten van de extinctie

Zet de spectrofotometer aan en calibreer hem met gedemineraliseerd water.

Vraag 1.2

Meet een compleet absorptiespectrum van het effluent (een suspensie van algen) in een cuvet met een dikte van 1,00 cm (zie **Figuur 1.1**). Ga naar het File-menu en sla het spectrum op met behulp van Save. Je team heeft het later nog nodig in vraag 2.3.

Kijk daarna wat de extinctie van het effluent was bij 750 nm.

Meng de algensuspensie goed vlak voordat je gaat meten, want de suspensie zakt snel uit.

- *Schrijf je meetwaarde op op het antwoordblad in vak 1.2.*

Gebruik de eerder gegeven formule om de droge-massaconcentratie in g·L⁻¹ uit te rekenen.

- *Schrijf je berekeningen en het antwoord op op het antwoordblad in vak 1.2.*

Vraag 1.3

Hoeveel algen worden er geproduceerd? Met andere woorden: wat is de volumetrische productiviteit in g·L⁻¹·dag⁻¹?

- *Schrijf je berekeningen en het antwoord op op het antwoordblad in vak 1.3.*

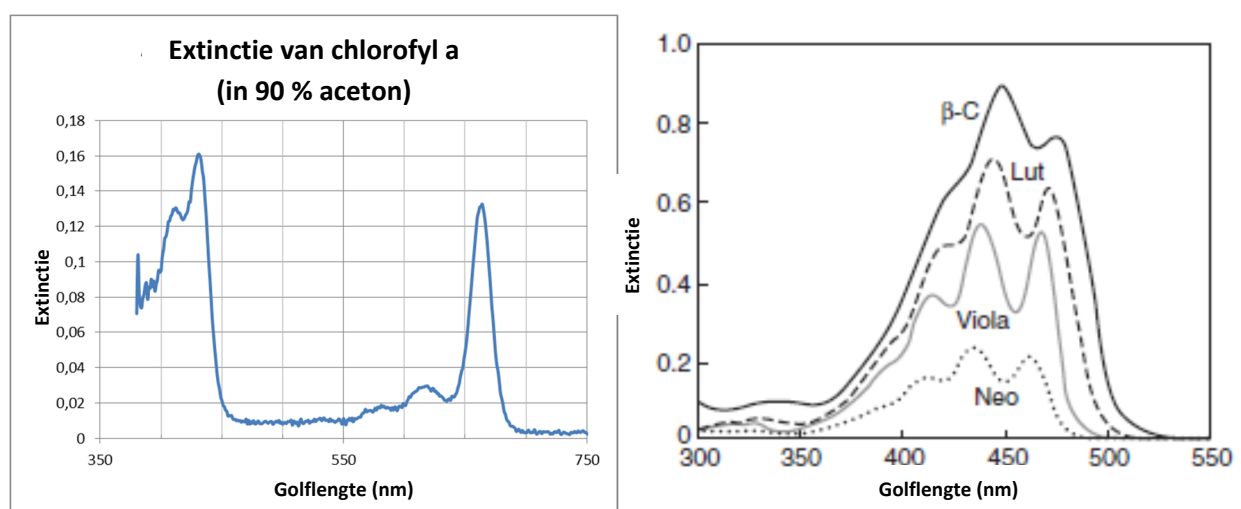
Vraag 1.4

Hoeveel zou de reactor produceren als hij met dezelfde snelheid zou blijven draaien gedurende 1 jaar?

- *Schrijf je berekeningen en het antwoord op op het antwoordblad in vak 1.4.*

B. Hoeveel carotenoïden produceren de algen?

Een belangrijke reden waarom vis als gezond voedsel wordt beschouwd is dat vissen andere organismen eten die op hun beurt weer algen eten. Veel algen bevatten carotenoïden: hulppigmenten bij de fotosynthese. Carotenoïden, vooral Astaxanthine, vormen maar een klein onderdeel van het voedsel van een zalm, maar ze veroorzaken de mooie roze-rode kleur en dragen ook behoorlijk bij aan de kosten van het kweken van zalm. Omdat het sterke anti-oxidanten zijn worden deze moleculen ook beschouwd als een gezond onderdeel van menselijk voedsel. Omdat zowel chlorofylen als carotenoïden licht absorberen tussen 450 en 500 nm (Figuur 1.3) kan het lastig zijn om het carotenoïdegehalte direct te bepalen in monsters met plantencextracten. Daarom hebben wetenschappers manieren ontwikkeld om het carotenoïdegehalte te bepalen door pieken bij verschillende golflengtes met elkaar te vergelijken.



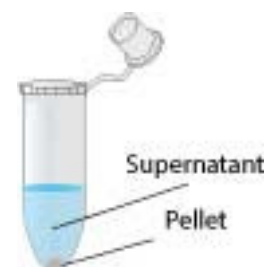
Figuur 1.3. Absorptiespectra van chlorofyl a in 90% aceton (links) en de absorptiespectra van de carotenoïden beta-carotene, luteïne, violaxanthine en neolaxanthine (Uit: Lichtenhaler and Buschmann, 2001).

Volg de onderstaande werkwijze om de pigmenten te extraheren en hun absorptiespectra te meten:

LET OP: deze experimentele stap is tijdrovend!

Werkwijze

1. Zet de centrifuge vlak (waterpas) – kijk naar de instructies die bij de centrifuge liggen. Elk buisje dat je in de centrifuge zet moet een even zwaar buisje precies tegenover zich hebben. De buisjes moeten daarom hetzelfde zijn en hetzelfde vloeistofvolume bevatten. Dan is het gewicht automatisch gelijkmatig verdeeld.
2. Centrifugeer 2 mL algenkweek (effluent) op 6000 rpm gedurende 5 minuten.
3. Verwijder de bovenstaande vloeistof (het supernatant) van het pellet. Let op: het pellet kan enigszins aan de zijkant van het buisje zitten.
4. Voeg 2 mL 96% ethanol toe aan het pellet. Schud het buisje goed om een begin te maken met het resuspenderen van het pellet.
5. Houd het buisje gedurende 5 minuten in de vortexmixer om het pellet volledig kapot te breken en te resuspenderen.



6. Zet het buisje met de suspensie gedurende 40 minuten in het hitteblok dat op 60 °C staat ingesteld. Zet het buisje daar in een ijsbad (een bak gevuld met ijs) gedurende 15 minuten.
7. Centrifugeer het buisje nog een keer.
8. Breng dit keer het supernatant over in de cuvet, zonder het pellet te verstoren. Zet de cuvet in de spectrofotometer zodat het licht 1,00 cm door de cuvet kan gaan. Meet het absorptiespectrum van het supernatant.

Gebruik de vergelijkingen hieronder om de concentraties van chlorofyl a (c_a), chlorofyl b (c_b) en de totale concentratie carotenoïden ($c_{(x+c)}$) te berekenen:

In een oplossing van 96% ethanol:

$$c_a = (13,36 \text{ mg/L}) \cdot A_{664} - (5,19 \text{ mg/L}) \cdot A_{649}$$

$$c_b = (27,43 \text{ mg/L}) \cdot A_{649} - (8,12 \text{ mg/L}) \cdot A_{664}$$

$$c_{(x+c)} = ((1000 \text{ mg/L}) \cdot A_{470} - 2,13 c_a - 97,64 c_b) / 209$$

waar A_{470} de extinctie bij 470 nm is, A_{649} de extinctie bij 649 nm en A_{664} de extinctie bij 664 nm.

Vraag 1.5

Welke waarden hebben A_{470} , A_{649} en A_{664} ?

➤ *Schrijf je antwoorden op het antwoordblad in vak 1.5.*

Vraag 1.6

Welke waarden heb je berekend voor c_a , c_b en $c_{(x+c)}$?

➤ *Schrijf je berekeningen en het antwoord op op het antwoordblad in vak 1.6.*

Vraag 1.7

Hoeveel chlorofyl (a+b) en hoeveel carotenoïden bevatten de algen uitgedrukt in mg per gram algen?

➤ *Schrijf je berekeningen en het antwoord op op het antwoordblad in vak 1.7.*

Vraag 1.8

Wat zijn de productiesnelheden van deze moleculen?

➤ *Schrijf je berekeningen en het antwoord op op het antwoordblad in vak 1.8.*

C. Hoeveel voedingsstoffen halen de algen uit het afvalwater?

Om dit te kunnen beantwoorden krijgt Freja twee eenvoudige testkits die haar school nog in de kast had liggen. Ze volgt de instructies om de gehalten van N en P in zowel het influent als het effluent te bepalen.

Gebruik de centrifuge om de algen te verwijderen uit minimaal 4 x 2 mL effluent. Bewaar het supernatant voor verder onderzoek, het pellet heb je niet meer nodig.

Ammoniumbepaling

Verdun het influent 50 x voordat je het gaat analyseren. Gebruik hiervoor een plastic pipet en een geschikte centrifugebuis met schaalverdeling. Het effluent hoeft je niet te verdunnen.

1. Vul een glazen flesje met het monster tot de maatstreep (5 mL) met behulp van een plastic pipet.
2. Voeg tien druppels toe van het reagens gelabeld "NH₄ – 1".
3. Doe de dop op de fles en meng de inhoud.
4. Voeg 1 afgestreken maatlepeltje van het reagens gelabeld "NH₄ – 2" toe. Het maatlepeltje zit in de koffer.
5. Doe de dop op de fles en schud hem totdat al het poeder is opgelost.
6. Wacht vijf minuten.
7. Open het flesje en voeg 4 druppels toe van het reagens gelabeld "NH₄ – 3"
8. Doe de dop op de fles en meng de inhoud.
9. Wacht zeven minuten.
10. Bepaal de extinctie van het mengsel bij 700 nm met behulp van de spectrofotometer.
11. Gebruik de calibratielij in [Figuur 1.4](#) om de concentratie van ammonium te bepalen.

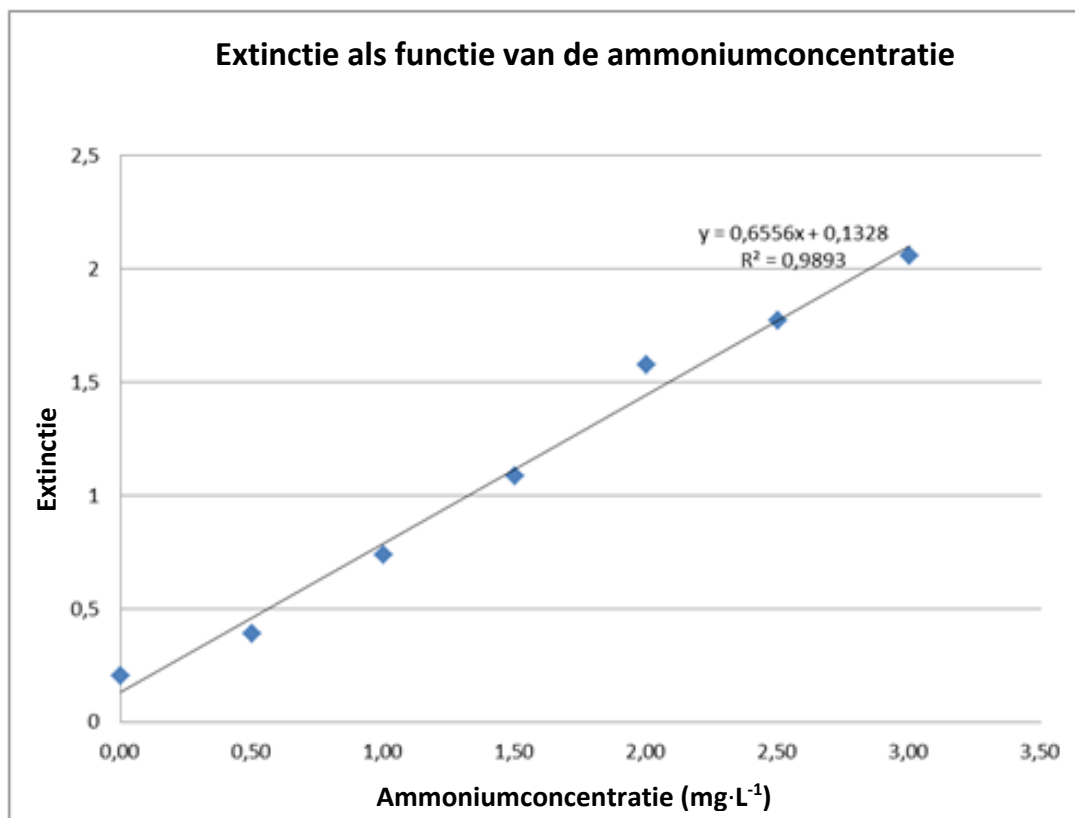


Figure 1.4. Calibratielij voor de relatie tussen de de extinctie en de ammoniumconcentratie.

Vraag 1.9

Bepaal de waarden voor de grootheden in vak 1.9 op het antwoordblad .

- *Schrijf je berekeningen (waar dat aangegeven is) en de antwoorden op op het antwoordblad in vak 1.9.*

Fosfaatbepaling

Van fosfaat (PO_4^{3-}) verwachten we hoge waarden in zowel influent als effluent. Daarom moet je nu zowel je originele influent- als effluentmonsters tien keer verdunnen voordat je ze gaat analyseren. Gebruik hiervoor weer een plastic pipet en een geschikte centrifugebuis met schaalverdeling.

1. Vul een glazen flesje met het monster tot de maatstreep (5 mL) met behulp van een plastic pipet.
2. Voeg zes druppels toe van de het reagens gelabeld " $\text{PO}_4 - 1$ ".
3. Doe de dop op de fles en meng de inhoud.
4. Voeg zes druppels toe van de het reagens gelabeld " $\text{PO}_4 - 2$ ".
5. Doe de dop op de fles en meng de inhoud.
6. Wacht tien minuten.
7. Bepaal de extinctie van het mengsel, weer bij 700 nm, met behulp van de spectrofotometer.
8. Gebruik de calibratielijijn in [Figuur 1.5](#) om de concentratie van ammonium te bepalen.

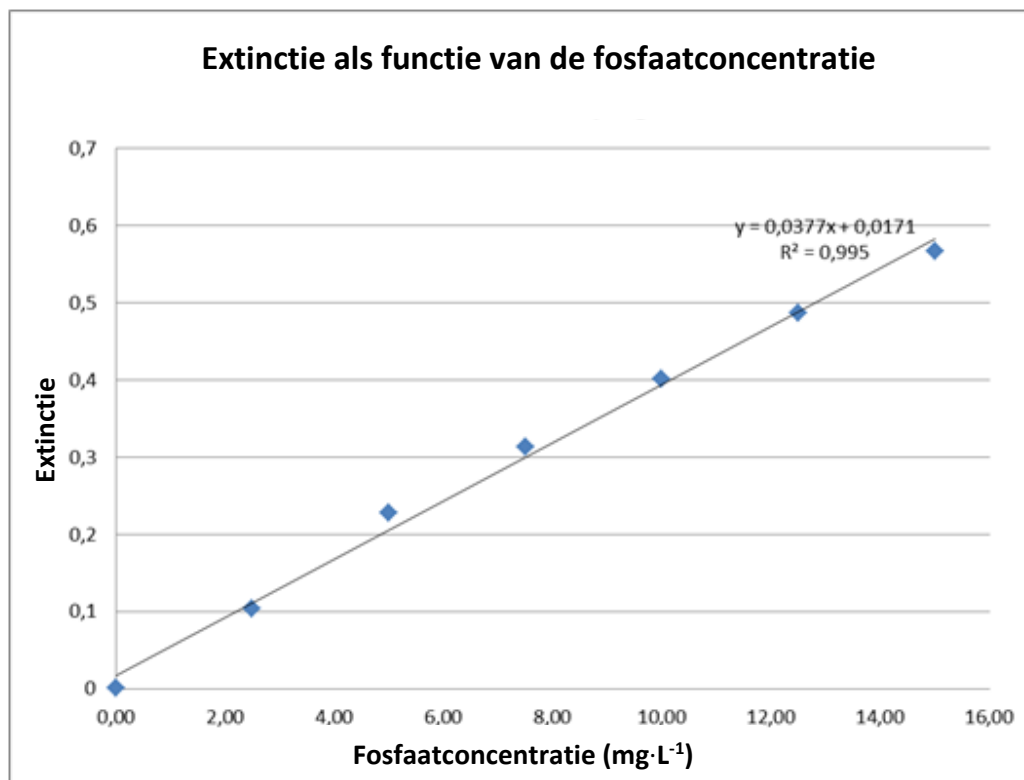


Figure 1.5. Calibratielijijn voor de relatie tussen de de extinctie en de fosfaatconcentratie.

Vraag 1.10

Bepaal de waarden voor de grootheden in vak 1.10 op het antwoordblad.

- *Schrijf je berekeningen (waar dat aangegeven is) en de antwoorden op op het antwoordblad in vak 1.10.*

Vraag 1.11

Gebruik de afnamesnelheid van de voedingsstoffen en de groeisnelheid van de algen om een schatting te maken van de gehalten N en P in de algen.

- *Schrijf je berekeningen en het antwoord op op het antwoordblad in vak 1.11.*

Vraag 1.12

Wat is de jaarlijkse besparing in DKK/L reactorvolume (DKK = Deense kronen), als je weet dat de Deense belasting op lozingen 5 DKK per kg N bedraagt en 110 DKK per kg PO_4^{3-} ?

- *Schrijf je berekeningen en het antwoord op op het antwoordblad in vak 1.12.*

2. Een verlichtingssysteem ontwerpen voor de productie van algen m.b.v. LEDs

Nadat ze de absorptiespectra geanalyseerd had, vroeg Freja aan haar vader: “Waarom gebruik je LEDs die daglicht geven?” Njord antwoordde: “Omdat ik ervan uitga dat algen daglicht nodig hebben om te groeien!” “Ja”, zei Freja, “Dat is waar, maar ze hebben er slechts een deel van nodig.”

Vergelijk je extinctiemetingen van **Vraag 1.2** op algen in water met het spectrum in **Figuur 1.3** van chlorofyl a in aceton.

Vraag 2.1

Welke kleuren kan Freja identificeren in **Figuur 1.3** als relevant voor de fotosynthese? Bepaal de golflengte-intervallen voor chlorofyl a. (Merk op dat deze in aceton relatief verschoven zijn t.o.v. deze in water voor jouw algen.)

➤ *Schrijf je antwoord op op het antwoordblad in vak 2.1*

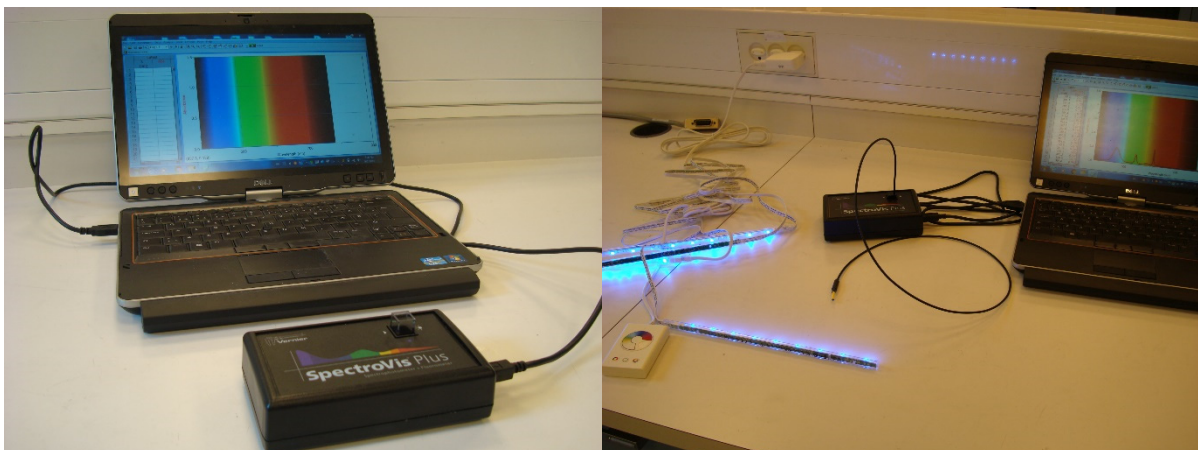
Freja gaat door:

“Laat me aantonen hoeveel je kunt besparen op je elektriciteitsrekening door enkel het noodzakelijke licht te gebruiken. Ik neem het rode deel van het spectrum als voorbeeld.”

Vraag 2.2

Welke spectra moet Freja vergelijken voor haar voorbeeld?

Kruis je antwoord(en) aan op het antwoordblad in vak 2.2.



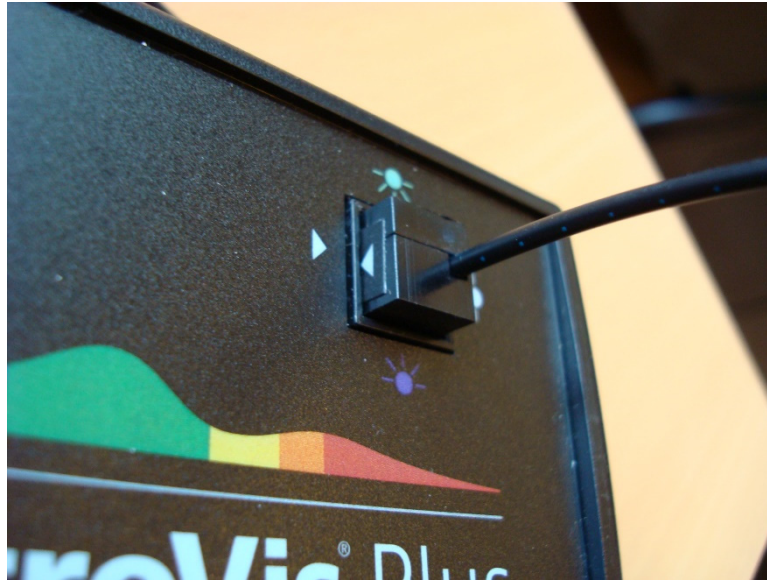
Absorptiemeting.

Spectrofotometer met cuvet en kabel verbonden met een computer met LoggerPro.

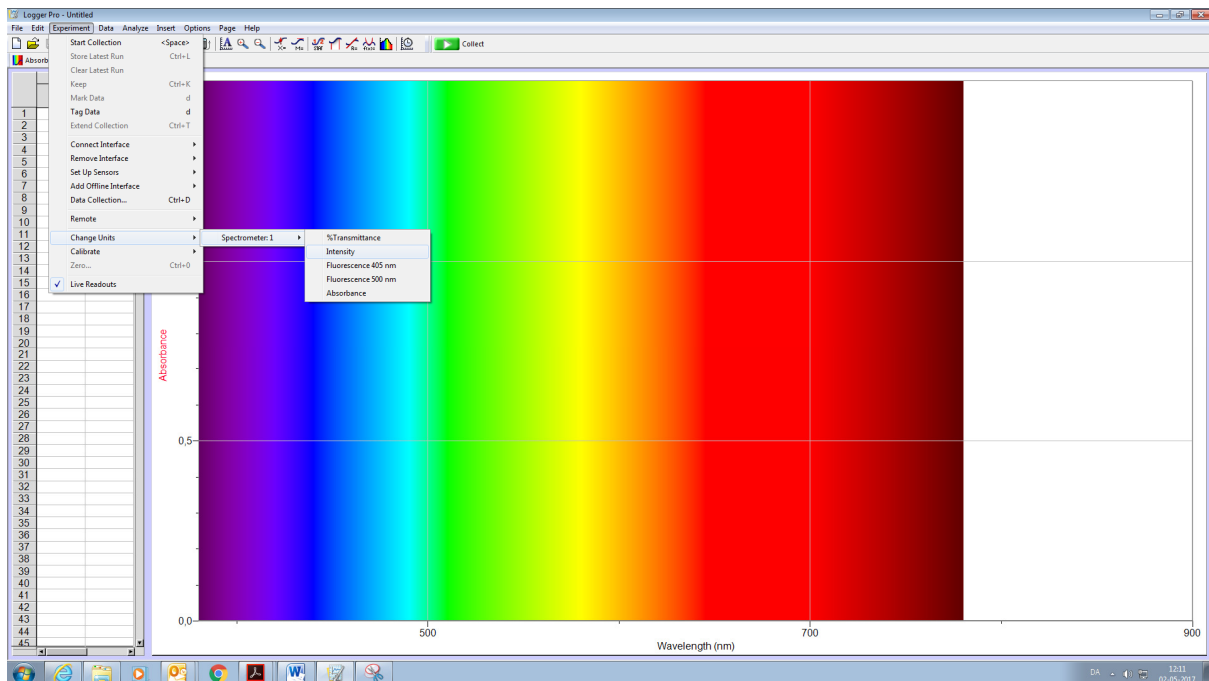
Emissiemeting.

Spectrofotometer met glasvezelenheid en -kabel verbonden met een computer met LoggerPro.

Figuur 2.1a



Figuur 2.1b Close-up van de glasvezeleenheid aangesloten voor emissiemetingen. Let op de positie van de pijlen ten opzichte van elkaar.



Figuur 2.2. “Change units” onder “Experiment” om de spectrofotometer-modus te activeren.
 Kies “Absorption” voor absorptie en “Intensity” voor emissiespectra.
 Bekijk informatie over de spectrofotometer in Appendix B.

Meet de absorptiepiek van de algen in het rode deel van het spectrum (of haal het spectrum op dat bij vraag 1.2 is opgeslagen)! Behoud de grafiek, maar verander de instelling in "intensity" in LoggerPro (gebruik de link Experiment -> Change Units ->...). Merk op dat de absorptiegrafiek nu een dip vertoont waar licht geabsorbeerd is.

Behoud deze instelling in het volgende deel, waar je het emissiespectrum van het uitgezonden licht van verschillende lichtbronnen gaat onderzoeken.

Vraag 2.3

Meet het emissiespectrum van de rode LED in de meerkleurige LED-balk! Geef dit spectrum en het spectrum van vraag 2.2 weer in dezelfde figuur met intensiteit op de y-as¹.

➤ *Druk je grafiek af met teamletter erop. Noem hem "Graph 2.3".*

Vraag 2.4

Hoeveel nanometer zou het rode LED-licht moeten opgeschoven worden om overeen te komen met de rode absorptiedip van de algen?

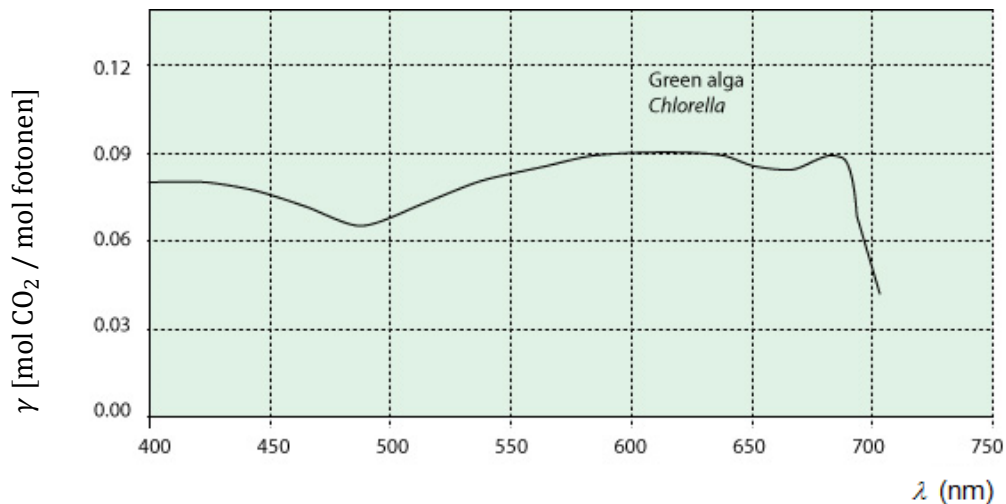
➤ *Schrijf je antwoord op op het antwoordblad in vak 2.4.*

Geef op de afgedrukte grafiek "Graph 2.3" de afgelezen waarden aan die je daarvoor nodig hebt.

"OK", zei Freja. "Laten we dit bestuderen. Het lijkt niet juist dat de planten alleen kunnen groeien bij bepaalde kleuren. Laten we wat literatuur doornemen..."

"Aha," zei Njord, "ik denk dat ik het gevonden heb. Planten kunnen ook fotonen met meer energie opnemen en ze transporteren naar het chlorofyl om ze daar te verwerken. (Licht is namelijk gekwantiseerd; het komt in energiepakketjes voor die fotonen worden genoemd, en wordt alleen geabsorbeerd als volledige energiepakketjes). Deze opname gebeurt door carotenoïden. In de grafiek hieronder zie je de CO₂-consumptie van algen belicht door licht met verschillende frequenties. Die toont aan dat de groene alg, *Chorella*, fotonen opneemt tussen 400 nm en 680 nm met nagenoeg dezelfde efficiëntie, de kwantumefficiëntie η_{λ} genoemd. Nog preciezer: wanneer de energie getransporteerd wordt naar chlorofyl a, wordt die daar geabsorbeerd met een efficiëntie η_{λ} , de kwantumefficiëntie genoemd."

¹ Als je licht van een sterke lichtbron in de spectrofotometer schijnt kan de grafiek in bepaalde intervallen een vlak plateau vertonen door verzadiging. Je kunt dit vermijden door ofwel de meettijd te verkorten (volg de link Experiment -> Set up sensors -> Spectrometer...), of eenvoudigweg door de lichtbron een beetje van het instrument te verwijderen (maar vermijd wel strooilicht van andere bronnen).



Figuur 2.3. De CO₂ consumptie γ in mol per mol geabsorbeerde fotonen als functie van de fotongolflengte λ . Deze consumptie kan gezien worden als evenredig met de kwantumefficiëntie η_λ . Naar Emerson, Robert, en Charlton M. Lewis. "De kwantumopbrengst van Chlorella fotosynthese als functie van de golflengte van licht." American Journal of Botany (1943): 165-178.

Vraag 2.5

Welk proces in de plant hangt samen met de consumptie van CO₂?

- *Kruis je antwoord aan op het antwoordblad in vak 2.5.*

Vraag 2.6

Meet het emissiespectrum van de groene LED in de LED-balk! Lees de piekgolflengte af. Bepaal de verhouding tussen kwantumefficiëntie bij deze golflengte voor Chlorella en de kwantumefficiëntie bij de golflengte van de rode LED-piek. Laat zien hoe je de benodigde getallen uit de grafiek afgelezen hebt.

- *Druk de grafiek af en schrijf je berekeningen en antwoord op het antwoordblad in vak 2.6.*

"Dus het is uiteindelijk niet zo'n grote verspilling om mijn witlicht-LEDs te gebruiken", zei Njord, "Ze blijken perfect overeen te komen met het golflengte-interval dat fotosynthese geeft, ook wel het 'fotosynthetisch actieve regime' (PAR) genoemd. Kijk zelf maar naar het spectrum!"

Vraag 2.7

Meet het spectrum van de witlicht-LED en vergelijk deze met het absorptiespectrum van de algen.

- *Druk de grafiek af en kruis het / de juiste antwoord(en) aan op het antwoordblad in vak 2.7.*

"Wel, het is ingewikkelder dan dat. Je verliest meer dan de kwantumefficiëntie aangeeft!" antwoordde Freja. "Licht is namelijk gekwantiseerd; het komt in pakketjes voor die fotonen worden genoemd, en wordt alleen geabsorbeerd als volledige pakketjes. De energie van een lichtpakketje bij een bepaalde frequentie is evenredig met de frequentie." De evenredigheidsconstante h wordt de

constante van Planck genoemd en heeft de waarde $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ J/Hz of $h = 4,136$ meV/THz (merk op: 1 THz = 10^{12} Hz). De laatste eenheid bevat de energie-eenheid elektronvolt en is nuttig voor atomaire processen. Eén elektronvolt is de energie die een elektron erbij krijgt wanneer het door een één-voltbatterij gaat, $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19}$ J, en 1 Hz is 1 s^{-1} . De snelheid van het licht c is gelijk aan de golflengte vermenigvuldigd met de frequentie.

Vraag 2.8

Bereken de energie in eV van een foton bij de piekgolflengte van de groene LED, bij de piekgolflengte van de rode LED en bij de rode absorptiedip van je algenmonster. Maak hierbij gebruik van de tabel op het antwoordblad.

- *Schrijf je antwoord op op het antwoordblad in vak 2.8. Duid de golflengten die je gebruikt voor je berekening aan en geef de overeenkomstige frequenties van deze golflengten.*

Vraag 2.9

Hoeveel energie (in eV) moet geabsorbeerd worden in de rode chlorofyldip uit je grafiek van vraag 2.3 om een één-foton reactiestap te laten plaatsvinden? Hoeveel procent van de energie wordt verspild als deze door een groene, respectievelijk rode LED wordt geleverd en de fotonenergie wordt getransporteerd door de carotenoïden naar het chlorofyl? Wat zijn de respectieve efficiënties in energieconsumptie?

- *Schrijf je antwoord op op het antwoordblad in vak 2.9*

Vraag 2.10

Hoeveel procent van de lichtenergie gaat verloren als Njord groene LEDs gebruikt om de rode absorptie in het chlorofyl te “voeden” in plaats van de LEDs die voor die absorptie zijn geoptimaliseerd? Ga ervan uit dat rode, gele en groene LEDs gelijkwaardig zijn in constructie zodat we kunnen aannemen dat ze de inkomende elektrische energie met dezelfde efficiëntie omzetten in uitgaande lichtenergie. Neem ook de kwantumefficiëntie mee in de beschouwing. Merk tot slot op dat de algen ook energie kunnen verkrijgen voor gebruik in het chlorofyl via absorptie van groen licht door de carotenoïden.

- *Schrijf je antwoord op op het antwoordblad in vak 2.10.*

3. Wisselwerkingen tussen predator en prooi.

NB: Om dit onderdeel goed te kunnen beantwoorden dien je Appendix C vooraf grondig te lezen en te gebruiken.

Freja zei tegen haar vader Njord, “*Microalgen kunnen zeer goed gebruikt worden als voedsel voor eenoogkreeftjes (copepoda). Deze eenoogkreeftjes kunnen op hun beurt gebruikt worden als voedsel voor vissen. Op school hebben we enkele video’s opgenomen van de snelheid waarmee deze kreeftjes kunnen zwemmen en de ‘ontsnappingsafstand’ t.o.v. vissen.*”

Deze video’s staan op de desktop. Door gebruik te maken van video-analyse in “LoggerPro” dien je te bepalen welke van de twee soorten eenoogkreeftjes je zult gebruiken als voedsel voor de vissen. Houd hiervoor rekening met het feit dat de vis een reactieafstand heeft t.o.v. het kreeftje van 5 mm en dat de vis een aanvalssnelheid ontwikkelt van 200 mm/s over een afstand van 20 mm.

Kijk naar Appendix C1 voor een inleiding tot de eenoogkreeftjes en naar appendix C2 voor de experimentele filmopstelling.

Freja vroeg Njord de volgende tekst te lezen:

Via proefondervindelijk onderzoek bestuderen we de ‘afstand van waarop een predator wordt waargenomen’ en de ‘ontsnappingsnelheid’ van twee verschillende soorten eenoogkreeftjes. Hiervoor wordt telkens één soort kreeftje in het aquarium gebracht. Dit levert ons twee video’s op die we dienen te onderzoeken. De eerste video toont het ontsnappingsgedrag van het eenoogkreeftje *Centropages hamatus*, en video 2 het ontsnappingsgedrag van het eenoogkreeftje *Temora longicornis*. Beide films zijn gefilmd met een snelheid van 500 beelden per seconde en de horizontale beeldbreedte is 39 mm.

Open de video's in Logger Pro. Gebruik “Movie Options” – “frame rate” om de tijd af te lezen in seconden en de “Set Scale” functie om de afstanden weer te geven in mm.

Vraag 3.1

Bepaal voor elk van de twee soorten eenoogkreeftjes:

- de afstand (in mm) van waarop het kreeftje de predator detecteert (dit is de afstand tussen de pipettip en het kreeftje op het ogenblik dat het begint te ontsnappen).
- de sprongafstand (in mm) voor elk van de twee soorten eenoogkreeftjes
- de snelheid van de sprong (in mm/s) voor elk van de twee soorten eenoogkreeftjes.

Dit doe je in de volgende 13 stappen/vragen:

➤ *Noteer je antwoord bij 3.1.*

1. Bij welke tijd (in s) begint het kreeftje te springen?
2. Bij welke tijd (in s) stopt het kreeftje met springen?

3. Wat is de afstand (in mm) volgens de z-richting tussen het uiteinde van de pipet en het kreeftje op het ogenblik dat het kreeftje begint te springen?
4. Wat is de afstand (in mm) volgens de z-richting tussen het uiteinde van de pipet en het kreeftje op het ogenblik dat het kreeftje stopt met springen?
5. Print de grafiek voor de sprong volgens de z-richting als een functie van de tijd en bevestig die aan het antwoordblad.
6. Wat is de positie (in mm) volgens de x-richting tussen het uiteinde van de pipet en het kreeftje op het ogenblik dat het kreeftje begint te springen?
7. Wat is de afstand (in mm) volgens de x-richting tussen het uiteinde van de pipet en het kreeftje op het ogenblik dat het kreeftje stopt met springen?
8. Wat is de afstand (in mm) volgens de y-richting tussen het uiteinde van de pipet en het kreeftje op het ogenblik dat het kreeftje begint te springen?
9. Wat is de afstand (in mm) volgens de y-richting tussen het uiteinde van de pipet en het kreeftje op het ogenblik dat het kreeftje stopt met springen?
10. Print x en y als functie van de tijd in dezelfde grafiek en bevestig aan je antwoordblad. Vergeet niet je naam en teamnummer te vermelden alvorens te printen!

Voor de vragen 11 t/m 13 kun je gebruik maken van de vergelijkingen onder deze vragen

11. Wat is de afstand (in mm) van het uiteinde van de pipet tot het kreeftje, op het ogenblik dat het kreeftje begint te springen \approx 'afstand waarop het kreeftje de predator detecteert'?
12. Hoe groot is de sprongafstand (in mm)?
13. Hoeveel bedraagt de ontsnappingsnelheid (in mm/s)?

Je kunt de volgende twee vergelijkingen gebruiken om afstanden en snelheden in 3 dimensies te berekenen:

Vergelijking 1: 'Predator detectie afstand'

$$d_{predator} = \sqrt{(x_{start} - x_{pipet})^2 + (y_{start} - y_{pipet})^2 + (z_{start} - z_{pipet})^2}$$

Vergelijking 2: 'Sprongafstand'

$$d_{sprong} = \sqrt{(x_{start} - x_{einde})^2 + (y_{start} - y_{einde})^2 + (z_{start} - z_{einde})^2}$$

Vergelijking 3: 'Ontsnappingsnelheid'

$$v_{ontsnapping} = \frac{d_{sprong}}{\Delta t}$$

x_{start} , y_{start} , z_{start} , zijn respectievelijk de x , y en z positie van het kreeftje op het ogenblik van de start van de sprong, en x_{einde} , y_{einde} , z_{einde} , zijn de x , y en z positie van het kreeftje bij het einde van de sprong.

Vraag 3.2

We weten dat de vissoort in onze aquacultuur kreeftjes ontdekt binnen een afstand van 5 mm en dat de vis het kreeftje aanvalt met een constante snelheid van 200 mm/s over een afstand van 20 mm.

Kunnen de kreeftjes ontsnappen aan een aanvallende vis? Om dit te beantwoorden mag je uitgaan van een ééndimensionale beweging en gebruik je de ontsnappingsnelheden van de kreeftjes als gemiddelden voor hun beweging. Visualiseer dit door drie lijnen te trekken op een grafiek die de positie weergeven (op de y-as) van de denkbeeldige vis (pipettip) en de posities van de twee kreeftjes, in functie van de tijd (x-as) vanaf het ogenblik waarop het kreeftje begint te springen.

➤ *Noteer je antwoord bij 3.2.*

Vraag 3.3

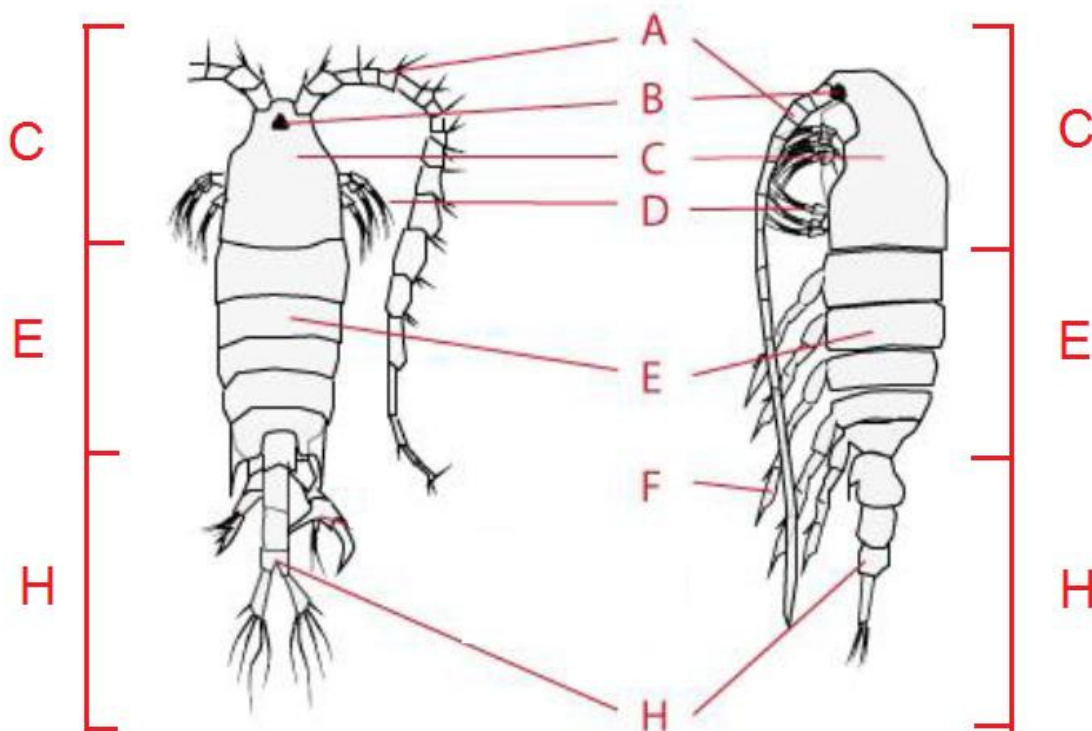
Welke soort kreeftjes kun je het best gebruiken om de vissen in onze aquacultuur te voeren?

➤ *Noteer je antwoord bij 3.3.*

Vraag 3.4

Tot welke diergroep behoren de eenoogkreeftjes (copepodae)?

➤ *Noteer je antwoord bij 3.4.*



Figuur 3.1. Schematische afbeelding van een eenoogkreeftje, gezien vanaf twee kanten

Vraag 3.5

Welke twee kanten van de kreeftjes zijn getekend in **figuur 3.1**?

- *Vink de juiste antwoorden aan bij 3.5.*

Vraag 3.6

Benoem de delen die met de letters zijn weergegeven op de **figuur 3.1**

- *Noteer de juiste letter (**figuur 3.1**) bij de opgegeven namen in de tabel bij 3.6.*

Vraag 3.7

Veel soorten eenoogkreeftjes bevatten olie. Welke voordelen kan de mogelijkheid om olie te synthetiseren de kreeftjes bieden?

- *Vink het/de juiste antwoord(en) aan bij 3.7.*

EINDE VAN TAAK 2: OCEAAN

