



OPTIMERING AF BIOPRODUKTION MED CYANOBAKTERIER

**ULRIKKE ANDREA LYSBECK OLSEN
FREDERIKSVÆRK GYMNASIUM**

NAT - PROJEKT FORSKERSPIRER 2020

Indholdsfortegnelse

1. INDLEDNING.....	2
2. PROBLEMFORMULERING, FORMÅL SAMT AFGRÆNSNING	2
2.1 CYANOBAKTERIEN	3
2.2 KLOROFYL OG BØLGELÆNGDER.....	4
2.3 BIOREAKTOR	6
3. METODEVALG OG TEORI.....	6
4. UDFØRELSE AF PROJEKTET	7
4.1 FREM GANGSMÅDE	7
4.2 TIDSRAMME	8
4.3 BUDGET	8
5. KONKLUSION	9
6. KONTAKTER.....	9
7. LITTERATURLISTE.....	9
8. BILAG.....	10

1. Indledning

I dag er der stor forskel på energiforbruget i hhv. velhavende og fattige lande. Hvis verdens fattige lande skulle have samme energiforbrug som i den rigeste del af verden, ville det kræve en 4-5 gange så stor årlig energiproduktion på jorden. Og hvis man forudsætter, at fremskaffelsen af energien ville foregå på samme måde som i den rige del af verden, primært med olie, ville det give uoverskuelige konsekvenser. Udnyttelsen af kunstige energistrømme skaber nemlig restprodukter som kuldioxid og svovldioxid i så unaturlige mængder, at naturen ikke vil kunne omsætte eller nedbryde dem.¹ Grøn omstilling har fanget min interesse, fordi jeg som ung ved, at det bliver min generation, der vil mærke følgerne af de menneskeskabte klimaforandringer. Det er derfor for mig vigtigt, at der bliver fundet en holdbar løsning, som skal kunne erstatte olieforbruget, dels fordi det udleder meget CO₂, men også fordi, vi inden for den nærmeste fremtid vil have tømt vores oliereserver.

Hvis den fremtidige ressource til energiproduktionen er en levende organisme, som formerer sig konstant, vil den kunne bruges som en vedvarende energikilde. Lige netop af den årsag har jeg valgt at forske i cyanobakterier med henblik på grøn omstilling. Energiproduktion af cyanobakterierne kunne foregå i såkaldte bioreaktorer og gør det allerede nogle steder. Udbyttet er dog for småt, hvis det skal kunne betale sig økonomisk og hvis det skal kunne blive en erstatning for olien.² Jeg ser derfor en relevans i at forske i, hvorvidt man overhovedet vil kunne optimere denne proces for at få mere udbytte på kortere tid.

2. Problemformulering, formål samt afgrænsning

Denne forskningsartikel vil undersøge om cyanobakterier kan være en mulig energikilde til bæredygtig energi ved at besvare følgende forskningsspørgsmål:

Kan man forøge biproduktionen gennem fotosyntese, ved yderligere at indføre cyanobakterier som indeholder klorofyl d og f i bioreaktoren?

¹ Bach, 2010. (bog)

² Biello, 2009. (avisartikel)

Forskningsartiklen har særligt til formål, gennem et pilotforsøg, at be- eller afkræfte hypotesen:

Jo flere typer klorofyl der er i bioreaktoren, jo højere udbytte afgiver cyanobakterierne tilsammen via fotosyntese.

Jeg vil særligt gå i dybden med klorofyl og hvordan man med henblik på klorofyl, altså hvilke typer af klorofyl, der findes i forskellige cyanobakterier og hvor mange slags, der findes i hver bakterie, kan udnytte et større antal af bølgelængder af lys, end vi gør i dag. Dette forskningsprojekt vil altså forske parameteret klorofyl og dets betydning for bioproduktion. Der er også mange andre parametre, der afgør udbyttets størrelse. Jeg har blandt andet udelukket parametre som vand - hvilke mineraler og næringsstoffer, det indeholder, hvilken temperatur, det har etc. Derudover kan konstruktionen af bioreaktoren også indvirke på, hvor stort et udbytte der skabes.

2.1 Cyanobakterien

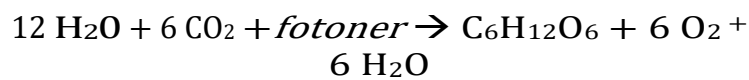
Cyanobakterien har en helt afgørende rolle i Jordens historie og opstod i havet for omkring 3,5-3,8 milliarder år siden, og brugte som noget nyt lyset til at spalte H_2O til dets kemiske komponenter; hydrogen og oxygen, hvor sidstnævnte blev frigivet til atmosfæren som et restprodukt. Denne kemiske reaktion kaldes for "The Great Oxidation Event" og er kilden til den ilt, vi indånder.³ Lige netop denne særlige egenskab, den encellede bakterie har, nemlig fotosyntesen, kan bruges til at danne biobrændsel. Cyanobakterien som energikilde har blot brug for vand, sollys og CO_2 for at fungere, og den olie man kan udvinde fra bakterien, siges derfor at være CO_2 -neutral, da den optager CO_2 fra atmosfæren og omdanner det til O_2 gennem fotosyntesen. Desuden indeholder cyanobakterierne høje mængder olie, helt op til 50 % af bakteriens vægt kan udgøres af olie, som skal bruges til biobrændslet. Endvidere formerer cyanobakterien sig i så høj hastighed, faktisk er de i stand til at firedoble sig på et døgn under optimale vækstbetingelser, at man ikke vil opbruge cyanobakterierne, hvilket er en af de helt store problematikker ved olien.⁴

³ Journey to the Microcosmos, 2020. (Film)

⁴ Ingvorsen, 2010. (Webside/internetkilde)

2.2 Klorofyl og bølgelængder

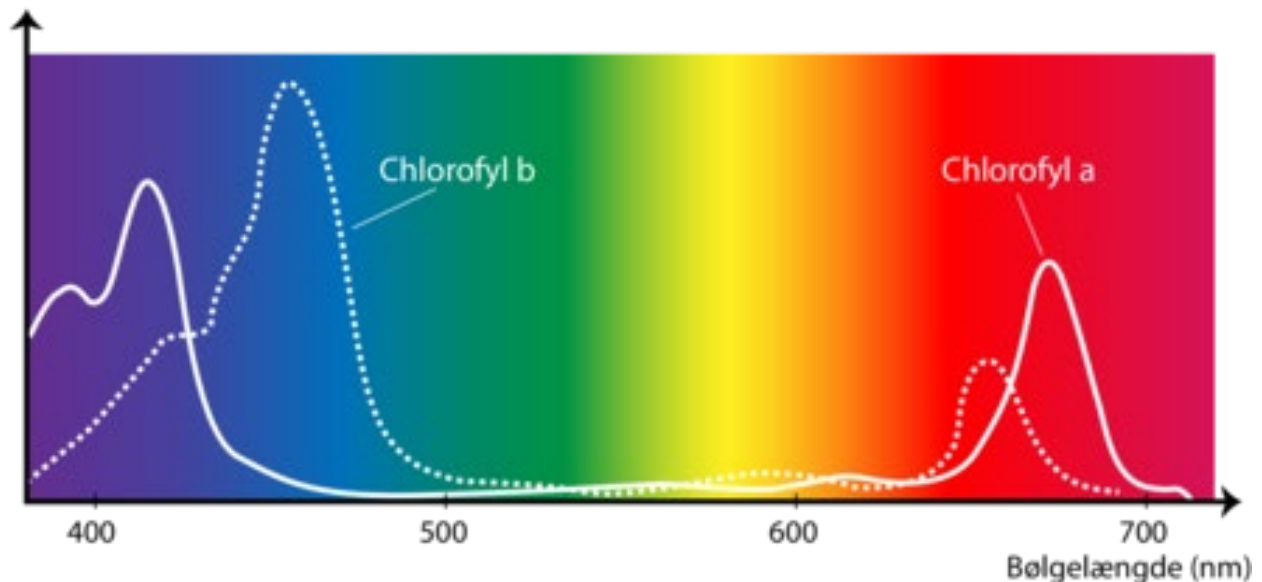
Klorofyl har en vigtig rolle for fotosyntesen, som foregår i cellens kloroplaster, der består af en membran, stroma og thylakoiderne. Fotosyntesen er opdelt i to processer: Lysprocessen og Calvins cyklus. Under lysprocessen absorberer klorofyl, som findes i thylakoiderne, energi fra solen i form af stråler, og der indtages vand. Herefter sker anden del af fotosyntesen, Calvins cyklus. Den finder sted i stroma og optager CO₂ fra atmosfæren, der sammen med vand og sollys fra lysprocessen danner glukose, altså den energi der videre skal bruges til vækst. De to processer kan beskrives således:



Og er den kemiske formel for fotosyntesen.⁵

Det er typen af klorofyl der afgør, hvilke bølgelængder af lys, der optages fra solen i lysprocessen for at lave fotosyntese og de typer klorofyl, cyanobakterierne i bioreaktorer indeholder, er indtil videre kun klorofyl a og b.

Absorption (relativ skala)



Figur 1: Absorptionsspektrum for klorofyl a og klorofyl b. Kilde: Fotosyntesens biokemi, bioteknologi.systeme.dk

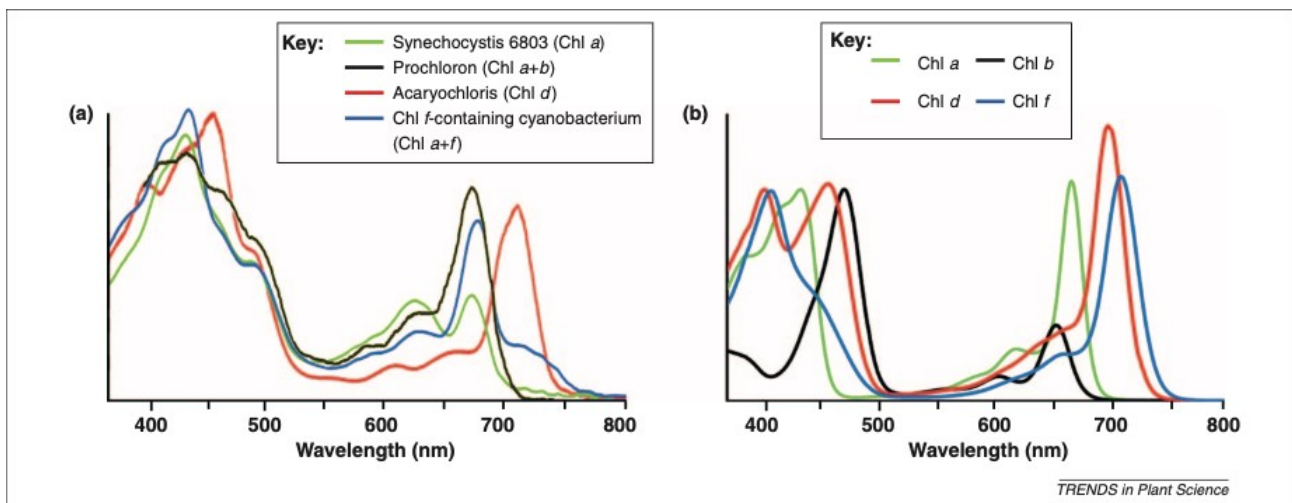
Klorofyl a absorberer hovedsageligt lys i det lilla og røde felt i den synlige del af lysspektret, mens klorofyl b absorberer i det blå og røde felt. Men cyanobakterier med klorofyl a, hvis bølgelængde er længere end klorofyl b's bølgelængde, har efter omkring $665 \pm 1,2$ ikke et højt nok

⁵ Anonym, 2019 (websites/internetkilde)

Ulrikke Andrea Lysbeck Olsen
Frederiksværk Gymnasium

absorptionsniveau til, at det er effektivt.⁶ Her bliver det relevant at undersøge cyanobakterier, der indeholder klorofyl d og klorofyl f.

Ved små ændringer eller variationer i klorofyl kan cyanobakterier absorbere forskellige bølgelængder af lys. Mens cyanobakterierne med klorofyl a og b kun kan benytte sig af den synlige del af lysspektret, kan cyanobakterien *Acaryochloris Marina*, som udover at indeholde spor af klorofyl a, primært består af klorofyl d, også drage fordel af infrarødt lys (700-750 nm). Derudover har man fundet cyanobakterier med klorofyl f, som har en evne til at absorbere lys med endnu længere bølgelængder end klorofyl d kan.⁷



Figur 2: (a) viser *in vivo* absorbtionsspektrum for *Synechocystis*, *Prochloron*, *Acaryochloris* og den ny opagede klorofyl *f*-indeholdende cyanobakterie. (b) viser *in vitro* absorbtionsspektrum for klorofyl a, b, d og f. Kilde: Cell Press, *Trends in Plant Science*, August 2011, Vol. 16, No. 8.

*In vivo*⁸ er *Acaryochloris* indtil videre den Cyanobakterie, der udnytter lys med den længste bølgelængde, også længere end den Cyanobakterie, man har fundet, som indeholder klorofyl f, selvom klorofyl f ellers kan absorbere lys med længere bølgelængder end klorofyl d, hvilket kan ses på figur 2 (b), der viser *in vitro*⁹ for forskellige typer klorofyl. Dette kan forklares ved, at den nyere fundne cyanobakterie med klorofyl f også indeholder klorofyl a.¹⁰

⁶ Anonym, 2019 (webside/internetkilde)

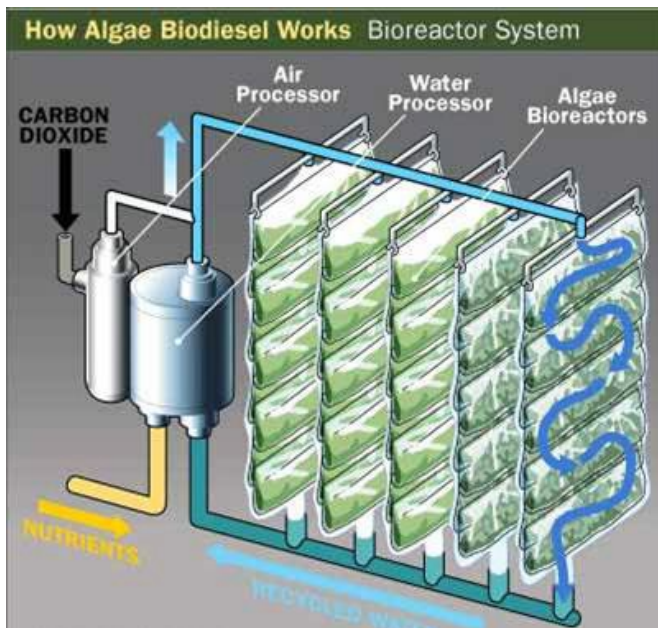
⁷ Behrendt, 2012 (tidsskrift)

⁸ Undersøgelse af den levende organisme, cyanobakterien

⁹ Undersøgelse udenfor organismen, cyanobakterien

¹⁰ Chen, 2011. (Tidsskrift)

2.3 Bioreaktor



Figur 3: Model over et bioreaktor-anlæg. Kilde: Experimentarium.dk

En bioreaktor er en beholder der indeholder et vækstmedie og en eller flere celletyper, som ønskes dyrket. På figur 3 ses en illustration over en mulig konstruktion af et bioreaktor-anlæg. En luft-processor bruges til at pumpe CO₂ ind i bioreaktoren via vandrør, hvor vand pumpes rundt med hjælp fra en vand-processor, der også pumper et vækstmedie rundt. Poserne, hvor cyanobakterierne opholder sig, er gennemsigtige, for at lysfotonerne kan trænge igennem. Hermed er alle betingelser for, at cyanobakterierne kan danne fotosyntese, opfyldt. Når

cyanobakterierne når den ønskede størrelse, kan de høstes og herefter udvinder man olien, som skal laves til biobrændsel.¹¹ Denne proces vil jeg ikke komme yderligere ind på.

Fordele ved at lave biobrændsel af cyanobakterier og ikke f.eks. træpiller eller halm er for det første, at man kan udnytte arealet, da man med cyanobakterier også kan udnytte højden, hvilket er begrænset ved dyrkning af træer og afgrøder. Endvidere kan man placere bioreaktor-anlæggene ved siden af fabrikker, der udleder meget CO₂, som så kan pumpes direkte ind i anlæggene, så fabrikkernes CO₂-affald bliver optaget i stedet for at blive frigivet til atmosfæren. Ulempen er selvfølgelig, at metoden ikke er ligeså udviklet og udbredt som produktionen af biobrændsel fra f.eks. træpiller og halm, og det vil derfor kræve flere penge og ressourcer til en start.¹²

3. Metodevalg og teori

I mit projekt har jeg en deduktiv tilgang til emnet. Ved at arbejde deduktivt, kan jeg afklare, om den teoretiske viden, der eksisterer omkring fotosyntese, og mere specifikt de forskellige typer klorofyl og deres evne til at udnytte forskellige bølgelængder af lys, kan overføres til empirisk viden ved

¹¹ Ingvorsen, 2010 (websiteside/internetkilde)

¹² Wittrup, 2008 (Avisartikel)

hjælp af min hypotese, der skal be- eller afkræftes. Denne metode vil vise om mit forskerspirerprojekt kan bruges i virkeligheden til at optimere energiproduktionen i bioreaktorer med cyanobakterier.

I pilotforsøget bruger jeg den eksperimentelle metode, hvor data indsamles i situationer, hvor man har fuld kontrol over, hvordan indgående parametre varieres. Med denne metode kan jeg fastholde alle parametre på nær én, altså hvilke former for cyanobakterier, forsøget indeholder, som jeg dermed kan variere kontrolleret. Hertil må man være opmærksom på, at dette er testet i et lukket system og dermed blot er kontrolleret viden, som derfor er fjernet fra cyanobakteriernes normale omgivelser. Dog skal denne viden ideelt set også bruges i lukkede systemer, eftersom bioreaktorer er lukkede systemer - blot i større skala.

Desuden arbejder jeg kvantitativt. Den kvantitative metode skal bruges til at beregne og beskrive de data, forsøget vil give mig. Ved at beregne mine data fra forsøget, kan jeg afklare, hvilken af de to blandinger af cyanobakterier, der danner den største mængde O_2 og beskrive udviklingen for O_2 -produktionen ved regression.

Denne forskningsartikel bygger sin viden på, at jo mere ilt der dannes i forsøget, jo mere fotosyntese er der fundet sted og jo mere udbytte har man derfor fået, hvilket vil sige, at man kan nøjes med at måle O_2 -dannelsen i stedet for at finde ud af, hvor meget organisk materiale, der er dannet. Derudover bygger denne artikel videre på andre forskningsartikler, som det fremgår i litteraturlisten, der omhandler teori om klorofyl og særligt cyanobakterier med klorofyl d og f, da særligt cyanobakterier med klorofyl f er forholdsvis ny viden.

4. Udførelse af projektet

Projektets pilotforsøg har som sådan ingen krav til at foregå i et laboratorie, men skal dog foregå et sted, hvor det kan udsættes for direkte sollys. Jeg antager dog, at jeg har de mest basale ting til rådighed, såsom glaskolber og propper dertil.

4.1 Fremgangsmåde

Dag 1: Jeg hælder 300 ml. vand med cyanobakterier med klorofyl a og/eller b i en kolbe og hælder 150 ml. cyanobakterier med klorofyl a og/eller b i en anden kolbe og 150 ml. vand med cyanobakterier med klorofyl d og evt. f i samme kolbe, så der er 300 ml. i begge kolber. Herefter

Ulrikke Andrea Lysbeck Olsen
 Frederiksværk Gymnasium

føres en iltmåler ned i begge kolber, hvorefter kolberne lukkes tæt med en prop, for at der ikke skal komme ilt ind udefra.

Nu måler iltmålerne og logger dataene i et døgn.

Dag 2: Efter et døgn vil man ud fra O₂-dannelsen kunne konkludere, hvilket af forsøgene, der har dannet mest fotosyntese, men for at være mere sikker på, at dette resultat gælder, udføres forsøget igen på samme måde over et døgn.

Hvis resultatet nærmer sig det samme resultat som i forrige forsøg, anser jeg det som et gyldigt resultat.

Herefter kan man for hver cyanobakterie-opblanding tage gennemsnittet af de to eller flere udførte forsøg og gøre rede for O₂-dannelsen gennem regression, for at kunne sammenligne de to forsøg.

4.2 Tidsramme

Selve tidsrammen for forsøget vil alt efter hvor mange gange, forsøget gentages, variere. Men som udgangspunkt vil det tage fire dage. Og hvis hypotesen ikke kan bekræftes, hvis der ingen sammenhæng er i de data der fås af resultaterne, vil man efter et par forsøg kunne afkræfte hypotesen. Derudover er det anskaffelsen af cyanobakterier, der indeholder klorofyl d og f, der kan tage længere tid at skaffe, da de som sådan ikke er tilgængelige for privatpersoner og derfor vil kræve mere research.

4.3 Budget

Udgifter	Pris (kr.)	I alt
Iltmålere (2 stk.)	9.000	
Cyanobakterier med klorofyl a og/eller b (omkring 1000 ml.)	1.100	
		10.100
Resterende beløb til køb af cyanobakterier med klorofyl d og evt. f (omkring 300 ml.)	9.900	
		20.000

* Med udgangspunkt i et budget på 20.000 kr. har jeg afsat de resterende penge til køb af cyanobakterierne med klorofyl d og f. Dog formoder jeg, at det ville kunne findes for under det afsatte beløb.

5. Konklusion

Uanset om hypotesen bliver be- eller afkræftet i forsøget, er det oplagt at forske videre. Hvis hypotesen bliver bekræftet, vil man først og fremmest kunne starte et pilotprojekt op, for at afprøve og efterprøve det i en lidt større skala og i det miljø det rigtigt skal bruges i. Yderligere vil en eventuel bekræftet hypotese føre til en større interesse i at forske videre i optimeringen af bioreaktorenes processer. En eventuel afkræftet hypotese er dog heller ikke spildt arbejde og den ville opfordre til en ny forståelse, da hypotesen er bygget op om en teori, der nu er blevet udfordret. Man ville derudover kunne forske yderligere i cyanobakterier og i klorofyl d og f, blot i andre relevante sammenhæng. Blandt andet i udviklingen af lægemidler eller kosttilskud, hvilket man allerede forsker i.¹³

6. Kontakter

Tak til min forskerkontakt Michael Kühl, professor i marine biologi ved Københavns Universitet og tak til min vejleder Lisbeth Haulrig Bertelsen.

7. Litteraturliste

Bøger

Bach, C. F., Bredsdorff, A., Duus, K., Johansen, E., Ranfelt, J., Sanden, E. & Witzke, A. (2010). Energi. I: E. Sanden, A. Witzke, K. Duus & J. Ranfelt (Red.), Alverdens Geografi. GO Forlag.

Tidsskrifter

Behrendt, L., Schrammeyer, V., Qvortrup, K., Lundin, L., Sørensen, S. J., Larkum, A. W. D. & Kühl, M. (2012, juni). Biofilm Growth and Near-Infrared Radiation-Driven Photosynthesis of the Chlorophyll d-Containing Cyanobacterium *Acaryochloris marina*: Microbial ecology. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(11), 3896-3904.

Chen, M. & Blankenship, R. E. (2011, 13. april). Trends in Plant Science: Expanding the solar spectrum used by photosynthesis. *Cell Press*, 16(8), 427-431.

Avisartikler

¹³ Simonsen, 2012. (avisartikel)

Ulrikke Andrea Lysbeck Olsen
Frederiksværk Gymnasium

Biello, D. (2009, 19. august). The Origin of Oxygen in Earth's Atmosphere. Scientific American, Environment. <https://www.scientificamerican.com/article/origin-of-oxygen-in-atmosphere/> (sidst besøgt: 22/10 2020)

Simonsen, T. R.. (2012, 21. december). Danske forskere vil omdanne planters grønkorn til medicinfabrikker. Ingeniøren, Vores fokus. <https://ing.dk/artikel/danske-forskere-vil-omdanne-planter-gronkorn-til-medicinfabrikker-135189> (sidst besøgt: 22/10 2020)

Wittrup, Sanne. (2008, 4. januar). Danske forskere dyrker alger til biobrændstof med kraftværksrøg. Ingeniøren, Vores fokus. <https://ing.dk/artikel/danske-forskere-dyrker-alger-til-biobraendstof-med-kraftvaerksrog-84439> (sidst besøgt: 22/10 2020)

Webside/internetkilde

Anonym. (2019, 9. maj). Hvad Klorofyl er og dens rolle i Fotosyntese. www.greelane.com. <https://www.greelane.com/da/videnskab-tech-math/videnskab/chlorophyll-definition-role-in-photosynthesis-4117432/> (sidst besøgt: 22/10 2020)

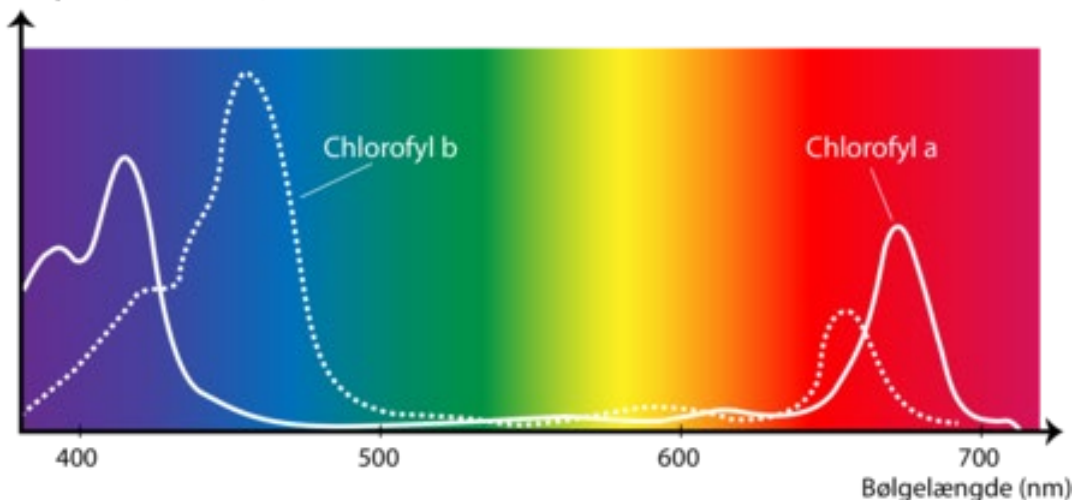
Ingvorsen, C. (2010, 9. maj). Biodiesel fra alger. Experimentarium. <https://www.experimentarium.dk/klima/biodiesel-fra-alger/> (sidst besøgt: 22/10 2020)

Film

Journey to the Microcosmos. (Producer). (2020). How Cyanobacteria Took Over The World [Film]. Journey to the Microcosmos. <https://www.youtube.com/watch?v=ps2GIGs8oso>

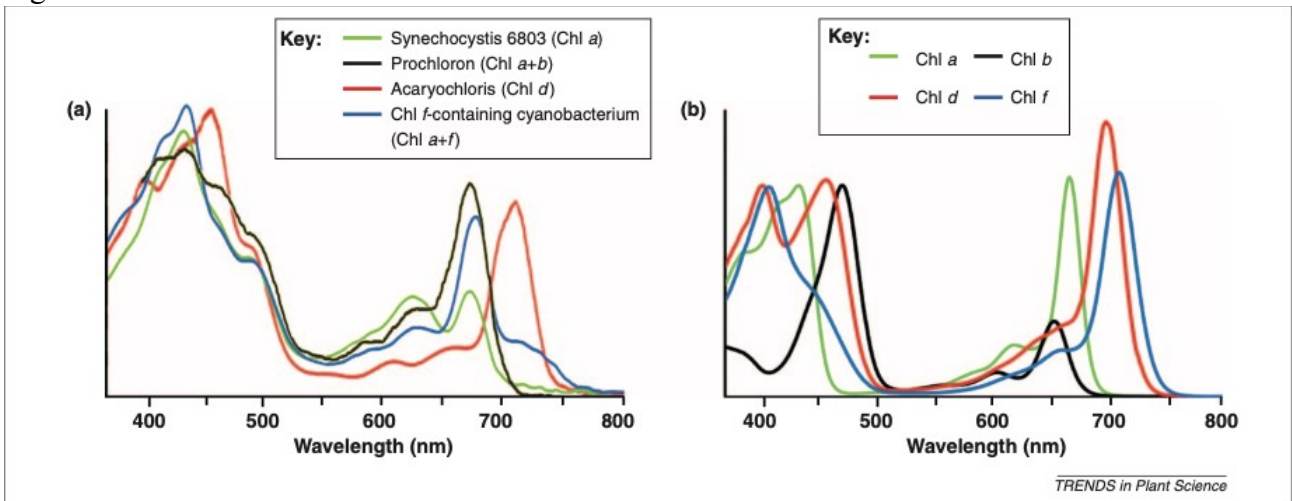
8. Bilag

Figur 1
Absorption (relativ skala)



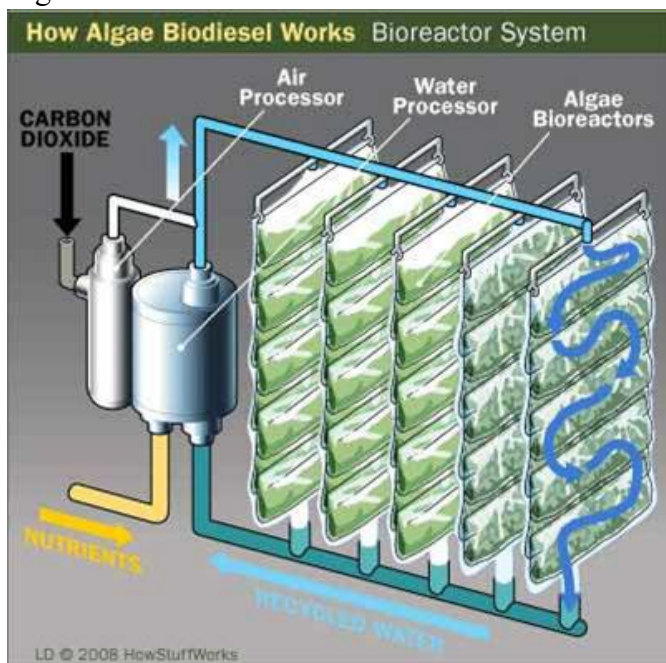
Figur 1: Absorptionsspektrum for klorofyl a og klorofyl b. Kilde: Fotosyntesens biokemi, bioteknologi.systeme.dk

Figur 2



Figur 2: (a) viser *in vivo* absorbtionsspektrum for *Synechocystis*, *Prochloron*, *Acaryochloris* og den ny opdagede klorofyl *f*-indeholdende cyanobakterie. (b) viser *in vitro* absorbtionsspektrum for klorofyl *a*, *b*, *d* og *f*. Kilde: Cell Press, *Trends in Plant Science*, August 2011, Vol. 16, No. 8.

Figur 3



Figur 3: Model over et bioreaktor-anlæg. Kilde: Experimentarium.dk

Figur 4

Udgifter	Pris (kr.)	I alt
Iltmålere (2 stk.)	9.000	
Cyanobakterier med klorofyl a og/eller b (omkring 1000 ml.)	1.100	
		10.100
Resterende beløb til køb af cyanobakterier med klorofyl d og evt. f (omkring 300 ml.)	9.900	
		20.000

Figur 4: Budget for forsøget.