



CHLORELLA VULGARIS

ER MIKROALGER
FREMTIDENS PROTEINKILDE?

Kan mikroalger blive fremtidens proteinkilde?

2. semester - forår 2022

Eksamensgruppenr.: S2224791730
Projekt(arbejds)titel: Kan mikroalger blive fremtidens proteinkilde?
Gruppens medlemmer: Andreas Høeche Nielsen, Caroline Hergot Iversen, Kristoffer Hygum Nielsen, Jonathan Høeg Dahl-Müller, Laura Berg Madsen
Vejleder: Tina-Henriette Kristiansen
Hold: A
Dato: 1. juni 2022

Abstract

In this paper we are researching the possibility for microalgae to be an alternative sustainable protein source, compared to other animal protein. We quickly uncovered that microalgae does have a lot of potential as a sustainable protein source. This is because algae has an incredibly high amount of protein contents and low CO₂ emission. We wondered if there were some technological barriers, since microalgae is not a widespread protein source in our society

The reason why this topic is important is because we are using too many natural resources for food production, especially meat production, which has a large impact on climate change, through high CO₂ emissions. The methods currently used in meat production is not sustainable, with the increasing size of our population, and our ever increasing demand for food. A sustainable alternative is therefore needed if we want to secure our planet's future.

We have used experiential learning to gain hands-on knowledge about algae cultivation by cultivating our own algae. We used algae biology to gain knowledge and an understanding of algae cultivation. We have implemented circular economy theory to make a comparative analysis of two life cycles analysis (LCA), algae and pork production. For our discussion we decided to implement triple bottom line and the leverage point theories, to discuss if microalgae as a protein source can be defined as sustainable and which leverage points were needed for better adaptation and improved sustainability so that microalgae could become a more widespread protein source. We have used the *6-trins modellen* as an analysis tool to analyze the technology behind the different production forms.

Our findings for the project are that algae is a more sustainable protein source production than pork. It is important for the algae production that the parameters for optimal cultivation are done correctly, as well as the harvesting to avoid unnecessary waste in water and biomass. We have found that there are technological barriers, which are that the production has a high energy and water usage, the construction of heterotrophic bioreactors is expensive, which are some of the reasons algae production isn't very profitable. Furthermore, there are barriers in the acceptance from the public due to the organoleptic properties.

Indholdsfortegnelse

Abstract	3
Begrebsafklaring	6
Indledning og problemfelt	8
Problemformulering	12
Arbejdsspørgsmål	12
Afgrænsning	13
Mikroøkonomiske aspekter	13
Andre CO ₂ -tunge fødevarer	13
Semesterbinding	13
Teoriafsnit	14
Experiential learning theory (learning-by-doing)	14
Cirkulær økonomi & Triple Bottom Line	15
Løftepunkter	16
Algebiologi	18
Metodeafsnit	19
Modellering	19
Eksperimentel metode	19
God laboratoriepraksis	20
Komparativ Livscyklusanalyse (LCA)	22
6 Trins modellen	23
Redegørelse	24
Næringsindhold og markedet for spiselige mikroalger	24
Proteins vigtighed	26
Bæredygtighed	27
Lovgivning for nye fødevarer i EU	28
Analyser	29
Forsøg	29
Introduktion og formål for algeforsøg	29
Kultivering af alger	30
Kultivering af Chlorella Vulgaris	32
Bold's Basic Medium (BBM)	32
Optisk Densitet	33
pH-værdi	33
Algevækstens faser	34
Temperatur	34

Forsøgsopstilling	35
Fejlkilder	41
Sen vandtilførsel	41
Centrifugeringsproces	41
Resultater og analyse af forsøg	42
Dag 1-3	42
Dag 3-5	43
Dag 5-7	43
Dag 7-10	43
Delkonklusion	43
Teknologisk analyse af algeproduktion	44
Produktionsformer af mikroalger på industriel skala	44
Åbne kunstige damme	45
Raceway ponds	46
Circular ponds	46
Unstirred ponds	47
Bioreaktorer og fotobioreaktorer	48
Heterotrofisk Kultivering	51
Høstning af alger	55
Spraytørring	55
Biotilgængelighed	56
Delkonklusion	56
Komparativ livscyklusanalyse af proteinkilder	56
Oversigt over livscyklusanalyserne	56
Omfang af livscyklusanalyse i svinekødsproduktion af SEGES	57
Omfang i livscyklusanalyse for algeproduktion af Smetana et al., 2017	58
Systemafgrænsning til sammenligning	58
Cradle-To-Gate Life Cycle Assessment Comparative Analysis	59
Begrebsafklaring til LCA'erne:	60
Livscyklusopgørelse af miljøpåvirkninger (LCI)	60
Livscyklusanalyse - Mikroalger:	62
INPUT:	62
FU1: Kultivering af alger og initial processing	62
FU2: Whole dry microalgae processing og fractionation processing	62
FU3: Transport	63
Livscyklusanalyse - Svinekødsproduktion:	63
INPUT:	63
FU2 Smågrise	64
FU3 Slagtesvin	65
FU4 Transport	65
FU5 Slagteriet	65
Delkonklusion	66
Diskussion	67

Den økonomiske bundlinje	69
Den sociale bundlinje	70
Den miljømæssige bundlinje	70
Konklusion	72
Litteraturliste	74

Begrebsafklaring

- Makro-/Mikroalger

Alger er en levende organisme, og kan differentieres i to kategorier i forhold til deres størrelse. Dette er henholdsvis i makro og mikro.

Makroalger: Kaldes også tang, og er flercellede organismer.

Mikroalger: Encellede organismer (Khan *et al.* 2018)

- Vækstmedier

Er en væske eller et fast stof, som er designet til at understøtte væksten af en mikroorganisme eller celler (Atwood, T. *et al* 2006).

- Enzymer

Enzymer er stoffer, der agere som en katalysator i de kemiske reaktioner, som indgår i nedbrydningen af forskellige stoffer i kroppen. Vi som mennesker bruger dem f.eks. til at nedbryde fødevarer i kroppen (Atwood, T. *et al* 2006).

- Organoleptiske egenskaber

Organoleptisk egenskaber er de aspekter af mad og drikke, der skaber en påvirkning af ens sanser - såsom smag, lugt, syn, følesansen (Yi, J. *et al* 2015).

- Overshoot Day

Overshoot Day er en beregning for, hvornår lande har opbrugt den mængde ressourcer kloden kan regenerere over et år. Formlen for denne beregning ser således ud:

$$(\text{Verdens biokapacitet} / \text{Verdens økologiske fodaftryk}) \times 365 = \text{Earth Overshoot Day}$$

(*Earth Overshoot Day 2021 Home*, 2022).

- Monokultur

Monokultur er når kun én type af alge bruges i kultiveringen. Dette er for at undgå kontaminering af ens kultivering ved at isolere kulturen fra andre typer af alger, bakterier og andre skadelige stoffer (Hunding, 2012).

- Akvakultur

Akvakultur er en beskrivelse for alt, som bliver dyrket i vand såsom fisk, krebsdyr, snegle og vandplanter (Akvakultur, n.d.).

- Algekultur

Algekultur er en kategori af akvakultur med en fokus på dyrkningen af mikro/makro-alger (Praveen, 2022).

- Lag fase

Lag fasen er en betegnelse for at en alge er klar til at blive dyrket, men mangler de nødvendige næringsstoffer til at gro (Cruz, Y. R. 2018).

- Log fase

Log fasen er en betegnelse for en alge, der er i gang med at gro. I denne fase har den forøget proteinindhold (ibid).

- Stationary fase

En stationær fase er når algen ikke længere har flere næringsstoffer at optage, og vil derfor begynde at bruge de proteiner og vitaminer den har dyrket i log fasen for at overleve (ibid).

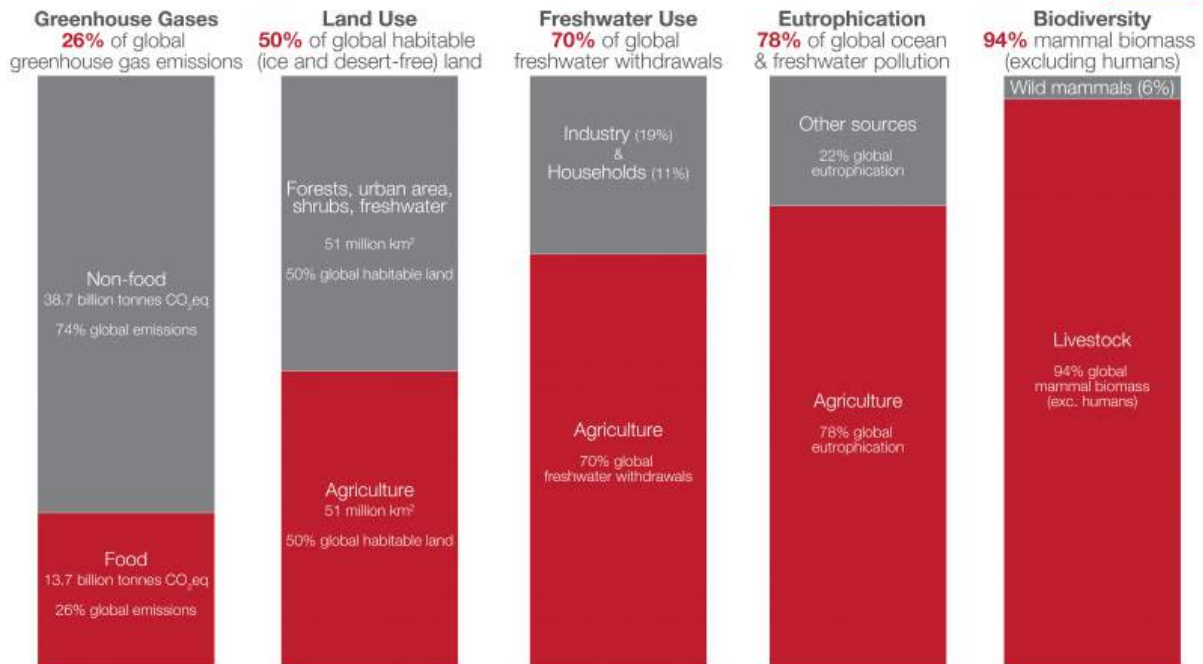
Indledning og problemfelt

Dette projekt er motiveret ud fra en tese om at mikroalgers høje proteinindhold kunne blive et bedre og mere bæredygtigt alternativ til de animalske produkter der i dag konsumeres. Vores motivation ligger derfor i at undersøge hvilke muligheder teknologiske barrierer indenfor mikroalge kultivering, idet vi netop finder det paradoksalt, at der ikke produceres flere mikroalger på nuværende tidspunkt, grundet de mange potentielle sundhedsmæssige fordele der forekommer.

Problemet ligger i at den nuværende vestlige kost kræver enorme mængder jord, vand og energi. De animalske fødevarer er stærkt forurenende og bidrager væsentlig til klimaforandringer. At levere nærende mad til en stadigt voksende global befolkning, med stigende efterspørgsel pr. indbygger, skubber det den nuværende fødevarerproduktionssystem ud over dets grænser (Moomaw, W., & Tzachor, A. 2017).

Earth Overshoot Day er den dag, hvor verdens befolkning har brugt alle de naturlige ressourcer som Jorden kan nå at regenerere på et år (*About*, 2022). I 2022 var Danmarks Overshoot Day den 26. marts (WWF, 2022). Det ville være optimalt, hvis den dag lå tættere på den 31. december, således at alle ressourcerne kunne blive regenereret, og derfor skabe balance. Klimaforandringer opstår primært grundet overforbrug, idet Jordens befolkning udleder mere CO₂ end naturen kan nå at optage. Andre effekter er skovrydning og forværring af biodiversiteten (*About*, 2022).

What are the environmental impacts of food and agriculture?



Data sources: Poore & Nemecek (2018); UN FAO; UN AQUASTAT; Bar-On et al. (2018).
OurWorldinData.org - Research and data to make progress against the world's largest problems.

Licensed under CC BY by the author Hannah Ritchie.

(Ritchie, H. 2020)

Grafen ovenover visualiserer nogle af de større indvirkninger som fødevarerindustrien har på vores globale klima. Produktionen af fødevarer udleder over en fjerdedel af drivhusgasserne globalt set.

Den fødevarer sektor som udleder flest drivhusgasser er den animalske produktion; herunder er landbrugsdyr, fisk og skaldyr. Produktionen af animalske fødevarer udleder drivhusgasser på forskellig vis. For eksempel producerer køer metan. Oprettelsen af landbrugsarealer kan også føre til skovrydning, hvilket reducerer mængden af CO₂, der bliver optaget af naturen. (Ritchie, H. 2020)

Derfor er der et potentielt grundlag for, at vi har brug for, at plantebaserede proteiner bliver vores primære proteinkilde således at, de miljømæssige problemer vi står overfor på grund af det høje overforbrug, kan blive tacklet (ibid.).

Mikroalger er interessante, idet de potentielt set kunne være en mere bæredygtig fødevarer end andre proteinkilder. For eksempel vokser mikroalger 10 gange hurtigere end landplanter, og bruger kun en tiendedel af den mængde areal som landplanter bruger for at producere en

tilsvarende mængde biomasse, hvilket skaber et mindre ressourcospild (Kite-Powell, J. 2018). Alger har ikke brug for agerjord og konkurrerer derfor ikke med andre afgrøder om landareal, hvilket potentielt set kunne give plads til skove, som kan øge mængden af CO₂ der bliver optaget (ibid).

Alger trives godt i spildevand, idet vandet er fyldt med næringsstoffer som algerne kan bruge som gødning til at vokse og ydermere vil algerne kunne rense spildevandet fra giftstoffer som nitrogen og fosfor (Mandal, S., & Mallick, N. 2014).

Alger er en vigtig fødekilde derfor bliver de ofte omtalt som superfood - hvilket vil sige at de har et højt næringsindhold, og giver algerne en fordel i forhold til andre proteinkilder. Udover protein, forekommer der også essentielle mineraler og vitaminer (Jung, F., Krüger-Genge, A., Waldeck, P., & Küpper, J. H. 2019).

I denne opgave vil vi bruge experiential learning theory til at få en hands-on viden om kultivering af alger ved at kultivere vores egne alger. Vi anvender også alge biologi til at få forståelse for algekultivering. Vi vil også bruge cirkulær økonomi teori til at udarbejde en komparativ livscyklusanalyse mellem algeproduktion og produktion af slagtesvin for at finde frem til essentielle løftepunkter indenfor algeproduktion. Vi vil bruge metoden modellering til at illustrere og forklare teknologien. Vi anvender også 6-trins modellen som et analyseværktøj til at analysere de forskellige alge produktionsformer.

Problemformulering

I hvilken grad har mikroalger mulighed for at blive en bæredygtig proteinkilde, og hvilke teknologiske barrierer forekommer der ved algeproduktion?

Arbejdsspørgsmål

1. Hvorfor har mikroalger mulighed for at være fremtidens proteinkilde?
2. Hvorfor er proteiner vigtigt for kroppen?
3. Hvad er mikroalger og hvordan kultiveres de?
4. Hvilke teknologiske processer indgår der inden for produktion af mikroalger og hvilke teknologiske barrierer og utilsigtede effekter er der ved produktionen?
5. Er algeproduktion mere klimavenlig end andre proteinkilder?
6. Hvilke mulige løft punkter forekommer der for mikroalgens implementering som proteinkilde?

Afgrænsning

Mikroøkonomiske aspekter

Vi har valgt at afgrænse os fra det mikroøkonomiske aspekt i algeproduktion såsom udregninger i form af enhedspris, produktionspris osv. Vi vil dog ikke afgrænse os fra at redegøre for makroøkonomiske aspekter såsom markedets størrelse. Projektet vil fokusere på de teknologiske muligheder og barrierer på industriel skala.

Andre CO₂ -tunge fødevarer

Vi har valgt at afgrænse os for andre CO₂ tunge fødevarer men at fokusere på Svinekødsproduktion. Projektet vil inkludere en sammenligning af industrielt svinekødsproduktion og algeproduktion i form af en komparativ livscyklusanalyse. Svinekødsproduktionen tilvalgt til den komparative analyse er grundet danskernes høje forbrug af svin (*Danmarks Statistik*, 2020), på trods af at oksekødsproduktion er den fødevarerindustri, der producerer mest CO₂ pr. 100g protein (Poore & Nemecek, 2018).

Semesterbinding

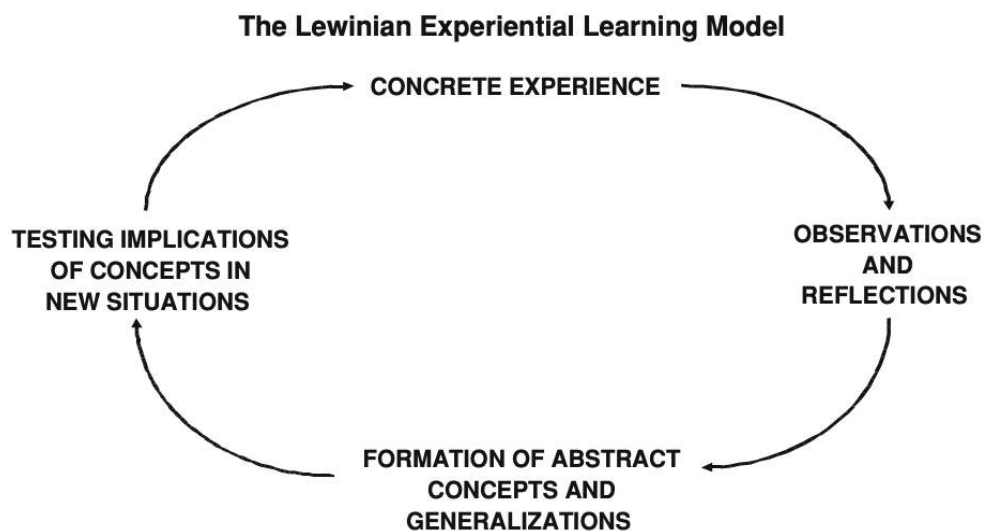
Vi har valgt, at projektet skal fæstnes i dimensionerne Teknologiske systemer og artefakter (TSA) og Design og konstruktion (D&K). Dette semesters fokus er TSA, hvilket vores projekt, derfor vil have et primært fokus på. Projektets omfang vil have et bioteknologisk fokus på algekultivering. Til TSA dimensionen vil vi benytte 6 TRIN's modellen til at få en bedre forståelse af teknologien, således at der kan identificeres hvilke utilsigtede effekter og teknologiske barrierer der forekommer ved teknologien bag algeproduktion samt hvorfor denne ikke er mere udbredt. Design og konstruktion er projektets andet fag, hvilket er grundet projektgruppens motivation for en dybere forståelse af algekultivering og dets processer. Den eksperimentelle metode skal understøtte vores konstruktion af algeforsøget, hvilket samtidig kan bidrage til forståelse af kultiveringen ved også at modellere visuelle flowcharts for processerne. Med formålet at bruge D&K og TSA dimensionerne, kan der udarbejdes en livscyklusanalyse, hvilket skal danne grundlag for en grundlæggende miljømæssig designevaluering ud fra produktionsteknologierne, hvori der vil kunne identificeres

løftepunkter i henhold til problemstillingen. Dette vil skabe et analytisk grundlag for diskussionen.

Teoriafsnit

Experiential learning theory (learning-by-doing)

Experiential learning theory er en teori af David Allen Kolb. Denne teori har han opbygget gennem tre filosofers tanker, herunder; John Dewey, Kurt Lewin og Jean Piaget. I hans bog “Experiential learning, experience as the source of learning and development!, mener Kolb at *“Learning is the process whereby knowledge is created through the transformation of experience”* (Kolb, S. 38 1983). Dette er udgangspunktet for laboratorieforsøget og fremstillingen af alger, idet gruppen kan opnå en bedre forståelse af teknologien. Dette sker ved at bruge vor egne hænder, hvilket derefter skaber rammer for at kunne reflektere over denne læringsproces samt vigtigste fund ved udarbejdning af forsøget. Der er tre modeller tilknyttet denne teori, som er lavet af de 3 ovennævnte filosoffer. Vi har valgt at bruge den ene model: “the Lewinian model”, da dette ville være fyldestgørende nok for vores forsøg. Normalt ville disse 3 modeller bruges sammen til at forklare denne læringsteori.



The Lewinian Experiential Learning Model, Kolb, 1983

I denne model ses det at, ved brug af experimental læring, gennemgår man fire forskellige faser. I det øverste stadie tilegner man sig konkret erfaring, hvorledes det primære fokus er på selve oplevelsen. Dette er eksempelvis hvor en person oplever noget for første gang eller

prøver andres oplevelser for at genfortolke deres oplevelse til ens egen. Det næste stadie er observationer og refleksioner. Her vil fokus være at reflektere over den erfaring du har fået fra det første stadie, hvilket i dette projekts tilfælde var, da vi fik udleveret en guide til, hvordan man kultiverer alger af vores algevejleder. I dette stadie er det essentielt for læringsprocessen at reflektere over erfaringerne. Det tredje stadie kan kaldes en abstrakt konceptualisering, hvilket betyder en afvejning af hvilke refleksioner og overvejelser der er vigtige for læringsprocessen og projektet. Dette bliver ofte støttet af andre teorier eller empiri. I dette tilfælde kunne det være at identificere de teknologiske barrierer og overveje, potentielle løsninger. Det fjerde stadie er det eksperimenterende stadie. Her er det muligt at afprøve ting igen. Eksempelvis at gro alger igen og implementere de ideer eller løsninger som gruppen kom frem til. På den måde gentager cirklen sig igen ved at stadie fire bliver til stadie 1, da en ny erfaring starter (Mcpheat, 2021). Denne iterative læringsproces er derfor optimal, idet at den er fleksibel ud fra tidsrammer og der kan tilegnes konkret viden. Den eksperimentelle metodes anvendelse vil blive uddybet i metodeafsnittet.

Cirkulær økonomi & Triple Bottom Line

Der er en generel enighed om at forfatterne af bogen “Cradle to Cradle” af arkitekten William McDonough og kemikeren Michael Braungart er mændene bag teorien og principperne for cirkulær økonomi (Wautellet, 2018). Principperne opstod som kritik af tankegangen om den industrielle lineære økonomi, idet de mener at tankegangen bag den lineære økonomi ikke er bæredygtig, og der derfor må ske en ændring i systemet.

Teorien om cirkulær økonomi blev formet ud fra en blanding af teorierne om b.l.a. disse bæredygtige designmetoder (Design for Sustainability (DfS)): Biomimicry, Blue economy og Cradle to Cradle (ibid). Principperne bag cirkulær økonomi er, at alt produktion skal gå i cirkel. Alt hvad der bliver brugt og produceret skal genbruges igen, og på den måde får et produkt en længere levetid. Så når et givent produkt ikke opfylder dets formål mere, genbruges alt hvad der er muligt fra dette produkt. Derfor mindskes udnyttelsen af finite ressourcer, da det ikke vil være bæredygtigt i længden (*Den cirkulære økonomi: Definition, betydning og fordele | Nyheder | Europa-Parlamentet, 2022*).

I forlængelse af teorien om cirkulær økonomi er teorien om Triple Bottom Line (TBL) opstået.

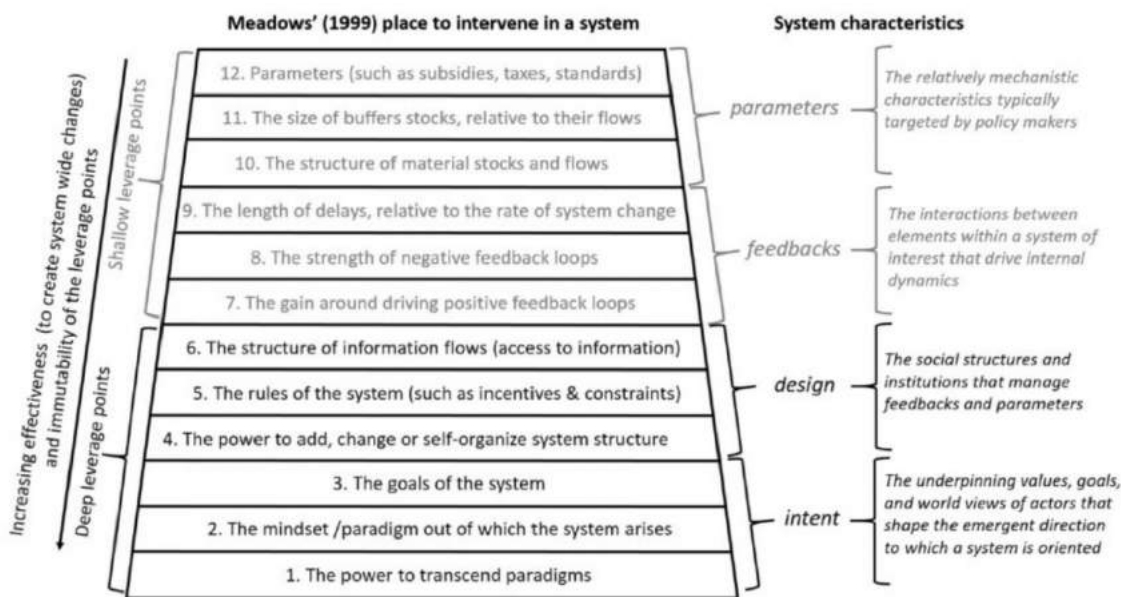
Inden for designtænkning findes der en strategi for at vurdere systemers miljømæssige påvirkning, som er kaldet Triple Bottom Line (TBL). Denne metode dækker over hvorvidt et system helt overordnet set på bundlinjen er en bæredygtig teknologi, og fæstnes i teorien om cirkulær økonomi. Triple Bottom Line er teori udarbejdet af bæredygtighedskonsulent John Elkington, hvorved han har opstillet tre spørgsmål, som kan gå fra det overordnede til det komplekse. Disse spørgsmål dækker over den sociale (people), miljømæssige (planet) og økonomiske bundlinje (profit) (The Economist, 2009). Disse nedenstående parametre vil danne grundlag for vores diskussion om hvorvidt alger er en mere bæredygtig proteinkilde;

- Hvordan vil de forskellige beslutninger have indflydelse på mennesker? (tilgængelighed, inklusion, ligestilling og social retfærdighed)
- Hvilke effekter vil disse beslutninger have på planeten? (miljøet, ressourcer, klimaet)
- Er indsatsen økonomisk, social og miljømæssigt bæredygtigt (profit)

Løftepunkter

Donella Meadows, amerikansk miljøforsker, udarbejdede teorien om løftepunkter, som første gang i 1997 blev publiceret. Teorien dækker over, hvor i systemer der kan interveneres og lave ændringer. Meadows beskriver disse løftepunkter som magiske og magtfulde punkter, hvor det ikke kun er ting man ønsker at finde og definere, men også analysere hvorledes man kan skabe en ændring med dem.

Det der gør løftepunkter effektive er ikke at finde dem, men at finde ud af hvilken retning de skal skubbes i (Meadows, D. M., 2012). Nedenfor er en liste af eksempler på steder at intervenere i et system:



<http://donellameadows.org/archives/leverage-points-places-to-intervene-in-a-system/>

Meadow's (1999) place to intervene in a system, Meadows, D. M., 2012)

Modellen ovenfor er delt op i *systemkarakteristika* og *dybe- og overfladiske* løftepunkter, som defineres ud fra hvor effektivt løftepunkterne kan ændre systemet, og hvor meget arbejde som står bag at disse ændringer kan realiseres.

Herunder ses eksempler på overordnede systemkarakteristika for hvor man kan intervenere i et system, og som skal forstås ligestillet med ovenstående overordnede model for løftepunkterne:

Parameters	Constants, parameters, numbers	<i>Average fuel consumption of a car</i>
	Size of buffer stocks, relative to flows	<i>Amount of total standing timber in a production forest</i>
	Structure of material stocks and flows	<i>Run-off dynamics of nutrients from agricultural fields into adjacent water bodies</i>
Feedbacks	Length of delays, relative to rate of system change	<i>Time it takes for the ozone hole to close after harmful emissions cease</i>
	Strength of negative feedback loops	<i>The extent to which a lake can absorb nutrients and thus remain clear</i>
	Gain around positive feedback loops	<i>The extent to which poverty leads to population growth, which may further exacerbate poverty</i>
Design	Structure of information flows	<i>Consumer knowledge about where certain products come from</i>
	Rules of the system (incentives, constraints)	<i>Policies governing natural resources, including among others taxes and regulations</i>
	Power to change system structure or self-organize	<i>Ability of farmers to organize the sustainable use of a communal pasture</i>
Intent	Goals of the system	<i>Organization of global institutions to support free trade versus global equity</i>
	Paradigm underpinning the system	<i>A 'green revolution' paradigm underpinning agricultural policies</i>
	Power to transcend paradigms	<i>The conscious shift from a growth-based economy growth to a steady-state economy</i>

Fischer et al (2010). A leverage points perspective on sustainability. *Policy and Nature*. Volume: 1 Issue: 1 Pages: 116-120. First published: 31 January 2010. DOI: 10.1002/pnan.3131

Teorien om løftepunkterne vil skabe rammer for diskussionen af hvor, hvordan og hvorvidt produktionsformerne for mikroalger er en mere klimavenlig proteinkilde for fremtiden.

Algebiologi

Alger er organismer der bruger fotosyntese. De gror i akvatiske økosystemer, såsom søer, have, åer osv. De kan gro i mange forskellige miljø - forskellige temperaturer, pH, saltindhold og de kan gro i symbiose med andre organismer (Khan *et al.* 2018).

Alger kan deles op i to kategorier efter deres størrelse: makro- og mikroalger. Vi har valgt at fokusere på mikroalger, da de har et højt protein indhold og højt indhold af andre næringsstoffer (ibid).

Makroalger som vi i daglig tale kalder tang, er et flercellet organisme, nogle af dem er kvalificeret som planter for eksempel rød og grøn alger mens andre makroalger er i *Stramenopila* eller *Chromista* riget for eksempel gulalger, brunalger, det vil sige at de er lavet af organismer der er plantelignende uden at være del af planteriget (ibid).

Mikroalger er kun mikroskopiske encellede organismer, vi skal derfor bruge et mikroskop til at se dem. Mikroalger er ikke klassificeret som planter, men *Stramenopila* eller *Chromista* (ibid). Nogle cyanobakterier bliver også nævnt som alger selvom de teknisk set ikke er alger, et kendt eksempel er spirulina. I denne opgave skelner vi ikke mellem mikroalger og cyanobakterier, men samler dem i en gruppe vi kalder mikroalger da de har meget ens egenskaber. Som sagt bruger alger fotosyntese og mikroalger producere ca. halvdelen af den atmosfæriske oxygen og optager samtidigt CO₂ til at gro (Parker *et al* 2008). Biodiversitet af mikroalger er enorm og der er en meget ubrugt ressource. Det er estimeret at, der findes 200,000-800,000 arter hvor kun 50,000 er blev beskrevet (*Alger er fremtidens bæredygtige superafgrøde*, K. Sjøgren, 2015)

Den mikroalge som vi har kultiveret hedder *Chlorella Vulgaris*. *Chlorella* er en grøn mikroalge og den bliver normalt produceret som kosttilskud eller proteinrig tilsætningsstof (Panahi, Y. *et al*, 2015).

En anden problematik ved algens biologi er at vi mennesker kan ikke optage algens protein naturligt (Bleakley & Hayes, 2017), da vi ikke har de nødvendige enzymer for at nedbryde cellevæggen på proteinet, og derfor kan vi ikke optage proteinet. Det er derfor nødvendigt for implementeringen at kende til metoder til at nedbryde cellevæggene, således at, mennesker kan få adgang til proteinet. Udover proteinet er der også andre vitaminer mennesker kan få igennem alger som vi skal være opmærksomme på.

Metodeafsnit

Modellering

Modellering er en metode fra TSA hvor man bruger modeller til repræsentere en teknologi for at opnå en bedre forståelse, forklare eller forudsige en teknologiske processer. En model er en abstraktion, hvilket vil sige at, de forsimples og fremhæver aspekter af en teknologi for eksempel. Der er tre forskellige former for modeller: visuelle, fysiske og numeriske modeller (Christensen, T. B. 2021).

Vi ønsker at benytte os af modellering til at reducere kompleksiteten af vores arbejdsprocesser, således at vi kan formidle vores arbejdsmetoder hurtigere og simplere. Vi har med formål at benytte os af flere forskellige typer af modeller til at formidle vores data og arbejdsmetode, som f.eks. flowcharts, værdikæde og datasheets. Vi ønsker at fremstille et flowchart over algekultiveringsprocessen fra start til slut, for at visualisere hele det teknologiske system og proces (ibid).

Eksperimentel metode

Vi har også valgt at bruge den eksperimentelle metode i sammenhæng med Kolbs teori om experiential learning, denne metode har vi valgt at bruge i form af et laboratorieforsøg. Ved brug af denne metode er vi gået i gang med at producere vores egen algekultur. Dette har vi valgt at gøre kvantitativt, da vi gerne vil undersøge det teknologiske system bag, hvordan det bliver kultiveret og derfor vil vi gerne finde nogle af de teknologiske problemer og muligheder ved algedyrkning. Disse faktorer har vi kunne undersøge ved hjælp af den

eksperimentelle metode. Biologiske laboratorieforsøg vil være baseret på en teori og hypotese, ellers vil der ikke være nogen grund til at foretage eksperimentet. Vi ville opstarte dette forsøg for at opnå en bedre forståelse for algekultivering, inden for algebiologi og konstruering. Dette er med henblik på bedre at kunne identificere fejlkilder og succeskriterier ved konstruktionen.

Vi har også skulle overveje designet for vores eksperiment, her har vi valgt at bruge det som kaldes "Det ægte eksperiment" (*Eksperimenter*. n.d.). Her vælges det at have fuld kontrol over de forskellige variabler som PH-værdi og medium. Ved at udføre vores eksperiment med fuld kontrol over variablerne, vil vores alger være mest sammenlignelige med de alger, som bliver kultiveret i den danske alge industri. Igennem de 2 uger vi kultiverede alger har vi optimeret vores dataindsamling, ved at undersøge algerne cirka hver anden dag i et spektrofotometer, således at vi kan følge med i vores algekulturs vækst. Denne teknologi bliver forklaret i forsøgsafsnittet. Ved at bruge den eksperimentelle metode i sammenhæng med Kolbs teori fået en bedre forståelse for, hvordan en alge ved fotoautotrofisk kultiveringsmetode fungerer.

God laboratoriepraksis

God laboratoriepraksis eller GLP er en metode som er blevet udviklet og efterfølgende standardiseret af Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). OECD udgav i 1980'erne en GLP-manual, som sikrede en sikker og velfungerende metode for, hvordan vores forsøg skulle tilgås i et laboratorium. På denne måde opnås der en harmonisering af forsøg og data fra de forsøg der bliver udført. Det handler om, hvordan man gennem god laboratoriepraksis kan sikre at, kvaliteten og sikkerheden er i front når der tales om forsøg i laboratorier eller andre former af tests (OECD, 1998). Denne metode er veloplagt og fungerer i god sammenhæng med den eksperimentelle metode, som vi tidligere har beskrevet i afsnittet.

I vores forsøg er det vigtigt at vi har en god laboratoriepraksis, da vi arbejder med alger som til sidst skal blive til en fødevarer. Under vores kultiveringsproces er det vigtigt at vores kultur ikke bliver kontamineret. Skulle vores kultur gå hen at blive kontamineret under kultiveringsprocessen vil det skade vores data. Vi ville kunne se en højere optisk densitet, hvis vores kultur bliver fyldt med bakterier. Derfor er det vigtigt at vi altid har rene laboratoriefasker på, så

bakterier udefra ikke kommer ind i kultiveringsrummet. For yderligere sikring af kontaminering, placerede vi vores kultur på dens egen hylde med dens eget luftindtag. På denne måde kunne vi sikre at andre algekulturer, ikke kontaminere vores alge kultur. Ved at tage højde for disse faktorer kan vi sikre os at, vores eksperiment vil kunne fremstilles på præcis samme måde. Hvis vi ville arbejde iterativt og fremstille samme eksperiment for at se forskellen. Det er vigtigt at se på at vores eksperiment i den forstand, at det ikke er egnet til fremstilling af storproduktion. Men som en form for test produktion og dermed få en bedre forståelse for teknologien.



Kultivering af chlorella i AlgeLab, egne arkiver, 2022

Da ingen fra vores gruppe har stor erfaring med laboratoriepraksis fik vi en kort introduktion af Praveen fra AlgeLab RUC om, hvordan vi skulle holde god laboratorieskik, imens vi var i laboratoriet for at starte kultiveringseksperimentet. Vi efterlodte vores ejendele uden for laboratoriet, så ingen væltede over det. Spise og drikkevarer bliver også ude, da det kan kontaminere algerne. Inde i laboratoriet findes der mange forskelligt værktøj, kolber og

instrumenter som alle skal være sterile, så der kan sikres kvalitets resultater. Derfor er det også vigtigt at vi altid spritter vores hænder af før vi startede vores eksperiment i laboratoriet. andre gode GLP'er for at sikre et kontamineringsfrit resultat, er ved at tjekke hvert et laboratorieredskab inden brug. Alt laboratorieudstyr bør vaskes inden brug.

Komparativ Livscyklusanalyse (LCA)

Livscyklusanalyse herfra referet til som LCA, er en analyseteknik brugt til at vurdere miljømæssige aspekter ved at analysere det for forskellige miljøfokuserede perspektiver. Eksempler på dette er følgende:

- En samling af relevante inputs og outputs i produktets system
- Evaluere potentielle miljømæssige indvirkninger som er associeret med inputs og outputs
- Fortolke resultaterne af analysen og hvilken indvirkning det har i relation til de forskellige faser af produktets livscyklus (ISO, 1997)

Vi har valgt at foretage en komparativ analyse af LCA om algeproduktion og produktionen af slagtesvin, for at sammenligne og kontrastere de to proteinproduktioner. Vi kan således konkludere på hvilken produktionsform er bedst for miljøet i forhold til proteinproduktion.

I LCA'er er det essentielt at opstille konkrete systemafgrænsninger således at der kan opstilles en retfærdig analyse. Det bør understreges at der ikke er blevet opstillet standardiseret formel for hvorledes en komparativ LCA bør fremstilles. Vi kommer primært til at benytte os af de systemafgrænsninger som der er opsat i LCA'erne, yderligere kan vi tilføje eller ændre systemafgrænsninger, såfremt det frembringer en bedre og retfærdigt komparativ analyse af LCA'erne.

Vi vil udforme en LCA og miljøvurdere ud fra cirkulære økonomiske principper inden for systemtænkning. Teorien om cirkulær økonomi er altså hvad der vil være udgangspunktet for vores miljøvurdering med fokus på svineproduktion og algeproduktion. De to vigtigste elementer inden for livscyklusvurderinger er *helhedsvurdering* og *forbedringsmuligheder* (Kjær, 2021).

Helhedsvurderingen har vi afgrænset til relevante og potentielle miljøeffekter inden for systemet; herunder afgrænset cradle-to-gate. Cradle-to-gate betyder at vi udelukket analyserer produktet fra produktionens start til produktet er fremstillet og klar til at blive solgt.

Forbedringsmulighederne vil være en vurdering af hvilke muligheder der er for at reducere de potentielle miljøeffekter gennem eksempelvis ændringer af de anvendte teknologier. I vores LCA vil vi analysere os frem til essentielle løftepunkter indenfor algeproduktion og diskutere dem, sat overfor vores vigtigste fund fra vores teknologiske analyse af produktionsformerne indenfor mikroalger ved hjælp af 6 TRINs-modellen.

6 Trins modellen

6 trins modellen er hverken en metode eller en teori, derfor skriver vi om, hvordan vi vil bruge den i dette afsnit. Vi vælger at bruge modellen som et værktøj til at analysere de forskellige produktionsmetoder til at kultiverer alger, samt et hjælpeværktøj til at forklare LCA.

Trin 1 - I det første trin af 6 TRIN-modellen fokuseres der på teknologiens formål, altså hvad den kan. Teknologiens indre mekanismer og processer er i fokus, i det første trin, disse mekanismer er årsagen til at teknologien kan opnå sit formål (Jørgensen, N. 2018).

Trin 2 - I det andet trin analyseres de teknologiske artefakter i systemet. Artefakter er den teknologi, som sammen skaber de indre mekanismer og processer og dermed skaber funktionen i teknologien (ibid).

Trin 3 - I det tredje trin overvejes , hvilke utilsigtede effekter en teknologi kan have, disse effekter vil være negative. Der er forskellige typer af utilsigtede effekter, dem som skabes af risici, disse kommer ofte af økonomiske årsager eller designfejl. Den anden type er den slags utilsigtede effekter, som er en del af teknologien og derfor er vedvarende (ibid).

Trin 4 - Det fjerde trin omhandler teknologiens system. Systemet er opbygget af artefakterne som bliver beskrevet under trin 2. Når de artefakter fungerer i tandem skaber det systemet, som opfylder menneskelige behov, hvilket teknologien er skabt til (ibid).

Trin 5 - Det femte trin handler om modeller. Modeller kan fremstilles på mange forskellige måder, det kan være fysiske, numeriske og visuelle. Modeller bliver ofte brugt til at give en bedre forståelse, for specifikke aspekter af den givne teknologi (ibid).

Trin 6 - Det sjette trin fokuserer på innovationen bag teknologien, specifikt barriererne og gennembruds kraften bag. Hvad der stopper eller hjælper teknologien for at bryde igennem, som en standard teknologi i samfundet (ibid).

Trin 1, 2 og 3 vil primært blive brugt under vores teknologi analyse. Dette vælger vi at gøre, fordi disse trin bruges til at forklare algeproduktionens indre mekanismer og processer, samt dets artefakter og hvilke utilsigtede effekter teknologien kan kreerer. Trin 4 og 5 vil blive en del af vores LCA komparativ analyse, trin 4 vil især være et vigtigt element i analysen, da vi analyserer systemerne bag svineproduktion og algeproduktion i Danmark. Trin 5 om modeller bliver brugt flere steder i opgaven, da vi har vurderet, at det visuelle aspekt i dette projekt er en vigtig faktor for en bedre forståelse. Vi vil både bruge det til at illustrerer vores laboratorie forsøg b.la. gennem et flowchart, men også for at give en yderligere forståelse af livscyklusanalyserne. Trin 6 om innovation vil blive brugt i vores diskussion, da vi diskuterer de teknologiske barrierer for teknologien.

Redegørelse

Næringsindhold og markedet for spiselige mikroalger

Spiselige mikroalger har et højt indhold af lipider (fedtstoffer), kulhydrater og protein. I tabellen (1: nutrient compositions in different microalgae species) nedenfor ses næringssammensætningen for *Chlorella Vulgaris* i procent af algens vægt. Fedtstofindholdet er mellem 14-22%, proteinindholdet er 51-58% og kulhydratindholdet er på 12-17% af sammensætningen i mikroalgen (Kusmayadi et al, 2021). Proteinindholdet overgår sojabønners, som kun ligger på de 30-40% af vægten (Fu, Y. et al, 2021).

Omega-3 og 6 andre fedtsyrer er essentielle for menneskers daglige kost, hvori der forekommer signifikante sundhedsmæssige fordele ved indtaget af fedtsyrerne. Eksempler på to omega-3-fedtsyrer er EPA og DHA, som forbedrer hjernefunktionens kort- og langtidshukommelse og mindsker risikoen for hjernerelaterede sygdomme, såsom demens,

depression, bipolare symptomer og lignende lidelser. Dertil kan EPA og DHA reducere inflammation, højt blodtryk og oxidativ stress (ibid). Det primære indtag af både EPA og DHA for mennesker forekommer oftest ved indtagelse af fiskeolie. Ved sammensætningen af fiskeolie forekommer en uønsket tilstedeværelse af lugten af fisk, som gør det svært at bruge i mmandre fødevaremæssige sammenhænge (ibid).

Table 1
Nutrient compositions in different microalgae species.

Microalgae species	Composition (%)			References
	Lipids	Protein	Carbohydrates	
<i>Botryococcus braunii</i>	33	39.61	2.38	Sydney et al. (2010)
<i>Chlorella vulgaris</i>	14–22	51–58	12–17	Wolkers et al. (2011)
<i>Haematococcus pluvialis</i>	15	48	27	Bleakley and Hayes (2017)
<i>Isochrysis galbana</i>	12–14	50–56	10–17	Milledge (2011)
<i>Nannochloropsis</i> sp.	22–31	33–44	8–14	Xu et al. (2004)
<i>Porphyridium cruentum</i>	5.78–7.55	27.7–40.8	22.8–39.3	Fuentes et al. (2000)
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	1.9	47	21–52	VanKrimpen et al. (2013)
<i>Spirulina maxima</i>	6–7	60–71	13–16	Milledge (2011)
<i>Synechococcus</i> sp.	11	63	15	Becker (1994)
<i>Tetraselmis maculata</i>	3	52	15	VanKrimpen et al. (2013)

Table 1: Nutrient compositions in different microalgae species, Kusmayadi et al, 2021

Mikroalgers biomasse anvendes til en række forskellige ting. I figuren (1: bioproducts acquired from algal biomass and their applications) nedenfor ses en række af typiske anvendelser, hvortil i tabellen (bilag 1: the list of human food products containing microalgae as an additive) ses en liste af eksempler på fødevaremæssige anvendelser for mennesker (Kusmayadi et al, 2020). Som det fremgår på listen, så er biomassen oftest tilsat i tørvarer som eksempelvis kiks, pasta, kager etc., hvori formålet oftest ligger i at øge indholdet af protein, kulhydrater, lipider og forbedre aroma, farve, tekstur og smag (ibid).

Chlorella vulgaris har også et højt indhold af pigment, hvilket bruges til kosmetik og som naturligt farvestof til eksempelvis æggeblommer. Der er dertil et højt indhold af klorofyl og antioxidant. Klorofyl indeholder magnesium og kvælstof, hvilket er essentielt for mennesker, Klorofyl og antioxidant hjælper specielt på højt blodtryk og bedring af leverens tilstand samt på mavesår (ibid).

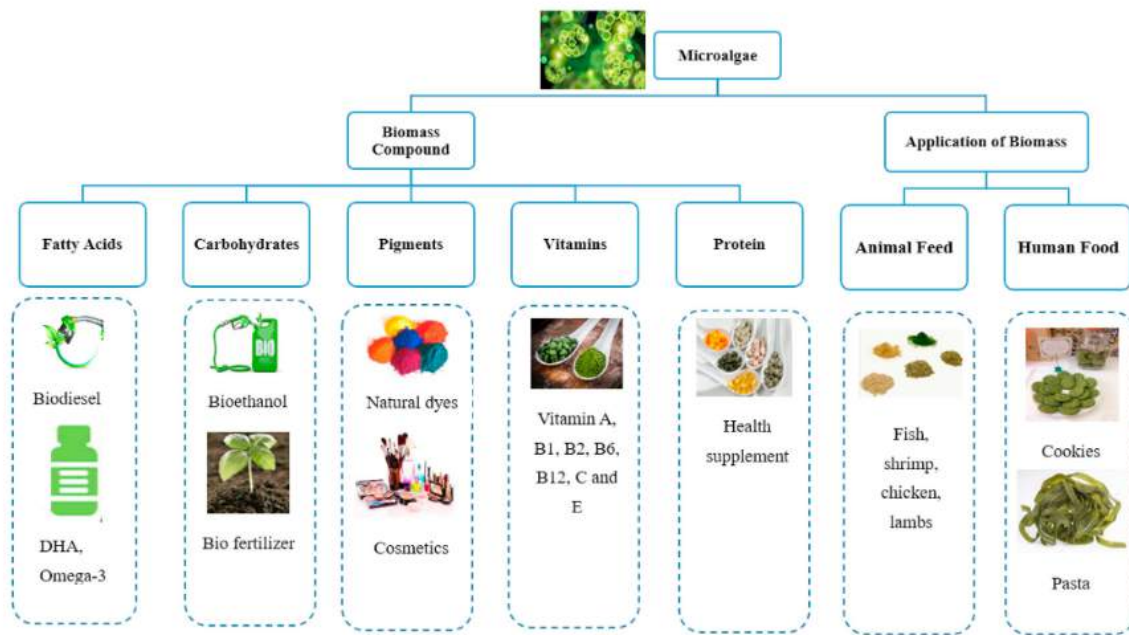


Fig. 1. Bioproducts acquired from algal biomass and their applications.

Fig. 1: Bioproducts acquired from algal biomass and their applications, Kusmayadi et al, 2021

Det fremgår af ovenstående figur, at at chlorella ydermere indeholder vigtige vitaminer såsom vitamin A, B1, B2, B6, B12, C og E. Der er i chlorella vulgaris blevet identificeret et indhold af methylcobalamin (B12) på omkring $28,24 \pm 2 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ tørvægt biomasse (Kumudha, A. et al., 2015). Dette betyder at indholdet af B12 pr 100 g svinger mellem 26,24 til 30,24.

I en prognose udarbejdet af Meticulous Research og European Algae Biomass Association, er der estimeret en global markedsstørrelse på 1,8 milliarder USD, og en compound annual growth rate (CAGR), altså en annualiseret flerårig vækstrate på 10,3% fra 2021 til 2028. Specielt i Europa forventes der den største vækstrate på markedet for mikroalger, grundet den større bevidsthed om næringsstofferne (Transparency Market Research, 2022).

Proteins vigtighed

Der skal være fokus på om den mad, der bliver produceret har nok næring og det er specielt protein, der er en vigtig makronutrient i vores kost udover kulhydrater og fedt. Protein er en del af alle de cellulære processer i menneskekroppen, og fungerer som byggesten for kroppens funktionalitet. Protein er opbygget af aminosyrer, hvilket gør at når vi spiser fødevarer med protein i, nedbrydes protein til aminosyrer som kroppen kan bruge til at omdanne nye proteiner. Det er særligt vigtigt at vores kost indeholder essentielle aminosyrer,

for dem kan kroppen ikke selv syntetisere, så vi kan kun få dem gennem vores kost. Hvis mennesket ikke får nok proteiner, vil det være underernæret (Brosnan, J. T. 2003).

Underernæring er defineret som at mennesket ikke har nok indtag af energi (kulhydrater), protein, essentielle fedtsyrer, mineraler og vitaminer. Det er essentielt for kroppen at få nok næringsstoffer, da kroppens funktionalitet forringes markant, hvis den er underernæret. Dette kan føre i værste tilfælde føre til død (Fantuz, F., Salimei, E., & Papademas, P. 2016).

Protein Energy Malnutrition (PEM) er defineret som et utilsigtet tab på 10 % eller mere af ens kropsvægt i en periode på seks måneder eller at en person har et albuminniveau på mindre end 3,5 gram pr. deciliter. Albumin er et protein der findes i blodets plasma og i vævsvæsker. Albumin bruges som vandbinder i blodbanen og hvis der er et lavt albuminniveau kan det medføre ophobning af vand i kroppen (Gerdes, U. 2021).

Når der ikke er nok proteiner i maden, nedbryder kroppen musklerne for at få protein og derfor forringes muskelmassen, samt de resterende muskler bliver svage. Underernæring begynder derfor at adskille de muskler der er nødvendige for at overleve (Cichero, J. 2015). Ifølge de forenede nationers afdeling for økonomiske og sociale affære er 161 millioner folk dagligt underernæret (*World Hunger: Key Facts and Statistics 2022*, 2022).

Bæredygtighed

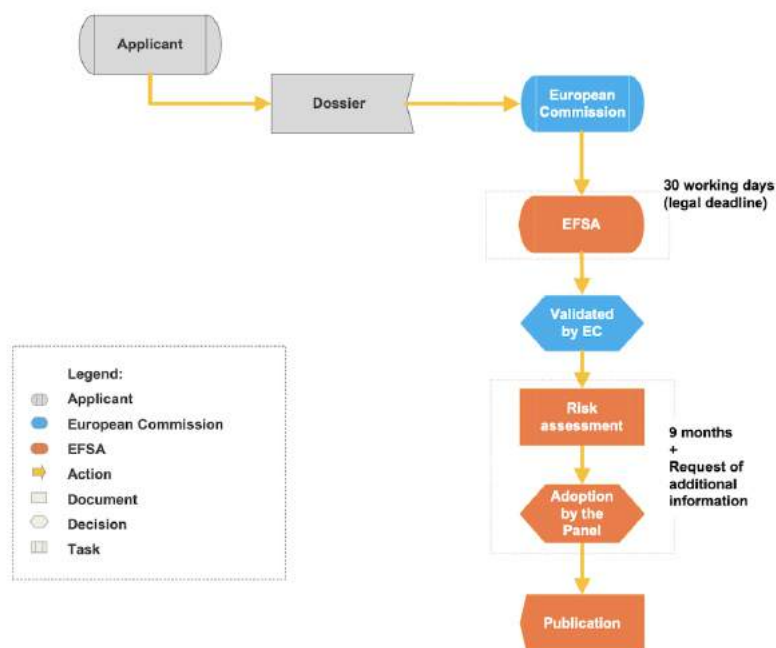
I 1987 udgav FN en rapport der forklarer om, hvordan Jordens CO₂ udslip havde stor effekt på vores klima. FN definerer bæredygtighed således "En bæredygtig udvikling er en udvikling, som opfylder de nuværende behov, uden at bringe fremtidige generationers muligheder for at opfylde deres behov i fare" (FAQ, 2021). Bæredygtighed sætter fokus på miljø, det sociale og det økonomiske. Behovet for et mere bæredygtigt miljø kommer fordi, vi skader Jorden gennem højt ressourceforbrug og CO₂ udslip. Ved udledning af gasser som CO₂ bliver ozonlaget omkring Jorden ødelagt, denne effekt opvarmer Jorden er dermed ødelægges dens naturlige klima. Bæredygtighed er også en overvejelse for, hvordan vi udnytter Jordens ressourcer, som vand eller finite ressourcer. Bruger vi for meget vand kommer der til at være mangel på denne ressource i fremtiden, hvilket vil påvirke de næste generationer.

Social bæredygtighed lægger vægt på menneskeliv, ligestilling og social retfærdighed. I forhold til algekultur handler det om hvorvidt vi får de rigtige vitaminer, proteiner og mineraler som vores krop har behov for. Dette er vigtigt for at der kan opretholdes en god folkesundhed. Økonomisk bæredygtighed stræber efter, at bruge kapital til mere fremtidsorienteret projekter, for at sikre en god vækst for fremtiden. Derudover skal det også forsøge at skabe mere miljøvenlige produktionsformer samt bedre genanvendelighed (DAC, 2019).

Lovgivning for nye fødevarer i EU

Hvis vi skal have et overblik over, hvordan alger kan blive en fremtidig mad, må vi kigge på hvilke juridiske barrierer, som kunne holde algers implementering på markedet tilbage. Vi har valgt at tage udgangspunkt i EU's fødevarerlovgivning, og afgrænset os resten af verden, fordi vi har fokus på Danmark. Alger som fødevarer er det som kategoriseres som en "Novel Food". EU-kommissionen beskriver novel foods som mad, der ikke er blevet konsumeret i høj grad af mennesker før 1997 og en mad som er lavet på nyopfundet teknologi eller traditionelt i ikke-EU lande (*Novel Food*, n.d.).

Alger som chlorella og spirulina går under kategorien novel foods, fordi det er en ny mad i Europa. Dette har haft betydning for, hvorfor implementeringen af alger som fødevarer på det europæiske markedet går relativt langsomt. Hvis en fødevarer bliver kvalificeret som novel food, skal det igennem en masse undersøgelser og tests for at, det kan blive solgt. Hvorvidt novel foods kan komme på markedet er en risikovurdering fra EFSA (Den Europæiske Fødevarsikkerhedsautoritet). Under en risikovurdering vil de kigge mest på sikkerhedsforanstaltninger, hvilket vil betyde, at der ikke forekommer nogle toksikologiske risici og at de potentielle allergener skal stå beskrevet på produktet (EU, 2017). De alger som vi tager udgangspunkt i; Chlorella og Spirulina, er allerede blevet accepteret som en novel food indenfor EU. Der er stadigvæk andre alge supplementer som kun lige er blevet accepteret, eksempelvis Haematococcus pluvialis Chlorophyta som har et højt niveau af antioxidant astaxanthin som bliver brugt til akvakultur og makeup (EU, 2017b). Modellen nedenunder viser, hvor lang en process en novel foods skal igennem for at blive accepteret.



Flowchart over europæisk lovgivning for fødevarerikkerhed, European Food Safety Authority, 2018

Analyser

Forsøg

Introduktion og formål for algeforsøg

I vores forsøg kommer vi som nævnt tidligere til at arbejde ud fra en eksperimentel læringsproces. Det essentielt at vi ser på alle aspekter, der forbinder sig til kultiveringen af *Chlorella vulgaris* algen, således at vi opnår en optimal forståelse af teknologien for mikroalgeproduktion. Vi er overbevist om at det er vigtigt for vores læringsudbytte for dette projekt at forstå hvordan alger kultiveres, for at opnå en bedre forståelse af hvordan de indre mekanismer og processer fungerer, samt dets mulighed for opskalering på industriel skala.

Vi vil derfor i de følgende afsnit udforske aspekterne og læringsudbyttet for kultiveringen af *Chlorella*, for at vi bedre kan konkludere hvorvidt *Chlorella* vil kunne implementeres som en bæredygtig proteinkilde. Vi vil gennemgå forsøgsopstillingen samt udforme en gennemgang, af hvilke fund og resultater vi gjorde os i sammenhæng med forståelsen af teknologien. Hele dette bioteknologiske forsøg er opstillet kooperativt med Algelab RUC, som har rådgivet os på forsøget og projektet, samt givet os de nødvendige faciliteter til kultiveringen.

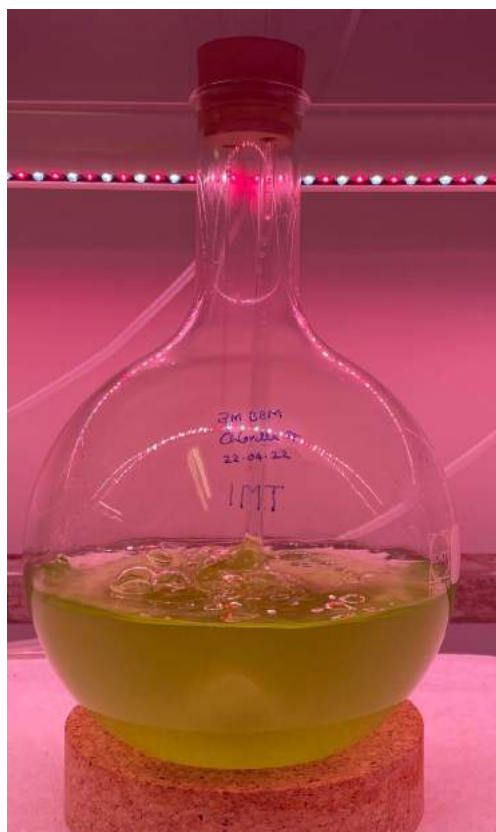
Vi har som forberedelse til forsøget haft møder med vores vejleder ved AlgeLab samt fået tildelt opskrifter til kultiveringen. Vi fik klargjort at de vigtigste aspekter ved kultivering af mikroalger var som følgende: vækstmedie, optisk densitet, typen af algen som skal kultiveres, metoden for kultivering af givet alge, pH-værdi og temperatur og næringsstoffer, vitaminer og mineraler. Vi vil dele alle disse aspekter op i hvert sit punkt for at kunne give overblik over fremgangsmåden samt vigtigste fejlkilder, læringsudbytte og potentielle løftepunkter:

Kultivering af alger

Der findes mange forskellige arter af alger, derfor var det vigtigt for os at vælge en alge som allerede havde eksisterende potentielle egenskaber, for at vi kunne vurdere alger som fremtidens fødevarer. Dertil var det essentielt for os at vælge en alge, som allerede havde en standard procedure for en givet kultiveringsmetode i AlgeLab. Det var vigtigt for os at kunne få vejledning, da ingen af os havde stor eller nogen erfaring indenfor laboratoriepraksis, således, at det ikke opstod farer og kontaminering.

Den mest hyppigt anvendte metode for kultivering af alger i et laboratorium, består af et medium hvori algen optager essentielle mineraler og næringsstoffer således at vækst kan forekomme. Efter algen er blevet rensset for overflødige bakterier bliver den placeret ned i mediet, hvori det vil blive opløst.

Den grundlæggende metode til at kultivere alger omfatter primært typen af alger og hvilken form for medie som de vil kunne gro optimalt i. Dette medium er forskelligt fra algekultur til algekultur da pH værdi og de mineraler algen skal bruge til at gro optimalt er forskellige, men basalt set handler det om, hvorvidt kulturen vil kunne optage de mineraler som der i mediet og bruge dem til at formere sig selv med.



Kultivering af chlorella i AlgeLab, egne arkiver, 2022

Efter algekulturen er blevet opløst i mediet er det vigtigt at kende til hvor meget lysintensitet algen skal bruge for at udøve fotosyntese; som kort sagt er måden algen multiplicerer sig selv på. Algekulturen skal dertil bruge luft til at kunne udøve denne fotosyntese, hvilket derfor er vigtigt at den i mediet har en form for ilttilførsel.

Den færdige algekultur vil så være klar til at komme i kultiveringsrummet efter der er målt optisk densitet og pH-værdi. Hvordan og hvorfor disse målinger foretages bliver forklaret senere i afsnittet. Alger har en bestemt temperatur, som de bedst lever og kultiveres i, hvilket betyder at der inde i kolben skal der være en bestemt temperatur til den type alge som man vil gro. De fleste mikroalger vil dertil også trives bedst ved optimal og tilrettelagte time cyklusser. Gennem kultiveringen skal man dagligt tage målinger af den optiske densitet og pH-værdi for at sikre sig at processen forbliver kontamineringsfrit. Samtidig skal væksten observeres for at vide hvornår det er optimalt at høste algerne. Ud over observationen af kulturen gennem optisk densitet og pH-værdi er det også vigtigt at holde et øje med, hvor meget medium der er tilbage i en kultur. En del af den væske/medium som algerne ligger i, vil forsvinde gennem evaporation, og algerne vil også optage en del af de mineraler og næringsstoffer der er i mediet. For at komme denne process i forkøbet kan man sætte en streg

ved vandstanden på kolben fra start dato. Hvis vandstanden i kolben falder med 100 ml under denne grænse, skal der tilføjes det der hedder autoclavet milliQ, som er demineraliseret og steriliseret vand, som opnås ved brug af apparatet Autoclaver.

Kultivering af Chlorella Vulgaris

Før vi kunne starte på kultivering af vores egne alger var det vigtigt for os at vi fandt en algetype, som det ville være muligt for os at kunne gro ude på RUC så vi havde mulighed for at holde øje med kultiveringen. Efter vores samtale med Praveen fra AlgeLab RUC blev vi enige om at chlorella vulgaris, idet det er en kendt algetype der allerede er blevet lavet en masse forskellige former af tests på. Vi kunne derfor være sikre på at denne algetype ikke vil være giftig eller farlig som fødevarer. Chlorella er også en algetype som Praveen havde meget erfaring med, og han vil derfor nemmere kunne hjælpe os gennem vores kultiveringsproces, og fortælle os hvornår det vil være optimalt for os at høste vores alger i forhold til vores formål om at bruge det som et protein supplement.

Bold's Basic Medium (BBM)

Funktionen af det vækstmedie, som bruges til at kultivere alger i, er at give algerne en form for føde som de kan optage, og dermed multiplicere sig selv i væsken. Mængden af mineraler og hvilke mineraler afhænger af algearten, der skal bruges til at lave det medium som en alge trives bedst i er forskelligt for de forskellige former for algekultur der findes. De fleste former af alger vil dog have mulighed for at kunne vokse i det vækstmedie der kaldes for Bold's Basic Medium. Dette medium består af essentielle vitaminer og mineraler såsom natrium, nitrat, calcium og andet som kan ses på billedet nedenfor:

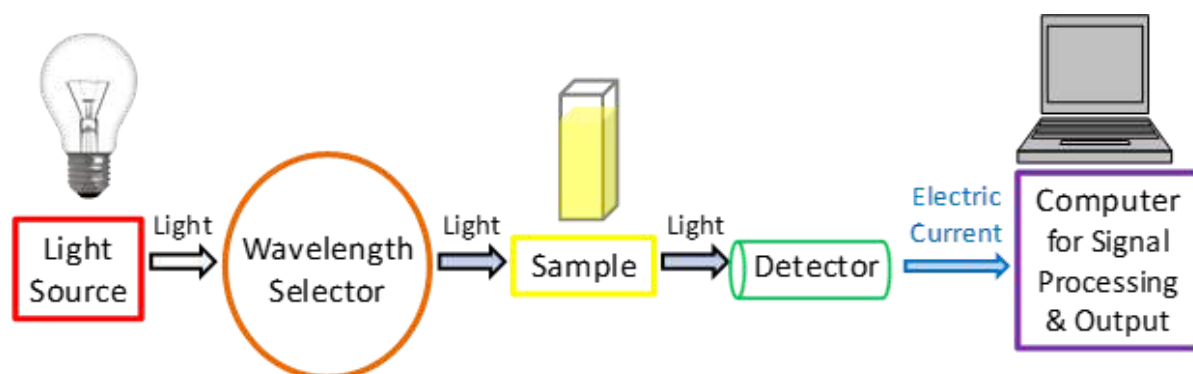
Stock solutions in g / 1000 ml water	for 1 litre final medium
(1) 25.0 g NaNO ₃	30.0 ml
(2) 2.5 g CaCl ₂ ·2H ₂ O	10.0 ml
(3) 7.5 g MgSO ₄ ·7H ₂ O	10.0 ml
(4) 7.5 g K ₂ HPO ₄ ·3H ₂ O	10.0 ml
(5) 17.5 g KH ₂ PO ₄	10.0 ml
(6) 2.5 g NaCl	10.0 ml
(7) trace element solution (see below)	6.0 ml
(8) vitamin B ₁ (see below)	1.0 ml
(9) vitamin B ₁₂ (see below)	1.0 ml

Opskrift på BBM, Praveen, AlgeLab, 2022

Selvom denne blanding vil virke for de fleste former for algekultur vil man sagtens kunne modificere den, så den vil passe bedre til den type alge som man vil gro.

Optisk Densitet

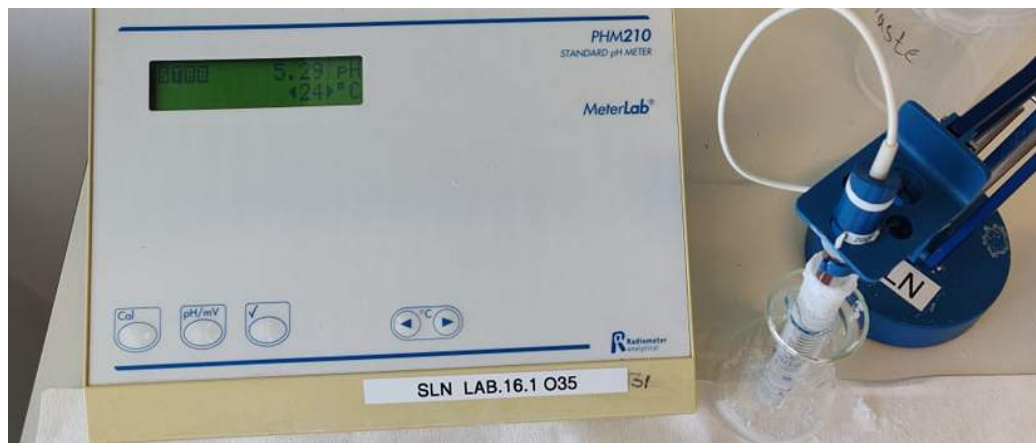
Optisk densitet (OD) er en målemetode vi har benyttet os af igennem kultiveringen til at observere hvor meget af vækstmediet som algen har overtaget. Efterhånden som algekulturen vokser, kan der ved hjælp af et spektrofotometer, måles hvor meget kulturen vokser. Et spektrofotometer virker ved at skyde en bestemt bølgelængde lys igennem en kuvette der indeholder noget af algemediet. Når man arbejder med grønne algetyper er det mest optimalt at sætte spektrofotometeret til 660 - 680 nm, da grønne typer af alger vil kunne optage dette lys. Mængden af lys der går igennem ens prøve vil så reflektere videre over til en detektor, hvor den vil måle hvor meget af det originale lys der er sluppet igennem algemediet. Dataen bliver derefter oversat af computeren til en værdi. Dette tal som computeren viser er den OD som er i vores prøve. I næste afsnit vil der blive forklaret, hvordan man kan benytte dette tal til at komme frem til hvor algekulturen befinder sig i vækstfasen.



pH-værdi

Måling og observation af pH-værdien under hele processen er vigtigt for optimal vækst og høstningstidspunkt. Da vi startede vores algekultur op havde den en pH-værdi på omkring 6,6, hvilket vil sige at den ligger i den syrlige ende af pH-skalaen. Det er en lavere pH-værdi, end der normalt vil være i drikkevand. Den lave pH-værdi kommer fra det medie vi bruger til at opbevare algerne i. Mediet som algerne er i har en mere syrlig pH-værdi, men gennem kultiveringsprocessen vil algerne begynde at optage de mineraler og vitaminer der er i mediet, hvilket vil gøre at pH-værdien på prøverne fra vores algekultur vil udvikle en mere neutral værdi på 7. Denne metode er dertil også den måde vi kan identificere hvornår vores

kultur er begyndt at skifte fra sin log fase til stationary og skal høstes. Hvordan algerne er i de forskellige faser, vil vi komme mere ind på i næste afsnit.



Kultivering af chlorella i AlgeLab, egne arkiver, 2022

Algevækstens faser

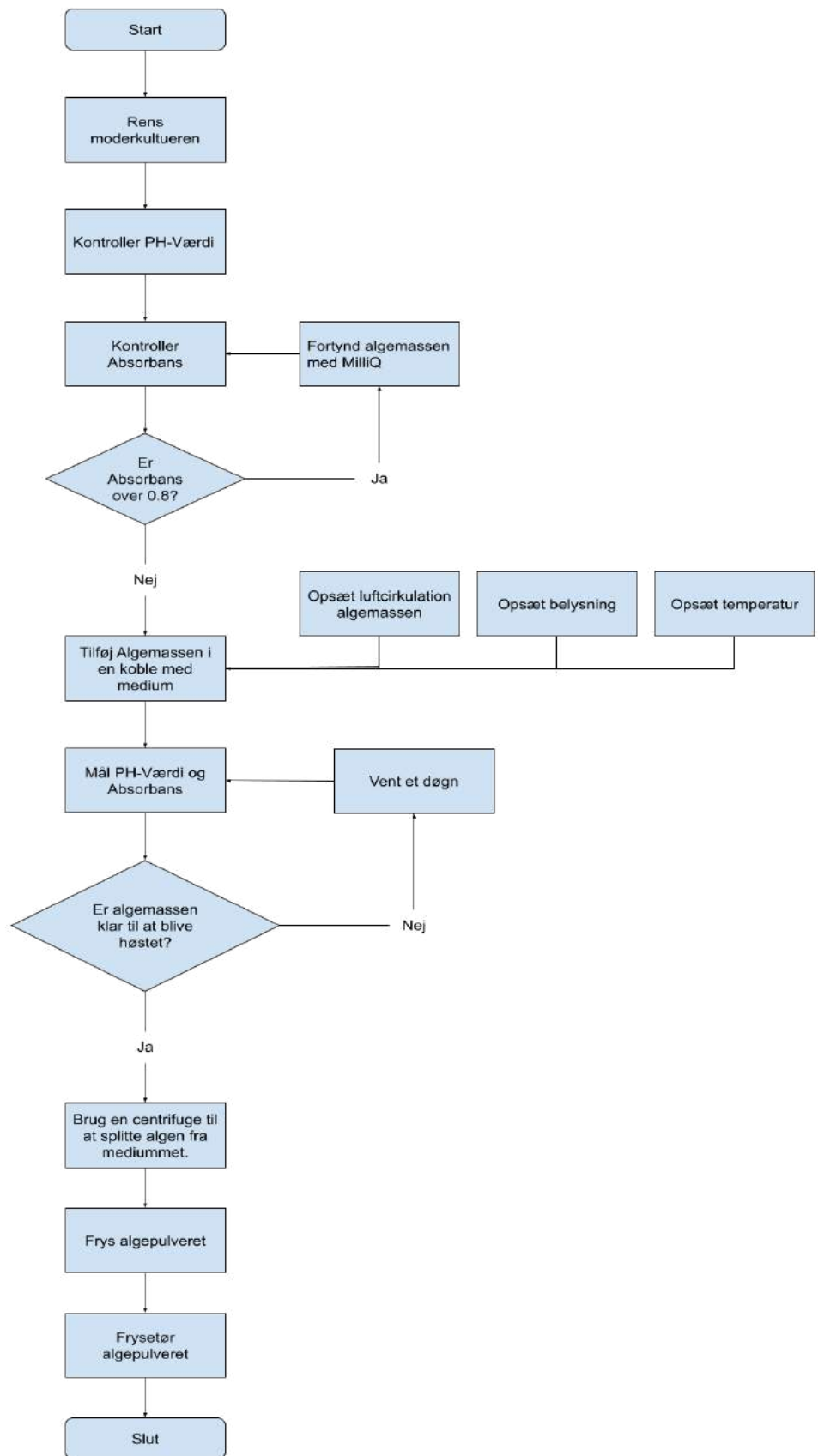
Når en ny algekultur startes op vil den begynde i den fase, som hedder lag fasen. Algerne går i sin levetid igennem 3 forskellige faser. I lag fasen vil vi gennem en OD test kunne se at udviklingen af algerne er meget langsom. Når algerne er begyndt at optage af de mineraler som er i mediet, vil udviklingen af algerne stige eksponentielt, og en tydelig stigning i algernes densitet kan observeres. Denne udvikling hedder log fasen. Under log fasen optager algerne flest mineraler og udvikler sig hurtigt. I denne fase indeholder algerne dermed også flest proteiner, mineraler og vitaminer. For vores formål er det i denne fase vi vil høste dem. Den sidste fase hedder stationary. I denne fase har algerne opbrugt de fleste af de mineraler som er i mediet, og begynder enten at dø ud eller at bruge af de mineraler som de døde alger efterlader.

Temperatur

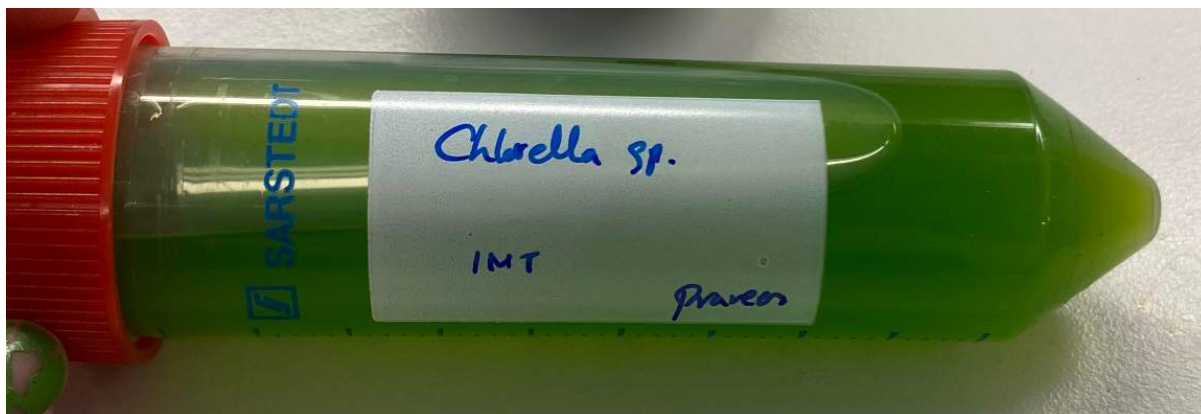
Temperaturen for algerne er meget vigtig imens de er i kultiveringsrummet. Da vi kultiverede vores *Chlorella vulgaris*, blev vi rådgivet af AlgeLab til at *chlorella vulgaris* trives på omkring 20°, hvilket gjorde at vi benyttede os af et 20° kultiveringsrum. Skulle temperaturen falde til under 5°, så vil dele af algen enten dø eller gå i hig.

Forsøgsopstilling

Dette afsnit handler om den opstilling og hvilke maskiner vi har brugt til at kultivere vores alger samt opstilling af forsøget fra start til slut. Dette skaber en bedre oversigt over, hvordan vi er gået igennem vores kultiveringsproces. Nedenfor er udarbejdet et flowchart for processen fra start til slut:



Til at begynde med fik vi tildelt en del af en moderkultur fra AlgeLab, som vi til en start skulle rense. Denne ses nedenfor:



Kultivering af chlorella i AlgeLab, egne arkiver, 2022

Metoden som benyttes til at rense alger, er ved at komme dem i en centrifugator. Algerne skal renses, da der kan være andre organismer i væsken ud over alger. Ved forsøget blev moderkulturen centrifugeret i 5 minutter ved $4000g_n$ kræfter som er en måleenhed for acceleration. Ved at centrifugere vores del af moderkulturen får det alle algerne til at blive presset ned i bunden af en tube til én masse, og dermed gør det muligt at fjerne væsken uden at miste algerne. Problemet var at væsken stadig var rimelig grøn, så vi skulle hælde mere vand i og centrifugere dem en gang til.

Vi tilføjede så milliQ til vores alger og brugte en speciel form for vibrationsmaskine til at få dem opløst i væsken igen. Efter væsken var blevet opløst kunne vi centrifugere algerne igen, efter 5 minutter ved $4000g_n$ hældte vi den resterende væske ud, og denne gang kunne vi se at vores alger var helt rene da der ikke var nogen farve i det resterende væske.



Kultivering af chlorella i AlgeLab, egne arkiver, 2022

Det næste skridt for processen omfatter at få algekulturens OD til at være 0,1, da dette er den optimale værdi for kultiveringsopstart.

Vi opløste algerne i milliQ igen for at vi kunne tage en pH-værdi test og fik en pH-værdi på 6,68.

Derefter tog vi en OD test på vores kultur og fik den til 1,607 OD. Da spektrofotometeret bliver upræcis når OD er over 0,8 betyder det at vi måtte opløse væsken yderligere, således at vores væske bestod af 1 del algevæske og 3 dele milliQ. Da vi så målte OD igen fik vi den til 0,461 OD som gav en værdi på 1,844 OD, hvilket er vores sande OD. For at vi kunne starte vores kultur i 1L BBM skal vores OD være 0,1. Da vi har vores sande OD på 1,844 bruger vi denne formel til se hvor meget vi skulle fortynde vores alger for at de kunne komme i en 1 L BBM:

$$V_1 C_1 = V_2 C_2$$

Det vi leder efter er V_1 . Vi kender allerede C_1 som er 1.844 OD og vi kender også $V_2 = 1000$ ml og $C_2 = 0.1$ OD. I denne formel står V for volumen og C står for concentration. så kunne vi isolere V_1 og vores formel vil se sådan ud:

$$V_1 = \frac{(V_2 \cdot C_2)}{C_1}$$

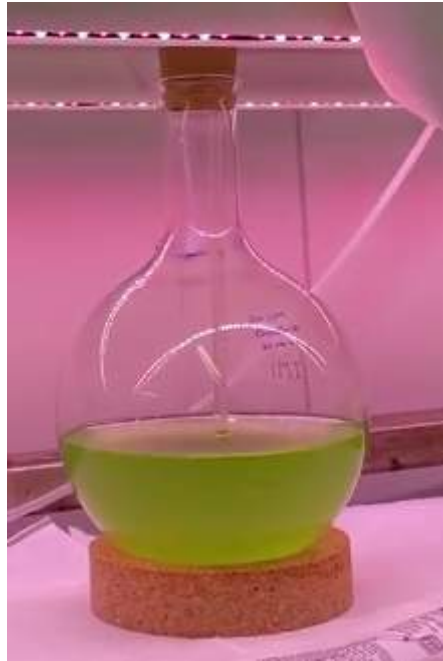
Når vi så indsætter vores tal og udregner ligningen får vi 54,2 ml:

$$V_1 = \frac{(1000ml \cdot 0.1OD)}{1.844OD} = 54.2ml$$



Kultivering af chlorella i AlgeLab, egne arkiver, 2022

Vi skulle altså derfor tilføje 54,2 ml BBM til vores alger for at få en OD på 0,1, og derefter kunne vi tilføje vores alger til 1 L BBM. Efter vores algekultur var blevet blandet op i vores kolbe kunne vi tage en sidste test på pH-værdien og OD på vores kultur, og da vores OD ikke havde ændrede sig fra 0,1 kunne vi påbegynde vores kultiveringsproces. Vi kom kolben ned i et kultiveringsrum, hvor der var en cyklus på 16 timer med lys ved $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ intensitet som svarer til et LED lys (Microalgae Culturing, Praveen, 2022) og 8 timer i mørke for at skabe et kunstig dag og nat cyklus. Når kolben er sat ind i kultiveringsrummet tilføjes der et luftindtag og efterfølgende skal der dagligt tages tests på kulturen, så vi kan observere hvordan kulturen udvikler sig over de næste 10-14 dage.



Kultivering af chlorella i AlgeLab, egne arkiver, 2022

Når kulturen nærmer sig en pH-værdi eller OD på 1,6-1,8, så er det et optimalt tidspunkt at høste algerne. Efter omkring 10-14 dage skulle algerne gerne have opnået det stadie hvor de er klar til at blive høstet. Algerne centrifugeres og separeres til væske og sammenpresset algemasse. Væske hældes ud og så har vi kun sammenpresset algemasse som kommer i fryseren.



Kultivering af chlorella i AlgeLab, egne arkiver, 2022

Ud fra vores 1 L algekultur har vi fået 0,394 gram ren algebiomasse som skal igennem en proces der hedder frysetørring, således at vi mennesker kan optage algeproteinerne. Denne proces vil ikke blive brugt til klargøring af algerne på industriel skala, da den bruger for meget energi, men da vores er et laboratorieforsøg er det denne proces vi har valgt at benytte.



Kultivering af chlorella i AlgeLab, egne arkiver, 2022

Denne proces indebærer en frossen solid mængde biomasse som optøs i et lukket vakuum rum. Det vil trække den sidste mængde vand ud der skulle være i biomassen. På denne måde opnås en ren biomasse som vil være spiselig.

Fejlkilder

Da ingen af os har større erfaring i et laboratorium, er vi endt ud med nogle forskellige fejlkilder. I dette afsnit vil vi forklare hvilke fejlkilder vi har kunne identificere. Fejlkilderne er følgende:

1. Sen vandtilførsel

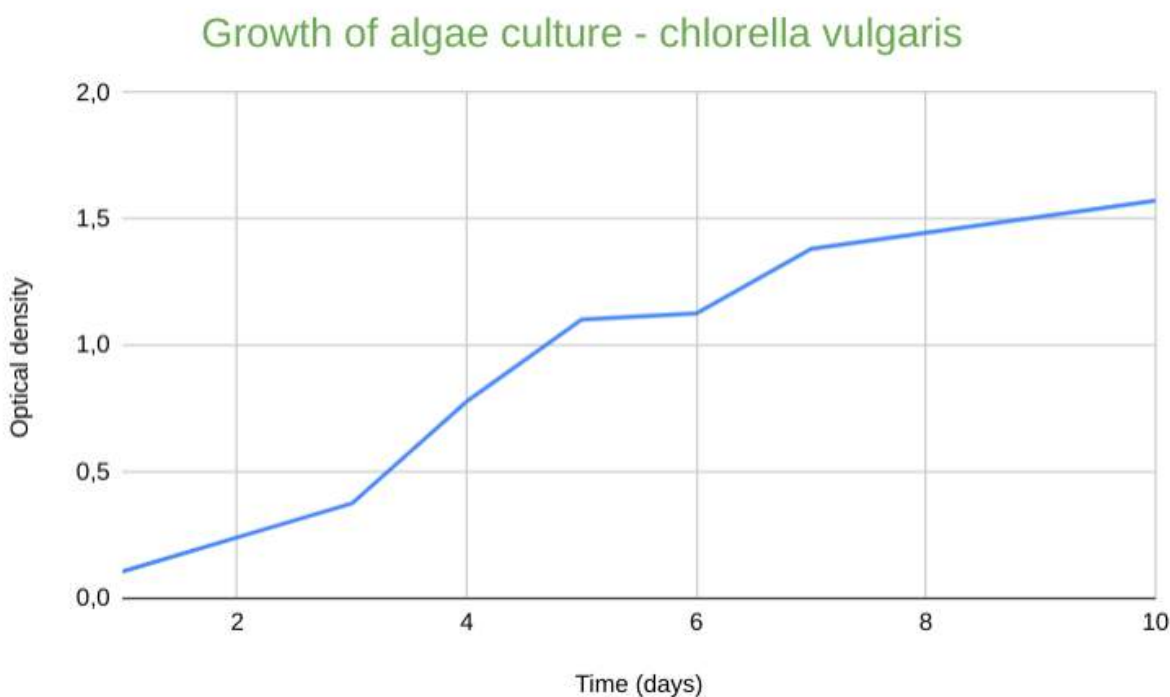
Da vores alger nåede sjattedagen var det første gang vi tilføjede vand til dem. Vi tilføjede 150ml autoclaved milliQ grundet 15% af mediet havde evaporeret. Derfor har vi ikke kunne foretage præcise målinger. Da det også har været midt i log fasen betyder det at, vi ikke har kunnet få samme udnyttelse af denne fase som potentielt har været en faktor i vores resultat på 0,394 gram fra 1 L.

2. Centrifugeringsproces

Som nævnt var der ingen af os der havde stor erfaring i et laboratorium, hvilket også viste sig under vores høsteproces, da vi skulle centrifugere vores alger. Vi løb ind i et problem om hvorvidt vi skulle hælde vores resterende væske ud efter algerne var blevet centrifugeret. Det medførte så til at vi kom til at vente for længe før vi tog en beslutning og uheldigvis hældte lidt for mange alger ud i vasken.

Resultater og analyse af forsøg

I dette afsnit vil vi komme mere ind på hvilke fund vi har kunne identificere ved at udføre og analysere udviklingen af kultiveringen af *Chlorella vulgaris*. Udviklingen over de 10 dage er målt ud fra tid og optisk densitet, hvorledes den data vi har udvundet på dagene: 1,3,4,5,6,7 og 10 for både pH-værdi og OD er blevet modelleret til den nedenstående graf:



Graf over vores algekulturs vækst, egen model, 2022

Denne graf viser den optiske densitet op af y-aksen og tid i dage hen af x-aksen. Ud fra denne graf kan det tydeligt ses hvornår vores alger gennemgår dens faser.

Dag 1-3

Fra dag 1 til 3 går udviklingen langsomt, hvilket betyder at vores alger er i lag fasen. På dette tidspunkt i fasen er algen stadig i gang med at udbrede sig i kolben og optager få mineraler.

Dag 3-5

Fra dag 3 til 5 ser vi via en OD test at vores alger vokser meget, hvilket betyder at algerne har spredt sig i kolben og er begyndt at udvikle sig hurtigt.

Dag 5-7

Efter dag 5 udvikler vores alger sig næsten ikke. På dag 6 og 7 så det ikke ud til at vores kultivering voksede. Dette skete fordi at vi tilføjede milliQ, og dermed så det ud til at algemassen ikke voksede i densitet, grundet at den stadigvæk havde mere BBM at sprede sig ud i.

Dag 7-10

På dag 8 til 10 har vores alger ikke særlig stor udvikling, hvilket også er grunden til at vi måtte høste kort tid efter, så algerne ikke nåede til dens stationære fase, da dette vil resultere i et mindre proteinindhold i vores alger.

Delkonklusion

Igennem vores eksperiment har vi kunne konkludere at det er mest optimalt at høste en algekultivering af samme skala som vores på omkring dag 10 for at nå et optimalt protein og mineralindhold i algerne. På dag 10 havde vi en pH-værdi på 6,93 hvilket betyder at vores alger næsten havde opbrugt alle de mineraler der var i BBM væsken. Derudover har vi opnået en stor viden omkring hvordan alger kultiveres og hvilke processer der ligger bag at gro alger optimalt. Vi har reflekteret over de fejlkilder vi selv er stødt på og hvilke effekter disse problemer kunne have på industriel skala for algeproduktion. Den opnåede viden om hvordan teknologien fungerer og hele læringsprocessen har givet os en fordel ved at forstå de produktionsformer på industriel skala, såsom hvordan bioreaktorer fungerer. Vi har ydermere opnået en forståelse for hvad god laboratoriepraksis er samt opnået praktiske kompetencer.

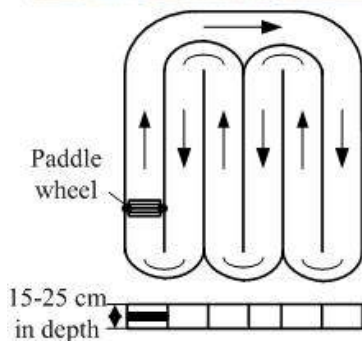


Det færdige frysetørrede chlorella, egne arkiver, 2022

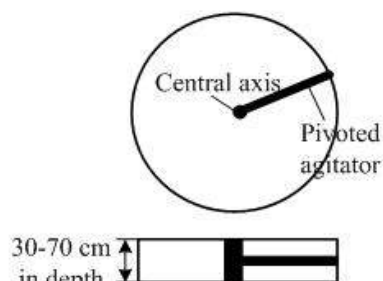
Teknologisk analyse af algeproduktion

Produktionsformer af mikroalger på industriel skala

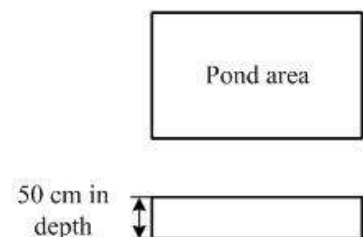
Der er flere forskellige produktionsformer af mikroalger. I dette afsnit vil vi lave en 6 trins analyse af de forskellige produktionsformer som vi senere vil bruge i vores diskussion af de teknologiske barrierer der ligger i algeproduktionen. Herunder er udformet teknologiske analyser af åbne kunstige damme: 1) raceway ponds, 2) circular ponds, 3) unstimred ponds og bioreaktorer og fotobioreaktorer samt heterotrofisk kultivering:



(a) Raceway pond



(b) Circular pond



(c) Unstimred pond

3 forskellige designs af kunstige damme til kultivering af mikroalger, Y. Shen et al 2009

Åbne kunstige damme

Åbne kunstige damme er den ældste teknologi til at gro alger med. Kunstige damme er et meget simpelt og billigt teknologisk system til at kultivere mikroalger i. Dammen er typisk lavet af billige materialer såsom plast, cement eller sammentrykket jord. Siden at damme er udenfor kan algerne bruge sollyset til fotosyntese, og det smarte er at man kan gro mikroalger i åbne kunstige damme, som ikke er særlige dybe. De indre mekanismer og processer for åbne damme er meget ens og derfor vil vi ikke gennemgå det for hver af de tre forskellige modeller for åbne damme. De to vigtigste mekanismer og processer i dem er omrøringsmodulet og sollyset. Omrøringsmodulet sørger for at røre rundt i algerne, så de alle bliver eksponeret til sollys og gro, hvilket også gør at sollyset i sig selv også er essentiel for processen, da algerne ellers ikke gro i dette system (Y. Shen, et al 2009).

Der findes mange forskellige designs af kunstige damme, men de tre mest brugte i dag er raceway, circular og unstirred ponds, som kan ses i modellen længere nede (ibid.).

Raceway ponds

Raceway ponds er det mest brugte design af kunstige damme inden for konventionel kultivering af mikroalger - raceway ponds består af flere teknologiske artefakter, et lukket bassin, der er formet som en racerbane. Denne teknologi består af et bassin og et skovlhjul, hvilket bruges som omrøringsmodul til at omrøre vandet og algerne, skovlhjulet. Vandet i dammen er et bestemt medium eller spildevand. Grunden til at spildevand kan bruges, er at det vil have en stor nok mængde af næringsstoffer til at alger kan vokse i det.

Vandet vil blive omrørt af skovlhjulet, således at så algerne får nok sollys og næringsstoffer, specielt CO_2 som algerne bruger til fotosyntese. Dybden på dammen er typisk mellem 15 og 30 cm, hvilket er grundet af at alle algerne skal have samme mængde sollys. En begrænset mængde sollys vil forringe algernes vækst. I sammen er det dertil vigtigt at der er et korrekt vandtryk. Dette vandtryk, der skabes af omrøringsmodulet, skal være højt nok for at algerne ikke falder til bunds. Dette er afhængig af algecellernes synkehastighed.

Synkehastigheden omhandler i denne sammenhæng flydeevne og densitet. Vandtrykket er blevet estimeret til at være mest effektivt ved 10 til 20 cm s^{-1} (*centimeter pr sekund*), på trods af et stærkere tryk vil være mere effektivt, bruger det for meget energi til at være

økonomisk rentabelt. Raceway ponds kræver flere konstruktionsomkostninger end de andre open ponds, dog er der en lav mængde vedligeholdelse derefter. Ved at bruge raceway ponds kan man opnå en cellekoncentration på op til 1 g L^{-1} (*gram pr liter*) og en produktivitet på $10\text{-}25 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (*gram pr kvadratmeter pr dag*). På grund af at produktiviteten er afhængig af sollys og temperatur, hvilket er sæson- og klimabestemt, kan det variere meget hvor svært det er at vedligeholde produktiviteten (Y. Shen, et al 2009).

Circular ponds

Circular ponds er et design, der minder om raceway ponds, hvilket også vil betyde at de teknologiske artefakter er meget ens. Circular ponds er et lukket bassin, hvor bassinet er cirkelformet, og normalt er 45 m i diameteren og 30-70 cm dyb. Den anden teknologiske artefakt er en omrører, der drejer rundt i en cirkel. I modsætning til raceponds har circular ponds mulighed for at have dybere vand, idet omrøringsmodulet drejer rundt i en cirkel, hvor i raceway ponds. Størrelsen på dammen er en begrænsende faktor, grundet at der ikke omrøres effektivt, hvis omrører-armen bliver for lang, hvis dammen er for stor i diameteren. Dette vil sige at hvis diameteren eksempelvis er større end 50 m, så vil det dermed blive mere vanskeligt og mere ineffektivt og opskalere (Y. Shen, et al 2009).

Unstirred ponds

Unstirred ponds er det billigste design og det mindst teknologisk komplicerede, idet at den nemlig ingen teknologiske artefakter har. Unstirred ponds kan være naturlige eller kunstige damme. Dammene er typisk mindre end 50 cm dybe. Selvom unstirred ponds er den mindst omkostningsfulde af de design, så er det ikke det mest brugt, idet der kun kan kultiveres alger som har en biologisk konkurrencefordel som gør at de kan overleve forurening af andre organismer, såsom protozoer, andre mikroalger, vira og bakterier (Y. Shen, et al 2009).

Åbne damme har mange fordele:

1. Relativt lave konstruktions- og vedligeholdelsesomkostninger.
2. Det er nemt at opskalere, da man nemt kan konstruere flere damme, der kan operere uafhængigt.

3. Det er nemt at kombinere kultivering med rensning af spildevand.

Utilsigtede effekter og teknologiske barrierer ved åbne damme system som forhindrer spredningen af åben dam systemet:

1. Forurening af andre organismer

Grundet at dammene er åbne bliver de nemt forurenede af vilde planter eller mikroorganismer, som konsumerer algerne. Monokulturer kan derfor kun eksistere i en kort periode på ca. et par måneder. Der findes kun et par arter, der kan overleve i åbne damme. Det kræver enten af de kan tåle høj saltholdighed, kan tåle store pH-udsving eller er hurtigt groende arter. Eksempler på disse er *Dunaliella salina* til produktion af b-caroten, *Spirulina platensis* og *Chlorella vulgaris* til proteinproduktion (Y. Shen, et al 2009).

2. Lav produktivitet

Teoretisk set ville en produktivitet på $50-60 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ af biomasse kunne opnås, men selv $10-20 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ er svært at producere årligt. Det er fotosyntesen som forhindrer produktivitetsniveauet, hvilket skyldes ringe cirkulation af vand og gasoverførsel. Ændringer på temperatur og sollys har også en negativ effekt på produktiviteten. Der er også mange regioner det ikke er særligt effektivt at kultivere alger i, idet der ikke er tilstrækkelig med sollys og temperaturforskelle såsom i Danmark (ibid.).

3. Omkostninger ved høstning af algerne

Det er dyrt at separere algerne fra vandet, fordi koncentrationen af alger er så lav og størrelsen på algerne er mikroskopiske, derfor skal høste metoder såsom filtration, sedimentering eller centrifugation bruges, hvilket ikke er simple eller billige metoder da metoderne bruger store mængder elektricitet (ibid.).

4. Ressourcespild ved evaporation

Øget evaporation af vandet i damme er også et problem, specielt i tropiske eller ørkenområder, da en mindsket mængde vand vil give et mindre udbytte af alger (ibid.).

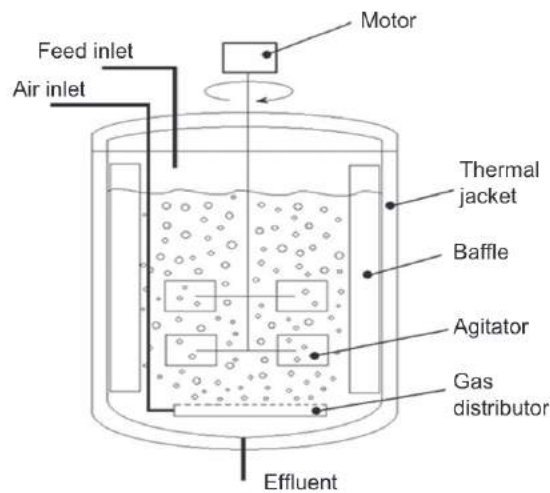
Bioreaktorer og fotobioreaktorer

En bioreaktor er en teknologisk beholder, som bruges til at starte en biokemisk reaktion, der vil transformere et biologisk materiale til et produkt. Denne konversion fra organisk materiale til et produkt sker ved brug af en biologisk katalysator. En biokatalysator defineres som en teknologi, der øger hastigheden af en kemisk reaktion uden selv at blive forbrugt eller omdannet ved reaktionen (Fastrup & Petersen, 2012). En biokatalysator vil derfor være en naturlig substans, hvori enzymer fra en biologiske kilde eller celler som vil forøge processens hastighed (Paul et al., 2019).

Der findes både biokatalysatorer i solid form og i flydende form. De bioreaktorer, som bruger flydende katalysatorer kaldes en nedsænket process, hvilket vil betyde at substansen bliver nedsænket i en form for væske såsom alkohol eller olie. Ved kultivering af mikroalger, vil denne biokatalysator være det tidligere defineret medium, som er en væske (*DOE Explains. . Catalysts*, n.d.).

Vi har i vores forsøg brugt en bioreaktor samt en biokatalysator, eftersom kultivering i kolbe går ind under definitionen på en fotobioreaktor. Derudover er det medie (BBM) vi tilsatte vores kolbe en biokatalysator, da det forøgede kultiveringshastigheden. De indre mekanismer og processer i en fotobio- og bioreaktor er lidt forskellige. Som nævnt ovenfor er formålet med en bioreaktor at transformere en naturlig substans til et produkt. Der findes mange forskellige modeller på en bioreaktor - alt fra en kolbe i et laboratorium til kæmpe open ponds. Vi har valgt at analysere den mest typiske form for indendørs bioreaktor i dette afsnit.

Bioreaktorer vil oftest være cylinder formet af rustfrit stål, hvis dette skal være en fotobioreaktor skal der være mulighed for at lys kan skinne igennem. Derfor vil der blive brugt et transparent materiale i stedet for det rustfri stål, eller også skal den være åben som med open ponds metoden (Duan & Shi, 2014). Forneden ses hvordan en typisk bioreaktor vil se ud.



Model af bioreaktor, Duan & Shi, 2014

De forskellige teknologiske artefakter som indgår i dette system ses ovenfor på modellen. Mange af artefakterne som ses på billedet er med til at skabe en optimal luftcirkulation i bioreaktoren. Motoren og omrøringsmodulet (agitator) skaber en blandingsmekanisme. Luftindtaget sammen med luftfordeleren (gas distributer) sørger for at luften bliver ligeligt fordelt mellem algerne. Den statiske mixer (baffle) har den betydning at når vandet bliver rørt rundt af omrøringsmodulet, så rammer det ind på mixeren og dette vil skabe turbulens i væsken som igen betyder en bedre omrøring for algerne. De artefakter som ikke er en del af omrørings og beluftnings systemet er b.la. væskeindtaget (feed inlet). Det er vigtigt, at en bioreaktor har samme mængde væske i sig hele tiden, derfor skal der være mulighed væsketilførsel. Væsketilførsel er en nødvendighed, da noget af væsken vil forsvinde gennem evaporation. Evaporationen kommer af at der konstant bliver tilført energi til algerne i form af varme, varmen bliver tilført til algerne gennem en temperaturregulator (Thermal jacket). Det er vigtigt, at algerne har en optimal temperatur under hele udviklingsprocessen, da det har stor indflydelse på mængden af biomasse produktion.

I bunden af bioreaktoren sidder der et udpumpningsmodul (effluent) som kan tage overskydende spildevand ud af bioreaktoren (Duan & Shi, 2014). Vores fotobioreaktor har anvendt flere af disse teknologiske artefakter til kultiveringen, bare i en mere simpel format end i en industriel reaktor. Vi har haft et væskeindtag, da en kolbe er åben i toppen, derudover har vi haft et luftindtag for en god omrøring af algerne. Vi har ikke brugt statiske mixer eller omrøringsmodul, fordi der ikke var plads i vores kolbe og det samme gælder for luft

fordeleren. Temperaturregulatoren har heller ikke været en nødvendighed, da laboratorie lokalet har den optimale temperatur til alge kultivering. Men i essensen har vi designet vores egen fotobioreaktor bare i en mere simpel udgave.

De to primære metoder til indendørs bioreaktorer kaldes heterotrofik (HBR) og fotoautotrofiske (PBR). De primære forskelle på disse metoder bliver beskrevet i næste afsnit (Chisti & Moo-Young, 2003).

Fordele ved PBR - Y. Shen, et al 2009:

1. Høj biomasse produktivitet. Med denne produktionsform er det nemt at kontrollere alle faktorerne der påvirker produktiviteten. Produktivitet kan være dobbelt så stor som kultivering i åbne dammen og den optiske densitet kan blive 30 gange større, som gør det nemmere og billigere at høste og tørrer.
2. Der er mindre forurening fordi der er meget mindre eksponering til omverden.
3. Det er muligt at simulere alle klimazoner i PBR, så derfor er det ikke begrænset til et specifikt geografisk område og derfor er det muligt at kultiverer alle typer alger.
4. Det er nemt at opskalere denne metode da man kan lave PBR i mange størrelse og have flere, som kan operere selvstændigt på samme tid.

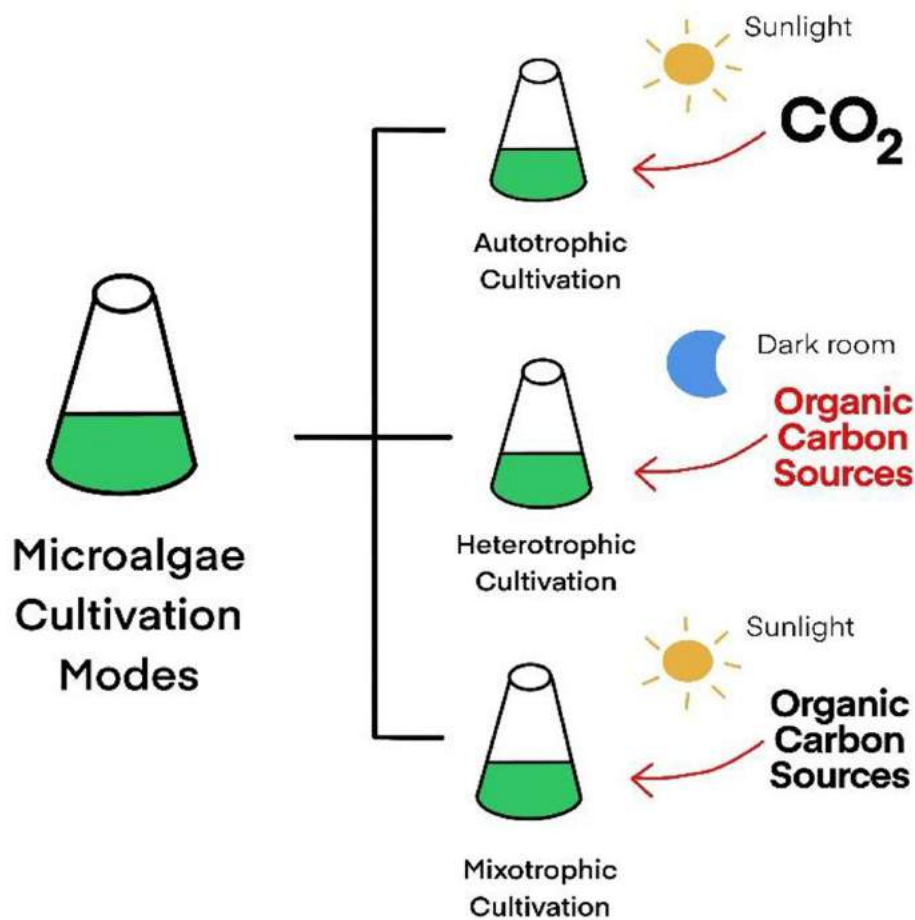
Utsigtede effekter og teknologiske barrierer ved PBR som forhindre spredningen:

1. Der er en høj omkostning af konstruktionen af PBR når man vil opskalere produktionen (Y. Shen, et al 2009).
2. En opskalering af PBR vil også betyde en forøget mængde af ressourcer til produktionen af alger, hvilket betyder at reaktoren får et højt energi- og vandforbrug (Fu et al., 2021).

3. Opskalering af PBR vil også betyde en forøget chance for kontamination, hvilket forventeligt betyder at en ekstra rensnings process som forøger omkostningerne yderligere (ibid).
4. Mange forskellige parametre skal udfyldes korrekt for, at kultiveringen er optimal, det er parametre som temperatur, carbon kilde, nitrogen kilde, lysintensitet og ph værdi (ibid).
5. Høstnings metoderne er ikke optimale, endten bruges der gravitations sedimentation som er langsomt men billigt, ellers vil der blive udnyttet centrifugering, denne metode er betydelig hurtigere men dyrt i energi (ibid).

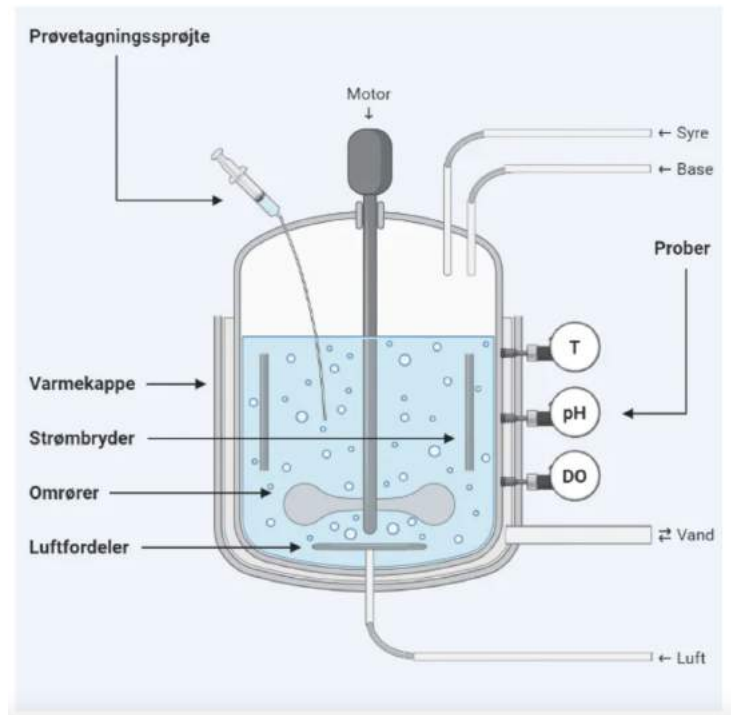
Heterotrofisk Kultivering

Alger har den egenskab, at de både kan kultiveres fotoautotrofisk og heterotrofisk. De metoder der førhen er nævnt har været til fotoautotrofisk kultivering af alger hvor algerne bruger sollys til fotosyntese for at omdanne uorganisk carbon (CO_2) til organisk stof. Alger kan også bruge organisk carbon (kulhydrater) som energikilde i stedet for sollys og CO_2 hvis, der ikke er noget lys til stede. Hvis der er simple kulhydrater såsom glucose, så kan algen spare energi. Det er også muligt at kombinerer de to metoder og lave en mixotrofisk kultivering. De tre processer kan ses i modellen nedenunder. Mixotrofisk kultivering bliver ikke brugt ofte, da et meget komplekst system er nødvendigt for at virker optimalt (Fu, Y., et al 2021).



Kultiveringsmetoder, Jareonsin, S., & Pumas, C. 2021

En fordel ved at kultivere alger heterotrofisk er at der er mulighed for mere biomasse i reaktoren, eftersom der ikke skal være en bestemt mængde lys til alle cellerne, derfor bliver dark spots en irrelevant faktor (Mohan, S. et al. 2019). Heterotrofisk kultivering kan laves i bioreactor eller traditionelle fermenter, hvis man bruger fermenter kan det være ret billigt at købe og bruge (Fu, Y., et al 2021). Den mest normale type af fermenterings bioreactor kaldes for en stirred tank reactor.

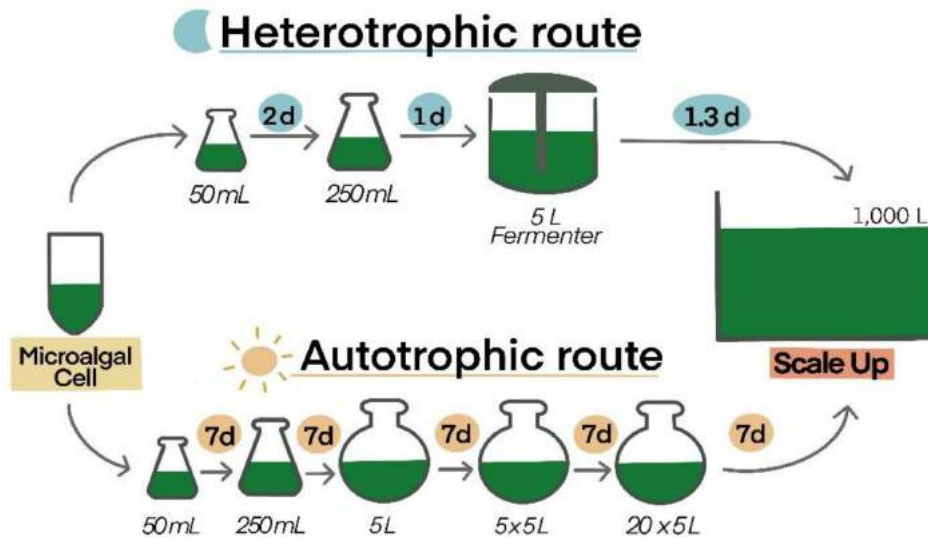


Stirred tank reactor, Biotech Academy, 2021

Som det kan ses på figuren ovenfor udnytter en stirred tank reactor mange af de samme teknologier som en normal bioreaktor. Den store forskel er som tidligere nævnt, at den ikke udnytter lys til kultivering. Derfor har den også behov for ekstra væskeindtagstuber for at algen kan gro optimalt.

Fordele ved heterotrofisk kultivering:

1. Mikroalgerne kan opnå en høj biomasse og produktivitet med heterotrofisk kultivering end fotoautotrofisk kultivering. Det er illustreret i modellen nedenunder.



(Jareonsin, S., & Pumas, C. 2021)

2. Hvis man bruger en traditionel fermentere (stirred tank) kan det gøres relativt billigt. Glukose er den kulhydrat de fleste heterotrofer kan lide, men sukrose er et billigt alternativ.
3. Man kan nemt opskalere produktionen fordi det er en relativt simple metode (Fu, Y., et al 2021)

Utilsigtede effekter og teknologiske barrierer ved åbne damme system som forhindre spredningen af hetetrofisk kultivering:

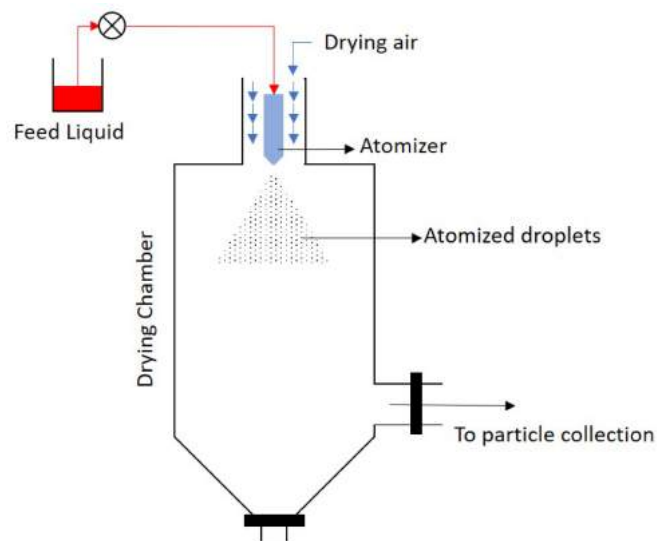
1. På grund af de kulhydraterne kan der opstå forureningsproblemer med bakterier der også er heterotrof og så opstår konkurrence mellem dem hvilket mindsker produktiviteten (Mohan, S. et al. 2019).
2. Mange af de samme problematikker fra den normale bioreaktor opstår også under en heterotrofisk kultivering, som højt vand og energiforbrug. Problematikkerne ved høstningsmetoderne de samme, såsom at de har et højt energiforbrug ved centrifugeringen.

Høstning af alger

Der findes mange forskellige måder at høste alger på i industrien. I dette afsnit vil vi komme ind på nogle af disse metoder. I industrien er det vigtigt at metoderne man bruger til at høste algerne på er hurtig og effektiv, det er derfor vigtigt at man vælger den rigtige metode til at høste sine alger. Den metode vi brugte til vores laboratoriums forsøg var delt op i to, den første var centrifugering for at få algerne delt fra vandet. Dette er forstadiet til frysetørring eller spraytørring. Frysetørring bruges ikke på en industriel skala, idet det vil tage for lang tid og det ville være for dyrt i omkostning. Centrifugering er en af de mange måder at adskille vandet fra algerne på. Vi brugte selv denne proces i vores eget forsøg hvor den er beskrevet.

Spraytørring

Spray drying processen fungerer ved, at man har en væske som fx algekultur som man vil sprøjte gennem en dyse for at væsken bliver forstøvet inde i en stor tank. Inde i tanken vil der så også være et indtag til varm gas, på denne måde vil støvpartiklerne med alger blive tørret og man vil kunne høste de tørrede alger i bunden af tanken hvor der vil være en form for membran der gør at gassen kan slippe ud, men samtidigt også holder på algerne. Denne metode er kan nemt skaleres og den er billigere end for eksempel frysetørring der er meget energikrævende. Den beskrevne proces kan også ses her under (Jacob-Lopes et al., 2020).



Spraytørring: Jacob-Lopes et al., 2020

Biotilgængelighed

Efter spray- eller frysetørring vil mikroalgerne være biotilgængelige for mennesker.

Biotilgængelighed er det der gør at mennesker kan optage næringsstoffer og mineraler i fødevarer, og i forbindelse med algerne, så kræver det at cellevæggen nedbrydes (Bleakley & Hayes, 2017).

Delkonklusion

Vi kan konkludere efter denne analyse at åbne damme er den billigste og det nemmeste at konstruere og vedligeholde, men det fungerer kun optimalt i tropisk klima. Denne metode er dertil ikke hensigtsmæssigt at bruge i Danmark, og det er desuden også svært at undgå kontaminering. Bioreaktor og fotobioreaktor er den mest lovende teknologi, idet denne teknologi kan opnå et højt produktionsniveau og dermed skabe en høj mængde biomasse. Problemet ved hetero- og fototrofiske bioreaktorer er, at de har højere produktionsomkostninger på grund af det høje energi og vandforbrug. Den heterotrofisk metode, bruger mindre energi fordi den ikke udnytter fotosyntese. Til gengæld skal der tilsættes flere næringsstoffer i mediet for at den kan gro optimalt. Begge former for bioreaktor udnytter de samme former for høstningsmetoder, hvilket ikke er til gavn for nogle af teknologierne, da disse metoder enten er ineffektive eller meget dyrt i omkostninger.

Komparativ livscyklusanalyse af proteinkilder

Denne komparative livscyklusanalyse er udformet primært i en modellering af systemafgrænsning fra cradle-to-gate for mikroalger samt en tabel over sammenlignelige functional units, således at begge produktionsformer er ligeværdige, hvilket vil blive uddybet gennem analysen.

Oversigt over livscyklusanalyserne

Denne komparative livscyklusanalyse vil med udgangspunkt i troværdige kilder, som er peer to peer godkendte, således at der kan opstilles en retfærdig og sammenlignelig komparativ analyse af begge fødevarerproduktionsformer. Empirien er valgt på det grundlag, at der endnu ikke eksisterer komplet standardiserede metoder til at lave komparative LCA'er, hvilket besværliggør metoden, og der dermed må nøje udvælges og udregnes data, således at de er sammenlignelige.

Livscyklusanalysens data for svinekødsproduktion er udvundet fra NGO'en SEGES' svinekødsproduktionsrapport, som er blevet fremstillet i samarbejde med Aarhus Universitets Institut for agroøkologi og Center for Klima & Bæredygtighed.

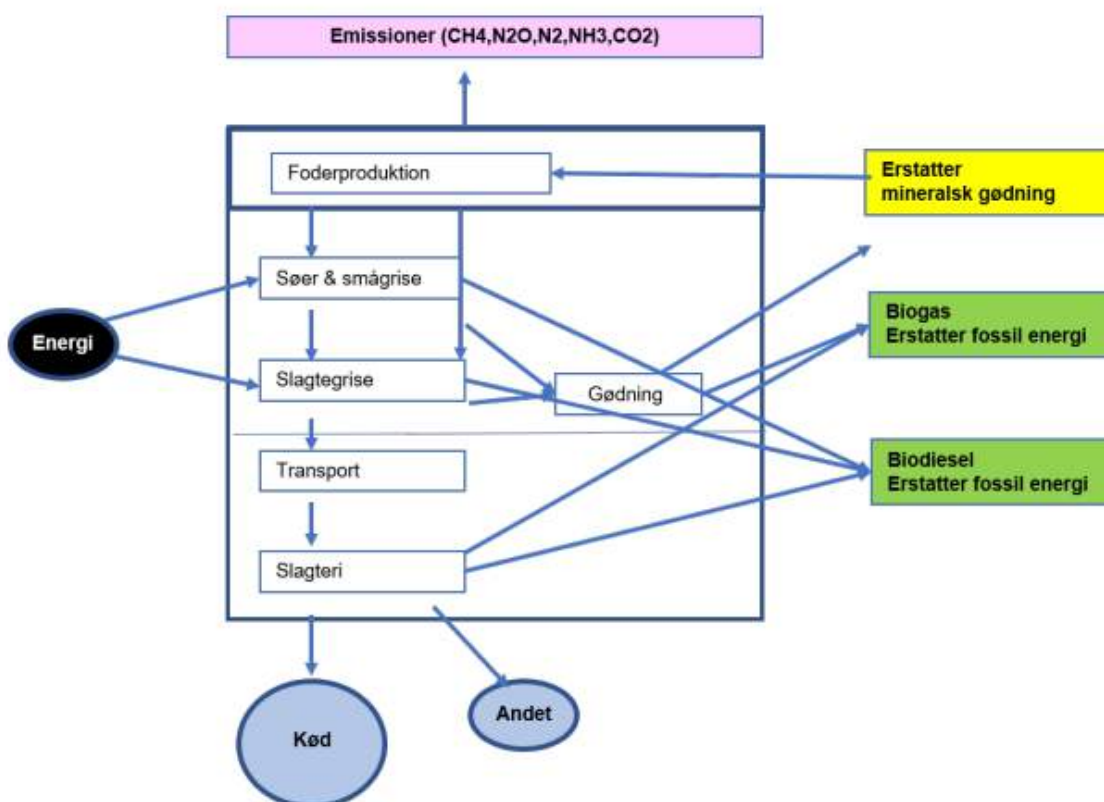
Livscyklusanalysens data for algeproduktionen er udvundet af et forskersamarbejde fra German Institute of Food Technologies, Institute for Food and Environmental Research og Institute for Sustainable and Environmental Chemistry.

Begge LCA'er er derudover systemafgrænset til *cradle-to-gate*, som er forklaret i metodeafsnittet under komparativ livscyklusanalyse.

Omfang af livscyklusanalyse i svinekødsproduktion af SEGES

Denne LCA er blevet afgrænset således at, den ikke analyserer energiforbruget af grisenes opvækst samt det færdige kødprodukts CO₂-udledning efter det har forladt slagteriet. Disse systemafgrænsninger kan ses på nedenstående figur 1.

I figur 1 er illustreret nogle af de væsentligste input og output i produktionskæden for grisekød.



Figur 1. Systemafgrænsning og væsentlige input og output

På figur 1 ses hvilke outputs der bliver analyseret i LCA'en, såsom emissioner og biogas. LCA'en analyserer 8 forskellige danske svinekødsproduktioner, som tilsammen har 20 produktionsenheder. I LCA'en er der blevet lavet beregninger for 1) Klimaeffekter, 2) Ændringer i Jordens kulstofpulje, 3) Arealforbrug. Vi kommer til at fokusere på punkt 1, til vores sammenligning. Alle udregninger i LCA'en tager udgangspunkt i et gennemsnitligt slagtesvins vægt i en standard svineindustri. I LCA'en er foderet blevet beregnet ud fra danske kornafgrøder og yderligere importeret proteinfoder.

Omfang i livscyklusanalyse for algeproduktion af Smetana et al., 2017

Denne LCA af Smetana et al.: "Autotrophic and heterotrophic microalgae and cyanobacteria cultivation for food and feed: life cycle assessment" analyserer flere forskellige metoder for kultiveringen af alger, hvorved denne LCA udarbejdes ud fra den metode der hedder HTF, som står for heterotrofisk fermentering. Det forekommer også beskrevet som "CHTF", hvilket betyder *Chlorella Vulgaris* heterotrofisk fermentering. Denne LCA er udformet ved kun at tage udgangspunkt i CHTF, når den står beskrevet i modeller. Grundlaget for dette er, at vi gennem vores teknologianalyse har konkluderet, at den heterotrofiske metode er bedst egnet på baggrund af klimaet og de økonomiske omkostninger.

Systemafgrænsning til sammenligning

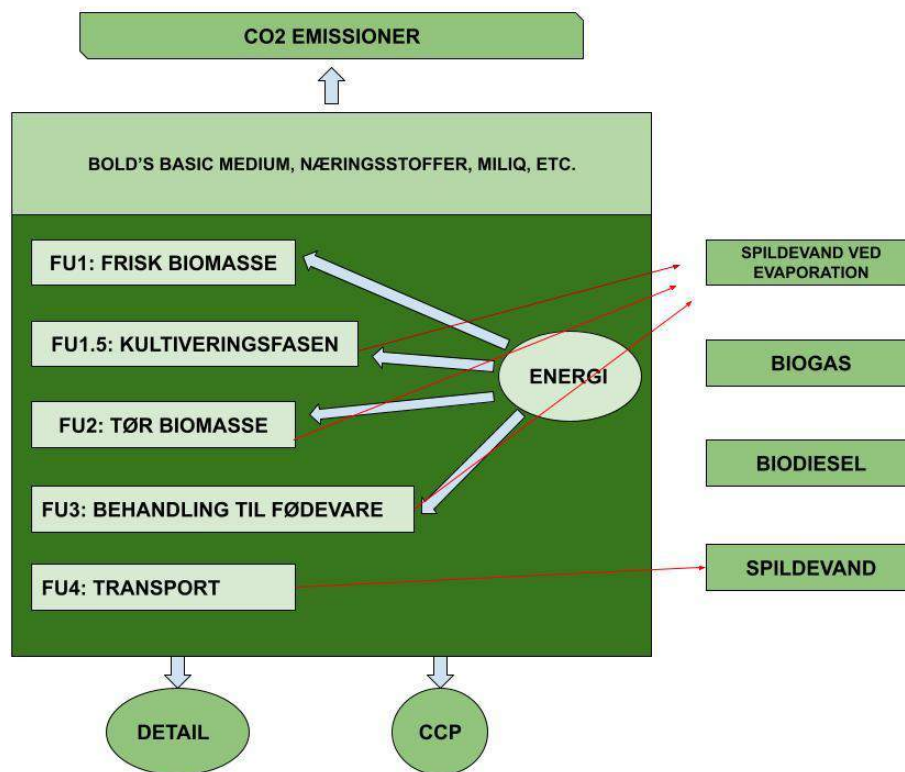
Yderligere systemafgrænsninger er foretaget, således at vi kan lave en mere retfærdig sammenligning mellem de 2 produktionsformer. Herved afgrænses der for arealforbrug, vandforbrug og gødning i LCA'en, da vi vælger at fokusere på CO₂ pr kg protein. Vi anerkender det bidrager til CO₂ udslippet, og kunne være interessant data at analysere, men grundet vores begrænsede tidsramme, har vi valgt at afgrænse os fra dette, og udnytte vores tidsforbrug på de vigtigste faktorer. Omfanget af denne LCA vil tage udgangspunkt i danske produktionsforhold, hvilket gør det lettere at identificere og analysere data samt de teknologiske barrierer, grundet det samme klima. Dette muliggør også en mere retfærdig og gennemskuelig systemafgrænsning i henhold til den komparative livscyklusanalyse.

Cradle-To-Gate Life Cycle Assessment Comparative Analysis

I en LCA er det essentielt at lave sammenlignelige enheder, som bliver beskrevet som Functional Units (FU). Dette bruges som en retfærdig måde at anskue hvert stadie i systemet, ved at dele dem op i kategoriserede enheder. Nedenfor er opstillet en tabel over, hvilke functional units vi mener er retfærdigt sammenlignelige for produktionssystemet:

Alger - functional units	Svin - functional units
FU1: Cultivation	FU1: Foder
FU1.2: Initial processing	FU2: Smågrise
FU2: Whole dry microalgae processing	FU3: Slagtegrise
FU2.2: Fractionation processing	FU4: Transport
FU3: Transport	FU5: Slagteri

Vi har yderligere valgt at konstruere en sammenlignelig model af svinekøds-LCA'ens systemafgrænsningsfigur, således at sammenlignelsen bliver mere visuel forståelig. Modellen forholder sig tro til de systemafgrænsninger algeproduktions-LCA'en af Smetana et al., har opstillet:



Systemafgrænsning af væsentlige input og output af algeproduktion, egen model, 2022

Begrebsafklaring til LCA'erne:

FB: Frisk Biomasse, hvilket refererer til algerne som man ville finde dem i naturen

DPP: Dry protein powder. Er den tørre algemasse, der skal behandles yderligere før den kan spises.

PMP: Protein meal powder, som refererer til det færdige algeprodukt, der er blevet behandlet til indtagelse af mennesker.

Livscyklusopgørelse af miljøpåvirkninger (LCI)

Nedenfor ses en tabel over miljøpåvirkningskategorier samt indikatorer, som udgør en LCI. Denne model er udarbejdet som analyseredskab af gruppen selv. Heri består tallene fra begge livscyklusanalyser af Seges og Smetana et al., men er udregnet til at være sammenlignelige;

MIKROALGER:	BEREGNING	CO_2
INPUT:	0,17 kWh Electricity * 145g CO ₂	24,6g
FU1: Kultivering og initial kultivering	0,007 kWh af 145g CO ₂ er 0,98 g CO ₂ pr kg FB Vi skal bruge 7kg FB for FU2 0,98 g CO ₂ * 7 kg FB = 6,86 g CO ₂	6,86 g CO ₂ for 7kg FB
FU2: Whole dry microalgae processing og Fractionation processing	145g CO ₂ * 14,25 kWh = 2066g CO ₂ 0,7 kWh * 145g = 105g CO ₂	2,06kg CO ₂ + 101,5g = 2,161,5kg CO ₂
FU3: TRANSPORT		883g CO ₂ pr km
OUTPUT:	6,1 Wastewater 0,5 Evaporated water 0,13 kg CO ₂	0,13kg CO ₂
OPSUMMERING		I ALT: 1 kg dpp = 2,323 kg CO₂ 148,2 kg CO₂ pr 63,8 kg DPP
SVIN	BEREGNING	
FU1: Input/Foder	636,8 pr kg tørstof 1,4 * 180 = 252	1,4kg pr dag pr gris 252 kg for 6 måneders levetid
FU2: SMÅGRISE	1,02 * 31 = 31,62	31,62kg CO ₂ pr 100 år
FU3: SLAGTEGRISE	1,02 * 112 = 114,24	114,24kg CO ₂ pr 100 år
FU4: TRANSPORT		0,883kg CO ₂ pr km
FU5: SLAGTERI	$\frac{363335 \text{ dyr}}{846000 \text{ ton } CO_2} = 0,429 \text{ TON } CO_2$ $\frac{397}{420} = 92,5 = 7,5\%$ 7,5 * 429/100 = 32kg CO ₂	7,5% 32kg CO ₂ pr gris
OUTPUT:	Gødning, Metan	
OPSUMMERING		I ALT: 429 kg CO₂ pr gris

Tabel over miljøpåvirkningskategorier- og indikatorer (LCI), egen model, 2022

Livscyklusanalyse - Mikroalger:

INPUT:

I algeproduktionen bliver der tilsat en række forskellige næringsstoffer og kemikalier i mediet (biokatalysator), dette har vi beskrevet tidligere i opgaven ved eget forsøg og teknologi analyse. Det vi ønsker at gennemgå under algernes input fase, er hvor meget CO₂ der bliver produceret pr kWh af elektricitet. Eftersom vi tager udgangspunkt i en dansk algeproduktion, analyserer vi ud fra hvor meget CO₂ en kWh strøm producerer i Danmark, som er 145g CO₂ pr kWh (*Dansk elproduktion, 2020*).

FU1: Kultivering af alger og initial processing

I dette afsnit analyseres der hvor meget CO₂ denne proces producerer ud fra kWh elektricitet. Ud fra beregningerne i LCA'en, kan vi konkludere at starten af algekultiveringen udleder omkring 145g CO₂ pr kWh, da kultiveringen bruger omkring 0,007 kWh vil det altså sige at kultiveringen udleder 0,98g CO₂ pr 1 kg algekultur. For at kunne starte FU2 skal vi dog bruge 7 kg frisk biomasse som illustreret i bilag 3. De 0,98g CO₂ multipliceres med 7 og giver 6,86 g CO₂. Denne udregning ser således ud.

$$7kg * 0,98g CO_2 = 6,86g CO_2$$

FU2: Whole dry microalgae processing og fractionation processing

Denne FU2 er høstningsprocessen. I denne fase vil vandet og algerne blive separeret, som nævnt i vores teknologianalyse, vil dette ofte foregå gennem centrifugering og spraytørring. Denne process er den del af algekultiveringen som kræver mest energi og derfor også den som udleder mest CO₂, ud over transporten alt efter, hvor langt det skal transporteres. FU2 processen udleder 2.06kg CO₂ i alt, hvori størstedelen af CO₂ -aftrykket kommer fra når biomassen behandles fra flydende biomasse til pulverform. Det høje CO₂ -aftryk er forårsaget af den høje mængde af elektricitet kræves under centrifugeringen. Udregninger er blevet gjort således:

$$145 g CO_2 \cdot 14,25 kWh = 2066 g CO_2$$

Der multipliceres derfor 14,25 til beregningen, da vi skal bruge 14,25kWh til at producerer DPP. Den næste del af processen skal pulveret behandles til et spiseligt pulver. Dette bliver som tidligere beskrevet gjort ved at spraytørre pulveret. Spraytørring bruger 0,7 kWh i timen, derfor ser vores udregning således ud:

$$145 \text{ g} \cdot 0,7 \text{ kWh} = 101,5 \text{ g}$$

Afslutningsvis lægges begge CO₂ beregninger sammen til ét tal, for at opnå en samlet påvirkning ud fra FU2.

$$2,06 \text{ kg} + 0,105 \text{ g} = 2.161,5 \text{ g}$$

Derfor er det endelige tal for FU2 enheden 2,1 kg CO₂ for 1 kg algepulver, da de 7 kg FB bliver lavet om til pulver.

FU3: Transport

Ifølge transportmagasinet udleder en lastbil i gennemsnit. 883 g CO₂ pr liter diesel. Dette tal er afhængigt af hvor meget last der er i en lastbil, og kan dermed svinge (*Lastbiler Skal Forurene Langt Mindre - CO₂-Udslippet Skal Ned*, 2018). Dette gennemsnitlige tal vil være gældende for både svineproduktionen og algeproduktion og udgøre FU3.

Livscyklusanalyse - Svinekødsproduktion:

INPUT:

Inputtet i svineproduktionen er betegnet som det foder (tørstof), som grisen spiser igennem dens opvækst. Hver af de 8 svineproduktioner, der er blevet analyseret i LCA'en udarbejdet af Seges, har flere forskellige variationer af tørstof samt miljøpåvirkninger. Disse kan ses i tabellen i bilag 2.

Tabellen giver et oversigt over hvor stor en procentdel af et kg tørstof, der består af et givent foder. I række 1 på bilag 2 ses det, at 44% af et kg tørstof består af byg. Yderst til højre ses det, hvor meget CO₂ g der er pr kg af tørstof. Byg indeholder derfor 502g CO₂ pr kg byg.

Den næste væsentlige parameter for analysen er hvor meget CO₂ hver svinefarm udleder pr kg tørstof. Nedenfor, illustreres hvordan gennemsnittet er udregnet fra bygs CO₂ tal fra svineproduktion 1 (Bilag 2). Udregning ser således ud:

$$502 \text{ g} \cdot 0,44 = 220,88 \text{ g CO}_2$$

Dette skal gentages for alle de forskellige typer af tørstof, hvori det derefter skal sammenlægges til et gennemsnitligt resultat. Det endelige resultat for CO₂ pr kg tørstof ved svineproduktion 1 er 639 g CO₂ pr kg tørstof. Dette gentog vi indtil vi havde et endeligt CO₂ tal for alle 8 svineproduktioner, og det tal er 636 g CO₂ pr kg tørstof. Eftersom et standard slagtesvin spiser 2,3 kg tørstof om dagen, er det muligt at identificere det endelige input ud fra denne udregning:

$$636 \text{ g CO}_2 \cdot 2,3 \text{ kg} = 1462,8 \text{ g CO}_2$$

Det betyder at et helt normalt slagtesvin producerer 1,4 kg CO₂ dagligt igennem foder. Dette belyses yderligere senere i analysen.

FU2 Smågrise

FU2 enheden omfatter smågrise. Denne viser, hvor meget CO₂ smågrise udleder bare at leve - dette er udregnet pr 100 år. Denne enhed omfatter: at trække vejret, udlede naturgasser og generelt bare at stå i svinestalden uden at spise eller drikke. Smågrise bliver betegnet som en gris, der har levet mellem 4-11 uger (*Produktion Af Grise i Danmark*, n.d.). Fra de bliver født til de bliver til slagtesvin producerer de 31,62 kg CO₂ pr 100 år. Vi er kommet frem til dette resultat ved at bruge dataen fra bilag 4. I tabellen ses det at en "vægt ind" er 31 kg i gennemsnit, hvilket betyder at en smågris vejer ca. 31 kg. Ydermere, ses det i bilag 5 at en smågris producerer i gennemsnit 1,02 CO₂ pr kg af levende vægt, udregningen af dette ser således ud:

$$31 \text{ kg} \cdot 1,02 \text{ kg} = 31,62 \text{ kg}$$

FU3 Slagtesvin

FU3 betegner slagtesvin som er en gris med en alder på 11 uger - 5 måneder. Den samme fremgangsmåde er blevet benyttet her som der blev brugt til beregningerne for smågrise. Udregningen for slagtesvins CO₂ pr kg levende vægt ses nedenfor:

$$112 \text{ kg} \cdot 1,02 \text{ kg} = 114,24 \text{ kg}$$

Det vil altså betyde, at et slagtesvin producerer 114,24 kg CO₂ pr 100 år, uden at inkludere andre CO₂ -producerende elementer såsom foder, grundet dette er udregnet i inputtet.

FU4 Transport

Som nævnt ovenfor, vil denne enhed blive udregnet ligevis med algeproduktionen ud fra gennemsnitlige tal af transport.

FU5 Slagteriet

Der bliver udledt 32 kg CO₂ pr gris slagtet. Vi har brugt tal fra Danish Crowns bæredygtigheds rapport fra 2019 (Danish Crown, 2019). For at identificere hvor stor en mængde af CO₂ udslip der forekommer ved slagtingen af svinene af hele dens levetid, skal der beregnes således:

$$\frac{363335 \text{ Svin}}{846000 \text{ CO}_2 \text{ TON}} = 0,429 \text{ TON CO}_2$$

Ifølge Danish Crown udleder hele processen 429 kg CO₂ pr gris. Der mangler data for hvor mange kg CO₂ slagteriet udgør. Ifølge Danish Crown, kommer 8% af hele svinets CO₂ produktion fra slagteriet. Vi kan udregne hvor meget CO₂ slagteriet udgør ud fra vores egne tal. Idet vi har udregnet at der produceres 397 kg CO₂ pr gris i processen op til slagtingen. Dette er fra svinet er født til den er klar til slagting inklusiv foder. Der er en difference på 32 kg fra vores udregning på 397 kg op til Danish Crowns udregning på 429 kg. Det er ikke det mest præcise tal på, hvor meget CO₂ slagtingen udgør da slagterier også fragter svinene til andre lande for at få dem slagtet. Vi kan derfor ikke finde de helt præcise tal på slagteriernes

CO₂ udslip, men vi vurderer at tallet er tæt nok på virkeligheden. Ud fra vores 32 kg CO₂ vil det betyde at slagtingen står for 7,5% CO₂ udslippet. Danish Crown skriver at slagtingen står for 8% af slagtingen (Danish Crown, 2019), hvilket gør at vores tal er relativt repræsentativt.

Delkonklusion

Gennem udarbejdelsen af den komparative LCA er der blevet analyseret at der bliver produceret 429 kg CO₂ pr gris, hvor det kun er 57% af grisen der er spiselig, hvilket vil sige 63,8 kg kød. Ydermere, vil en algeproduktion producere 148,2 kg CO₂ pr samme spiselige mængde. Algerne vil altså producere 2,8 gange mindre CO₂ for den samme mængde spiselige produkt, og vil producere 5,6 gange mere protein end grisene.

Diskussion

Vi vil i vores diskussion vurdere, hvorvidt mikroalger har en mulighed for at blive en bæredygtig proteinkilde på det danske fødevaremarked ud fra Triple Bottom Line teorien. Vi har i vores teknologiske analyse kunne konkludere, at spiselige alger som *Chlorella vulgaris* har mulighed for at blive produceret i stor skala. Dette er allerede et fænomen, dog primært uden for Europa. På trods af teknologiens eksisterende tilgængelighed, er der flere parametre som gør at det ikke er effektivt. Der er mange teknologiske barrierer som holder algeproduktionen tilbage, eksempelvis; kontaminering, dårlige høstningsmetoder, højt vand- og energiforbrug. Disse teknologiske barrierer gør, at det er svært for et firma og at få stordriftsfordele ud af algerne. Vi ved også at der kun er ét firma i Danmark som producerer alger kommercielt som supplement, hvilket sætter fokus på, hvor svært det er at opsætte en algeproduktion i Danmark. Firmaet Aliga, som er de eneste på markedet, benytter en heterotrofisk fermenteringsreaktor (Jørgensen, Olsen, 2021). Vi mener også at den heterotrofiske metode vil være den bedste metode til kultivering for fremtiden, da den heterotrofiske metode har muligheden for at producere den højeste mængde af biomasse. Den fotoautotrofiske metode producerer mindre biomasse, og kræver lys. Dette forøger energiforbruget yderligere. Der er som tidligere nævnt mange parametre som skal udføres korrekt under kultivering, for den optimale mængde af biomasse kan opnås, såsom den korrekte mængde af medium i forhold til vandstanden. Vi erfarede fra vores egen algekultivering, at vi fik en langt mindre mængde biomasse end forventet. Fejlkilder er essentielt at tage højde for, hvis alger skal produceres i større skala. Rent teknologisk bliver algeproduktionen holdt tilbage af barrierer og utilsigtede effekter, som skaber en forringelse under produktionen. Dette er forventeligt en af de helt store grunde til at, alge som proteinkilde ikke er specielt udbredt.

Vi udregnede i vores LCA at *Chlorella vulgaris* indeholder 5,6 gange mere protein, end det svinekød som bliver produceret i Danmark. Så hvis alger blev en del af danskernes proteinkilder, vil det uden tvivl mindske underernæring for befolkningen med dens høje proteinindhold, og talrige vitaminer såsom magnesium og B12. Selvom vores fokus i rapporten har været på et protein supplement, anerkender vi også, at alger har en masse andre givende sundhedsaspekter, såsom tidligere nævnt; reduktion af inflammation og forhøjet blodtryk.

Algeproduktionen er meget klimavenlig i relation til CO₂ udslip. Vi har i vores komparative LCA fundet ud af at alger producerer cirka 3 gange mindre CO₂ for samme mængde af spiselig mad som svineproduktionen, hvilket er en enorm forskel i CO₂ udslip. Den danske CO₂ udledning kan derfor reduceres markant, såfremt at danskerne substituerede bare en del af deres ugentlige proteinindtag med chlorella.

Som vi nævnte i den komparative LCA, så har vi lavet nogle afgrænsninger, som gør at denne sammenligning på svine- og algeproduktionen er lidt skæv. Vi har for eksempel afgrænset os fra vandforbrug, hvilket også er en vigtig detalje at overveje når der skal diskuteres om et produkt er bæredygtigt. Vi har i den teknologiske analyse konstateret, at de heterotrofiske og fotoautotrofiske har et meget højt vandforbrug, så selvom teknologien har et lavt CO₂ udslip, er det ikke ensbetydende med, at den er miljøvenlig. Spildevand under algekultivering kan også have konsekvenser for biodiversiteten, hvis det bare bliver ledt ud i havet. Der er dog muligheder for at genbruge vandet fra bioreaktoren, dog vil dette betyde ekstra omkostninger, da rensning af spildevand er en dyr proces som vil betyde, at alge kultivering får et endnu højere energiforbrug og større produktionsomkostninger. For at opsummere, så vil produktion af mikroalger i stor skala, på trods af det høje vandforbrug, være bedre for klimaet end svineproduktionen er i dag.

Vi vil nu argumentere for hvorledes mikroalger som en fødevarer er en bæredygtig proteinkilde på alle tre bundlinjer; people, profit og planet. For at der kan argumenteres for det må vi overveje om alger passer ind i de tre punkter, profit, mennesker og planeten samt hvilke løftepunkter som kan hjælpe med at ændre produktionssystemet og gøre det mere effektivt. I algeproduktion er det mest besværlige punkt at opnå profit, der gør det økonomisk rentabelt. Det er primært teknologien, som gør dette punkt svært at opfylde i Danmark, da det ikke er muligt at benytte open ponds i andet end sommerperioden.

Den økonomiske bundlinje

Hvis mikroalger skal have en positiv påvirkning på den økonomiske bundlinje, er der disse løftepunkter, der kan arbejdes med, som specielt ligger i de eksisterende innovationsbegrænsninger. Disse begrænsninger forekommer, som nævnt i redegørelsen, i form af den hindrende EU-lovgivning for novel foods, hvilket skaber en barriere for andre mikroalgers implementering og spredning på markedet. Dertil, forhindrer organoleptiske træk såsom lugt, smag og pigmentering spredningen af produktet, da det gør fødevarer mindre appetitlig. Mikroalger har dog allerede etableret en global markedsstørrelse på 1,8 milliarder USD, og en CAGR på 10,3% fra 2021 til 2023. Der ligger altså en enorm mulighed for spredningen af dette bioteknologiske produkt og bioreaktorer på et lokalt og globalt plan, grundet den stigende bevidsthed om essentielle næringsstoffer for kroppens optimale funktionalitet. Ved investering i bioteknologisk algeproduktion, kan dette skabe et incitament til innovation samt øge Danmarks BNP på længere sigt.

Muligheden for spredningen er dog gode for denne teknologi, da den ikke nødvendigvis skal substituere eksisterende agerjord eller svinefarme, og kræver langt mindre produktionshektarer for at gro. Teknologien har som nævnt før mange produktionsformer, og kan eksempelvis gøres indendørs vertikalt i fotobioreaktorer, og dermed behøver teknologien ikke at konkurrere om produktionshektarer med eksempelvis svineproduktion.

Hvis det for danske virksomheder, såsom Aliga, skal kunne producere mikroalger rentabelt, så kræver det at der kan reduceres både energi- og vandforbrugsomkostninger samt skabe en optimering af høstningsmetoderne. Disse løftepunkter for spredningen af teknologien er løftepunkter, der går under kategorierne for systemændringer: *parametre*. Disse parametre er tal og konstanter som kan ændres relativt simpelt ved investering i innovation og i selve bioreaktorteknologien. Det er dog mere vanskeligt og effektivt at få disse investeringer til at ske, da de eksisterende *rules of the system; altså incitament, straffe og begrænsninger*, er det der er det mest effektive løftepunkt for dette system. Det er væsentligt mere komplekst at ændre lovgivningen og skabe incitament for investeringer i teknologien versus at reducere energiomkostninger og effektivisere materialeflowet.

Der opstår et trade-off, ved produktionen af mikroalger, idet at det er mere økonomisk rentabelt at spraytørre og centrifugere biomassen, da det er mere effektivt, men det er dog dyrt. Gravity sedimentation er ineffektivt, men billigt, og frysetørring er ineffektivt på industriel skala og dyrt, men det bibeholder dog et højere næringsindhold. Dette er væsentlige trade-offs, der er værd at overveje ved opstart af mikroalgeproduktion.

Den sociale bundlinje

Den sociale bundlinje påvirkes i omfanget af at flere mennesker konsumerer mikroalger i deres daglige kost, hvilket øger deres daglige næringsindtag af protein, magnesium, B12, omega-3 fedtsyrer etc. Dette kan have betydelige sundhedsmæssige indvirkninger at den øgede sundhedsbevidsthed er stigende, og dette kan øge folkesundheden markant ved højere mængde næringsstoffer, hvilket kan resultere i færre fejl- og underernærede samt overvægtige mennesker. Dette er, som nævnt tidligere, en stor mulighed for mikroalger som proteinkilde, med den stigende bevidsthed, men dog forekommer der en stærk barriere i de organoleptiske træk, smag og lugt, for mikroalgens spredning. Løftepunktet på den sociale bundlinje kunne være endnu større bevidsthed for befolkningen i Danmark.

Det er dermed *structure of information flows*, som skal ændres i systemet, for at optimere spredningen af innovationen. En øget bevidsthed om fordele ved daglig indtag af mikroalger kunne potentielt modvirke de organoleptiske træk. Dette er en relativ simpel handling, men kræver økonomisk incitament til at skabe informationskampagner eller lignende aktiviteter. Sidst, så vil investeringer i algeproduktion kunne påvirke den sociale bundlinje positivt ved at skabe arbejdspladser i hele Danmark, da denne produktionsform er en flexible teknologi, som ikke kræver agerjord.

Den miljømæssige bundlinje

Det sidste punkt på den tredobbelte bundlinje er planet.

Som resultat af livscyklusanalyserne, så har vi kunne konkludere at produktionen for mikroalger producerer cirka 3 gange mindre CO₂ for samme mængde af spiselig mad som svineproduktionen, idet der forekommer et væsentligt mindre ressourcebrug. Mikroalgens produktion som fødevarer, påvirker derfor den miljømæssige bundlinje markant mere skånsomt end svineproduktionen gør. Ressourceforbruget for algeproduktion er mere

skånsomt i form af at der ikke forekommer en stor mængde restprodukt og spild, da det kun er evaporeret vand der forlader den økonomiske cirkel, hvortil både spildevand og algekulturen kan genanvendes til ny produktion - dog ved rensning af vandet og alger, som vil tilføje flere produktionsomkostninger og dermed et højere CO₂-aftryk.

En tredje ting, som kunne påvirke den miljømæssige bundlinje markant er hvis mikroalger som omega-3-kilde kunne substituere andre omega-3-kilder fra henholdsvis fisk. Som nævnt i redegørelsen, så er produktion af animalske fødevarer (kød, fisk, skaldyr) den der udleder mest CO₂. Denne substitution ville dette kunne bidrage til en lavere mængde drivhusgasser, såfremt at efterspørgslen faldt på fisk, hvilket dertil også kunne skabe flere positive effekter for biodiversiteten i havene. Dette kunne eksempelvis være færre antal fiskenet og mindre bifangst. Sidst, så kan de færre antal hektarer, som det kræver for at producere mikroalger, kunne fremme biodiversiteten ekstremt positivt. Dette kunne ske ved at den jord i stedet kunne benyttes til eksempelvis dyrkning af skov og vild natur.

Produktionen af mikroalger som fødevarer, vil derfor med det lavere CO₂-aftryk, de færre anvendte ressourcer og de tidligere nævnte færre produktionshektarer, bidrager alt sammen til en markant positiv påvirkning på ressourceregnskabet for Overshoot Day.

Der forekommer dog væsentlige barrierer for at mikroalger kan substituere kød som proteinkilde eller omega-3-kilder som fiskeolie. Dette overordnede løftepunkt fæstnes overvejende i menneskers tankegang; hensigt, opfattelse, intention af systemet, og er den sværeste og mest effektive kategori indenfor løftepunkter at arbejde med. Det kræver et meget tydeligt fælles mål for systemændringen i paradigmet, samt et meget solidt fundament for denne handling. Den eksisterende grønne omstilling er et argument for hvorfor dette langsomt er ved at udvikle sig til en systemisk ændring i samfundet. Det er en langsom og svær proces, men en vigtig og effektiv proces, såfremt at Jorden skal opnå at kunne udskyde Overshoot Day, sikre den globale fødevarer sikkerhed samt sørge for at der er nok ressourcer i fremtiden.

Konklusion

Vi kan konkludere at mikroalgers potentiale for at blive en fremtidig proteinkilde foreligger primært ved det høje proteinindhold, de mange essentielle næringsstoffer samt det lave CO₂-aftryk. Vi har kunne identificere mikroalgers relevante egenskaber gennem vores eksperimentelle forsøgsmetode samt læring af god laboratoriepraksis, hvorved vi fik frembragt resultater såsom fejlkilder og succeskriterier for kultiveringen af mikroalger. De vigtigste fejlkilder og succeskriterier for vores kultivering af mikroalger er præcisionen af vandtilførslen, da det kan påvirke mængden af biomassen markant og nøjagtigheden ved opmåling og opdeling, ved centrifugeringen, idet det også frembringer enormt spild ved produktionen. Dette er vores vigtigste læring ved kultivering af mikroalgerne. Vi har dertil kunne modellere en visuel model for udviklingen af vores mikroalger, hvilket samtidig har gjort at vi øjensynligt kunne følge vækstfasen. Vi kan dermed konkludere at præcision ved høstning er essentielt for at få et godt udbytte, idet tid og håndtering af algerne er væsentlige for mængden af spild.

Gennem vores teknologiske analyse af produktionsformerne for mikroalger samt vores opnåede forståelse af teknologien gennem vores forsøgsopstilling i AlgeLab, kan vi konkludere at de teknologiske barrierer og utilsigtede effekter ved produktionen forekommer tydeligst i det høje energi- og vandforbrug ved brug af heterotrofisk bioreaktor samt høstningsmetoderne, idet det er højt omkostningsfuldt og skaber en klar barriere for spredningen af teknologien. På trods af at markedet for mikroalger er støt stigende, med en flerårig vækstrate på 10,3% fra 2021 til 2028, så forekommer der dog en væsentlig barriere ved de organoleptiske, idet pigmentering, luft og smag gør mikroalger som fødevarer mindre appetitlig.

Ydermere, kan vi konkludere, gennem modellering af vores komparative livscyklusanalyse, at produktionen af mikroalger er mere klimavenlig end svinekødsproduktion. Produktionen for mikroalger har et CO₂-udslip, der er 2,8 gange mindre end svinekødsproduktionen, og hvortil proteinindholdet i mikroalger er 5,6 gange mere end i den spiselige del af svinekød. Vi anerkender dog potentielle fejl eller mulig ukorrekt vejning af sammenligningsparametrene, idet metoden er kompliceret.

Vi kan ud fra vores eksperimentelle læringsmetode ved forsøg, den teknologiske analyse af produktionsformerne samt vores livscyklusanalyse konkludere følgende mulige løftepunkter for spredningen af mikroalger som fødevarer ud fra den tredobbelte bundlinje. Løftepunkterne for den sociale bundlinje forekommer ved en positiv påvirkning i form af en øget folkesundhed i form af højere mængde protein og næringsstoffer såsom omega-3, B12, magnesium, hvilket udgør en stor mulighed for markedet af spiselige mikroalger.

På den miljømæssige bundlinje kan mikroalger påvirke markant positivt ved et lavere CO₂-aftryk ved produktion, grundet det lavere ressourceforbrug samt mulig genanvendelse af dem, og dertil potentielt set påvirke biodiversiteten hvis produktionen for mikroalger substituerer en del af den animalske produktion, da der derfor vil være mulighed for udnyttelse af landareal til dyrkning af skov og vild natur.

Sidst, forekommer der væsentlige løftepunkter på den miljømæssige bundlinje, idet mikroalger påvirker både positivt og negativt. Det forekommer som en mulig positiv påvirkning ved at skabe mulige arbejdspladser og en stigende vækst i BNP ved investering i teknologien, grundet den stigende vækst i markedet for spiselige mikroalger samt den stigende sundhedsbevidsthed. Der forekommer dog også mulige negative påvirkninger på den økonomiske bundlinje. Disse optræder ved de høje energi- og produktionsomkostninger i form af elektricitet og vandforbrug. Dertil, forekommer der en vigtig barriere for spredningen af teknologien, idet produktionen af mikroalger ikke er specielt rentabelt grundet omkostningerne, hvilket gør det essentielt at der forekommer investeringer i teknologien for at optimere og effektivisere produktionsomkostningerne.

Vi kan dermed konkludere at spiselige mikroalger produceret med en heterotrofisk bioreaktor har et højt potentiale for at blive en fremtidig og mere bæredygtig proteinkilde. Det har den grundet at den påvirker den tredobbelte bundlinje overvejende positivt, og har en konkurrencemæssigt fordel i forhold til andre proteiner grundet den højere mængde protein samt lavere CO₂-aftryk.

Visuelle præsentation/produktion

Vi har valgt at vores visuelle produkt er todelt, den ene er vores flowchart der repræsenterer algekultiveringsprocessen, og den anden er vores færdige algemasse som vi har kultiveret. Disse to visuelle produkter vil vi medbringe til eksamen.

Litteraturliste

About. (2022, April 25). Earth Overshoot Day.

<https://www.overshootday.org/about/>

Alger er fremtidens bæredygtige superafgrøde. (2015, November 27). Videnskaben.

<https://videnskab.dk/miljo-naturvidenskab/alger-er-fremtidens-baeredygtige-superafgrøde>

Algorigin. (2022, January 11). *History of spirulina* –. Retrieved May 5, 2022, from

<https://algorigin.com/algae/spirulina/spirulina-history/>

Atwood, T., Campbell, P., Parish, H., Smith, T., Stirling, J., Vella, F., & Cammack, R. (2006).

Oxford Dictionary of Biochemistry and Molecular Biology (2nd ed.). Oxford University Press.

Akvakultur. (n.d.). Landbrug Og Fødevarer. Retrieved May 29, 2022, from

<https://lf.dk/viden-om/landbrugsproduktion/husdyr/akvakultur>

Bagchi, D. (2017). *Sustained Energy for Enhanced Human Functions and Activity* (1st ed.).

Academic Press.

Biotech Academy. (2021, March 17). *Fermenteringstank og - udstyr.*

<https://www.biotechacademy.dk/undervisning/gymnasiale-projekter/fermenteringsteknologi/fermenteringstank-og-udstyr/>

Biotechnological and environmental aspects. *Chemosphere*, 271, 1–9.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129800>

Bleakley, S., & Hayes, M. (2017). Algal Proteins: Extraction, Application, and Challenges Concerning Production. *MDPI*.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5447909/>

Brosnan, J. T. (2003). Interorgan Amino Acid Transport and its Regulation. *The Journal of Nutrition*, 133(6), 2068S-2072S. <https://doi.org/10.1093/jn/133.6.2068s>

Canelli, G., Tarnutzer, C., Carpine, R., Neutsch, L., Bolten, C. J., Dionisi, F., & Mathys, A. (2020). Biochemical and Nutritional Evaluation of *Chlorella* and *Auxenochlorella* Biomasses Relevant for Food Application. *Frontiers in Nutrition*, 7.

<https://doi.org/10.3389/fnut.2020.565996>

Chen, J., Wang, Y., Benemann, J. R., Zhang, X., Hu, H., & Qin, S. (2015). Microalgal industry in China: challenges and prospects. *Journal of Applied Phycology*, 28(2),

715–725. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0720-4>

Chisti, Y., & Moo-Young, M. (2003). Bioreactors. *Encyclopedia of Physical Science and Technology*, 247–271. <https://doi.org/10.1016/b0-12-227410-5/00067-3>

Christensen, T. B. (2021, November 10). *Modeller* [Slides]. Powerpoint.

<https://moodle.ruc.dk/mod/resource/view.php?id=357228>

Chung, D. D. L. (2017). Sonication. *Use of Sonication*.

Cichero, J. (2015). Texture-modified meals for hospital patients. *Modifying Food Texture*, 135–162. <https://doi.org/10.1016/b978-1-78242-334-8.00006-7>

Cruz, Y. R. (2018). Cultivation Systems of Microalgae for the Production of Biofuels. IntechOpen.

DAC. (2019). Hvad Er Bæredygtighed? *Hvad Er Bæredygtighed?*, 1–3.

Danish Crown. (2019). *Danish Crown bæredygtigheds rapport 2019–2020*.

https://www.danishcrown.com/media/6891/2019-2020_baeredygtighedsrapport.pdf

Danmarks Statistik. (2020). DST.dk.

<https://www.dst.dk/da/Site/Dst/Layouts/Main.aspx>

Dansk elproduktion. (2020, June 3). Energinet.

<https://energinet.dk/Om-nyheder/Nyheder/2020/06/03/Dansk-elproduktion-slog-i-2019-ny-graen-rekord-laveste-CO2-udledning-nogensinde>

Den cirkulære økonomi: Definition, betydning og fordele | Nyheder | Europa-Parlamentet.

(2022, April 20). Europa-Parlament. Retrieved May 28, 2022, from

<https://www.europarl.europa.eu/news/da/headlines/economy/20151201STO05603/den-cirkulære-okonomi-definition-betydning-og-fordele>

DOE Explains. . . Catalysts. (n.d.). Energy.Gov. Retrieved May 26, 2022, from <https://www.energy.gov/science/doe-explainscatalysts>

Duan, Y., & Shi, F. (2014). Bioreactor design for algal growth as a sustainable energy source. *Reactor and Process Design in Sustainable Energy Technology*, 27–60.
<https://doi.org/10.1016/b978-0-444-59566-9.00002-8>

Earth Overshoot Day 2021 Home - (2022, April 12). Earth Overshoot Day.
<https://www.overshootday.org/>

Eksperimenter. (n.d.). Metodeguiden eksperimenter. Retrieved April 27, 2022, from <https://metodeguiden.au.dk/eksperimenter>

EU. (2017, December). KOMMISSIONENS GENNEMFØRELSESFORORDNING (EU) 2017/2469.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32017R2469>

EU. (2017b, December). KOMMISSIONENS GENNEMFØRELSESFORORDNING (EU) 2017/2469. EU Kommissionen.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32017R2470>

European Food Safety Authority. (n.d.). *Novel food and traditional food applications: overview and procedure*. Retrieved May 5, 2022, from <https://www.efsa.europa.eu/en/applications/novel-food-traditional-food>

Fanchi, J. R., & Fanchi, C. J. (2016). *Energy In The 21St Century* (4th ed.). Wspc.

Fantuz, F., Salimei, E., & Papademas, P. (2016). Macro- and Micronutrients in Non-cow Milk and Products and Their Impact on Human Health. *Non-Bovine Milk and Milk Products*, 209–261. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803361-6.00009-0>

Fastrup, B., & Petersen, S. H. J. (2012, February 8). *katalyse*. Den Store Danske. Retrieved May 12, 2022, from <https://denstoredanske.lex.dk/katalyse>

FAQ. (2021, November 11). Verdensmaalene.dk. <https://www.verdensmaalene.dk/faq>

Food and Fossil Fuels. (2021, January 12). Earth Overshoot Day.

<https://www.overshootday.org/food-and-fossil-fuels/>

FN (IPCC). (2022). *Climate changes 2022, Impacts, Adaptation and Vulnerability*

Fu, Y., Chen, T., Chen, S. H. Y., Liu, B., Sun, P., Sun, H., & Chen, F. (2021). The potentials and challenges of using microalgae as an ingredient to produce meat analogues.

Trends in Food Science & Technology, 112, 188–200.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.050>

Geels, F. W. (2018). Disruption and low-carbon system transformation: Progress and new challenges in socio-technical transitions research and the Multi-Level

Gerdes, U. (2021, September 27). *Albumin*. Patienthåndbogen.

<https://www.sundhed.dk/borger/patienthaandbogen/undersogelser/blod-og-urinproever/albumin-plasma/>

Google trends. (n.d.). [Stateistik]. Google Trands, Bæredygtighed.

<https://trends.google.com/trends/explore?date=all&geo=DK&q=b%C3%A6redygtighed>

Hunding, C. (2012, June 8). *monokultur*. Den Store Danske. Retrieved May 29, 2022, from <https://denstoredanske.lex.dk/monokultur>

I dag er jordens naturressourcer opbrugt - tre uger tidligere end sidste år. (2021, July 29).

WWF Danmark. <https://wwf.dk/nyhed/earth-overshoot-day-2021/>

ISO. (1997, June). *Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*. International Standard.

Jacob-Lopes, E., Isabel Queiroz, M., Manzoni Maroneze, M., & Queiroz Zepka, L. (2020).

Handbook of Microalgae-Based Processes and Products.

<https://doi.org/10.1016/C2018-0-04111-0>

Jareonsin, S., & Pumas, C. (2021). Advantages of Heterotrophic Microalgae as a Host for Phytochemicals Production. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9.

<https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.628597>

Jørgensen, N. (2018). Digital signatur. En eksemplarisk analyse af en teknologis indre mekanismer og processer. *Lokaliseret d, 27/04/22*.

Jørgensen, Olsen, L. M. (2021). Status og perspektiver for mikroalgeproduktion i Danmark.

Status Og Perspektiver for Mikroalgeproduktion i Danmark.

<http://docplayer.dk/225917063-Status-og-perspektiver-for-mikroalgeproduktion-i-danmark.html>

Khan, M. I., Shin, J. H., & Kim, J. D. (2018). The promising future of microalgae: current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products. *Microbial Cell Factories*, 17(1).

<https://doi.org/10.1186/s12934-018-0879-x>

Kjær, T. (2021). Metoder til teknologi- og miljøvurdering Fagmodul kursus 4a; Tek/Sam • Forår 2021. Introduktion Til Teknologi- Og Miljøvurderingsmetoderne.

Kolb, D. A. (1983). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development* (2nd ed.). Prentice Hall.

Kumudha, A., Selvakumar, S., Dilshad, P., Vaidyanathan, G., Thakur, M. S., & Sarada, R. (2015). Methylcobalamin – A form of vitamin B12 identified and characterised in *Chlorella vulgaris*. *Food Chemistry*, 170, 316–320.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.035>

Kusmayadi, A., Leong, Y. K., Yen, H. W., Huang, C. Y., & Chang, J. S. (2021). Microalgae as sustainable food and feed sources for animals and humans –

Lastbiler skal forurene langt mindre - CO2-udslippet skal ned. (2018, November 9).

Transportmagasinet. Retrieved May 23, 2022, from

https://www.transportmagasinet.dk/article/view/628971/lastbiler_skal_forurene_langt_mindre_co2udslippet_skal_ned

M. (2020, October 21). *Svineproduktionen bidrager årligt med 22 milliarder til BNP.*

Maskinbladet. Retrieved May 25, 2022, from

<https://www.maskinbladet.dk/artikel/69858-svineproduktionen-bidrager-aarligt-med-22-milliard-til-bnp>

Mcpheat, S. (2021, November 19). *What Are KOLB's Learning Styles And What Do They*

Mean? Skillshub.Com. Retrieved May 11, 2022, from

<https://www.skillshub.com/what-are-kolbs-learning-styles/>

Meadows, D. M. (2012, April 5). *Leverage Points: Places to Intervene in a System - The*

Donella Meadows Project. The Academy for Systems Change.

<https://donellameadows.org/archives/leverage-points-places-to-intervene-in-a-system/>

Mohan, S. V., Rohit, M., Subhash, G. V., Chandra, R., Devi, M. P., Butti, S. K., & Rajesh, K.

(2019). Algal oils as biodiesel. *Biofuels from Algae*, 287–323.

<https://doi.org/10.1016/b978-0-444-64192-2.00012-3>

Newby, D. T., Matthews, T. J., & Pate, R. C. (2016). Algal Research. *Assessing the Potential of Polyculture to Accelerate Algal Biofuel Production.*

Novel Food. (n.d.). Food Safety. Retrieved May 5, 2022, from

https://ec.europa.eu/food/safety/novel-food_en

New green record for Danish electricity: lowest CO2 emissions ever. (2020, June 10). State of Green.

<https://stateofgreen.com/en/news/new-green-record-for-danish-electricity-lowest-co2-emissions-ever/>

OECD. (1998). OECD SERIES ON PRINCIPLES OF GOOD LABORATORY PRACTICE AND COMPLIANCE MONITORING, number 1. Retrieved May 5, 2022 from.

[http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/mc/chem\(98\)17](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/mc/chem(98)17)

Panahi, Y., Darvishi, B., Jowzi, N., Beiraghdar, F., & Sahebkar, A. (2015). *Chlorella vulgaris*:

A Multifunctional Dietary Supplement with Diverse Medicinal Properties. *Current*

Pharmaceutical Design, 22(2). <https://doi.org/10.2174/1381612822666151112145226>

Parker, M. S., Mock, T., & Armbrust, E. V. (2008). Genomic Insights into Marine Microalgae.

Annual Review of Genetics, 42(1), 619–645.

<https://doi.org/10.1146/annurev.genet.42.110807.091417>

Paul, P. E. V., Sangeetha, V., & Deepika, R. G. (2019). Emerging Trends in the Industrial Production of Chemical Products by Microorganisms. *Recent Developments in*

Applied Microbiology and Biochemistry, 107–125.

<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816328-3.00009-x>

Perspective. *Energy Research & Social Science*, 37, 224–231.

<https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.10.010>

(*IPCC Sixth Assessment Report*) (No. 6). <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987–992.

<https://doi.org/10.1126/science.aag0216>

Ramasamy, P., Undervisningsoplæg i AlgeLab (2022)

Ramasamy, P., Microalgae Culturing, Lab Manual (2022, may 26.)

Produktion af grise i Danmark. (n.d.). Landbrug Og Fødevarer. Retrieved May 21, 2022,

from <https://lf.dk/viden-om/landbrugsproduktion/husdyr/svin>

Ritchie, H. (2020, January 15). *Environmental Impacts of Food Production*. Our World in Data.

https://ourworldindata.org/environmental-impacts-of-food?utm_source=jeremycherfas&utm_medium=email&utm_campaign=eat-this-newsletter-132-underserved#citation

SEGES. (2021, October). *KLIMAPÅVIRKNINGEN VED PRODUKTION AF SLAGTEGRISE* (No. 2121). NOTAT.

<https://svineproduktion.dk/publikationer/kilder/notater/2021/2121>

Siyu, S. (2021, December 11). *UX FAQ #3: What is Design Rationale and How to Present it?* Medium. Retrieved April 27, 2022, from <https://pansysiyujia.medium.com/what-is-design-rationale-and-how-to-present-it-fffe83a482f9>

Smetana, S., Sandmann, M., Rohn, S., Pleissner, D., & Heinz, V. (2017). Autotrophic and heterotrophic microalgae and cyanobacteria cultivation for food and feed: life cycle assessment. *Bioresource Technology*, 245, 162–170. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.113>

State of Green. (2020, June 10). *New green record for Danish electricity: lowest CO2 emissions ever*. Retrieved May 19, 2022, from <https://stateofgreen.com/en/news/new-green-record-for-danish-electricity-lowest-co2-emissions-ever/?fbclid=IwAR1XI-Mgybt6HnF07B0DSaFEhtGybu4r5ixpxlidGaX7aKUDeZZ1iNczpMs>

Technology Networks. (2022, March 30). *UV-Vis Spectroscopy: Principle, Strengths and Limitations and Applications*. Analysis & Separations from Technology Networks. <https://www.technologynetworks.com/analysis/articles/uv-vis-spectroscopy-principle-strengths-and-limitations-and-applications-349865>

The Economist. (2009, November 19). *Triple bottom line*. <https://www.economist.com/news/2009/11/17/triple-bottom-line>

Transparency Market Research. (2022). *Europe Microalgae Products Market*. Retrieved May 25, 2022, from

<https://www.transparencymarketresearch.com/europe-microalgae-products-market.html>

UN. (2018). *World Urbanization Prospects 2018*.

<https://www.un.org/development/desa/pd/news/world-urbanization-prospects-2018>

Voresmad.dk. (2021, December 7). voresmad.dk.

<https://voresmad.dk/gris>

World Hunger: Key Facts and Statistics 2022. (2022, April 14). Action Against Hunger.

<https://www.actionagainsthunger.org/world-hunger-facts-statistics>

What is Photosynthesis. (2018, March 27). Smithsonian Science Education Center.

<https://ssec.si.edu/stemvisions-blog/what-photosynthesis>

Xu, Z. (2007). *Bioprocessing for Value-Added Products from Renewable Resources* (Chapter 21-Biological Production of Hydrogen from Renewable Resources ed.). Sciencedirect.

Y. Shen, W. Yuan, Z. J. Pei, Q. Wu, & E. Mao. (2009). Microalgae Mass Production Methods.

Transactions of the ASABE, 52(4), 1275–1287. <https://doi.org/10.13031/2013.27771>

Yi, J., Zhou, L., Bi, J., Chen, Q., Liu, X., & Wu, X. (2015). Influence of pre-drying treatments on physicochemical and organoleptic properties of explosion puff dried

jackfruit chips. *Journal of Food Science and Technology*, 53(2), 1120–1129.

<https://doi.org/10.1007/s13197-015-2127-2>