

Den Grønne Revolution

Vi står i dag over for store udfordringer på jorden. Det stadigt stigende befolkningstal og den øgede velstand i den tredje verden presser Jordens naturlige ressourcer. Hvis vi i fremtiden skal kunne sikre os, at vi kan brødføde befolkningen og sørge for den nødvendige adgang til elektricitet, brændstof, medicin og meget andet, bliver vi nødt til at finde nye produktionsmetoder. Bioteknologien har allerede givet menneskeheden værktøjerne til at masseproducere mange af de produkter, som vi bruger i dag, på en billigere og mere bæredygtig måde. Vi bliver dog hele tiden nødt til at optimere produktionen af disse produkter for at overkomme udfordringer som befolkningstilvækst, behovet for brændstof og global opvarmning. Det er her, algerne kommer ind i billedet.

I projektet ”Den Grønne Revolution” undersøger vi, hvordan verden kan gøres til et bedre sted ved at bruge alger som effektive produktionsorganismer og på den måde producere fødevarer, medicin og biobrændsel til hele Jordens befolkning.



Dette mindmap viser, hvordan projektet er opdelt i 4 cases, som giver eksempler på, hvordan alger kan bruges til produktion af interessante produkter.

Vi vil i dette projekt se nærmere på 4 cases, som giver eksempler på, hvordan alger kan indgå i industrielle processer og på den måde være med til at producere værdifulde stoffer.

- 1) *Den blå revolution* handler om, hvordan mikroalger kan være en del af en løsning, så vi kan producere fisk nok til den voksende befolkning og samtidigt redde de arter, som stadigvæk lever i naturen.
- 2) *Algebenzin fra spildevand* illustrerer, hvordan alger kan indgå i spildevandsrensning og gøre processen mere bæredygtig, CO₂ neutral, og eksemplet viser samtidigt, hvordan man kan oprense biobrændsel fra algerne, som kan bruges direkte i vores biler.
- 3) *Kræftmedicin fra alger* handler om, hvorledes man kan producere interessante enzymer i genetisk modificerede mikroalger, som man kan bruge i eksempelvis medicin, kosmetik eller fødevarer.
- 4) *Superalger redder klimaet* er et eksempel på, hvordan forskere har ændret på en mikroalge således, at den kan producere dihydrogen, som kan bruges direkte i brændselsceller til produktion af elektricitet og varme til Jordens befolkning.

Foruden de 4 cases består projektet af et indledende afsnit om alger generelt og en af de mest fantastiske processer i naturen; nemlig fotosyntesen. Afsnittet om genetisk modificerede organismer (GMO) handler om, hvordan man kan ændre på organismers gener og på den måde øge produktionen af værdifulde stoffer. At kunne fremstille genetisk modificerede organismer i laboratoriet er derfor et utroligt vigtigt værktøj inden for bioteknologi. Det er især vigtigt at have læst GMO-afsnittet, hvis du beskæftiger dig med case 3 og 4, hvor det kræver et grundlæggende kendskab til GMO for at forstå eksemplerne. Man kan ikke nævne GMO uden dernæst at tale om etik, og derfor vil jeg foreslå, at du læser afsnittet om *Etik* efter at have læst om GMO. Dette vil give dig nogle tanker om, hvilke etiske overvejelser man skal gøre sig om produktion ved hjælp af genetisk modificerede organismer.

Sidst i projektet ligger en øvelsesvejledning til forsøget *Algedråber og fotosyntese*, som du med fordel kan opfordre din lærer til at bestille på hjemmesiden, så I selv kan lave det i klassen. Forsøget giver et storslået indblik i algernes forunderlige verden, og du vil desuden lære meget mere om det fantastiske ved fotosyntesen.

Rigtig god læsning og arbejdslyst!

Alger

Alger findes overalt på jorden og i havene, og de har en enorm betydning for livet, som vi kender det. Hvis det ikke var for alger, ville du og jeg ikke kunne overleve på denne jord. Algerne i havet producerer ved hjælp af deres fotosyntese nemlig 46 % af den samlede mængde ilt, der findes i atmosfæren. Hvis du hører ordet alger, minder det dig måske i første omgang om den dag, du var på vej i vandet, da dine forældre fortalte dig, at det måtte du desværre ikke, fordi der var farlige blågrønalger i vandet. Alger opfattes af mange som et irritationsmoment, fx når de farver terrasser og badebroer grønne, lukker badestrande eller tilstopper tagrender. Men har du egentlig overvejet, at alger faktisk kan bruges til produktion af mange af de produkter, som vi bruger hver dag. Alger kan bruges til produktionen af biobrændsel til din bil, medicin når du bliver syg eller fiskefoder til de fisk, du køber nede i supermarkedet. Vi kan endda udnytte, at algerne lever af nitrogen og fosfat, som er nogle af de værste biologiske forureningsstoffer i vores vandmiljø. Alger kan nemlig bruges som et biofilter, der renser vores fabrikkers spildevand og bruger energien til at producere værdifulde stoffer.

Hvordan fik vi alger på Jorden?

Meget tidligt i Jordens historie var der slet ikke nogen ilt til stede i atmosfæren. Der levede kun meget hårdføre organismer, såsom bakterier. På et tidspunkt skete der noget fantastisk. Igennem evolutionen udviklede en tilfældig bakterie et pigment, som kunne anvende

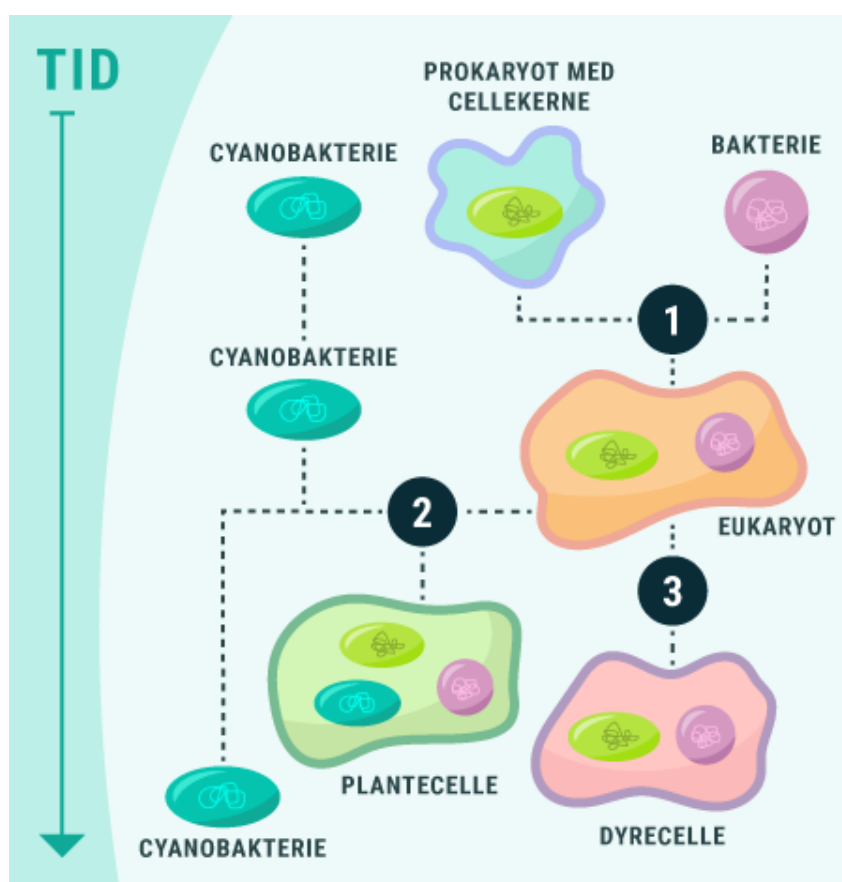
energien fra solens stråler. Sådan opstod den første cyanobakterie, som både klassificeres som en alge og en bakterie, og den blev i stand til at lave fotosyntese. Cyanobakterien delte sig nu til mange millioner cyanobakterier. Cyanobakterierne frigav ilten fra fotosyntesen til atmosfæren, hvilket var en af de mest skelsættende begivenheder i historien om livets udvikling på Jorden. Ilten var dog giftig for mange bakterier, men nogle få lærte at bruge ilten til respiration. Respiration er det samme som at trække vejret. Det er altså udnyttelsen af ilt til produktion af energi. På et tidspunkt herefter skete der en sammensmeltning mellem en prokaryot, der havde udviklet cellekerne, og en bakterie som kunne lave respiration (markeret med 1 på figur 1).

Sådan blev den første eukaryot til, og den integrerede bakterie fungerede nu som det, vi kalder mitokondrier i dag. Senere i

Begreberne prokaryot og eukaryot angiver, hvordan cellen er opbygget, og vigtigst af alt, siger det noget om, hvorvidt cellen har en cellekerne eller ej. "Pro" betyder før og "karyot" betyder kerne. Vi taler altså om en organisme, der ikke har udviklet en cellekerne. "Eu" betyder ægte, og her har vi med en celle at gøre, der har en cellekerne.

Cyanobakterier er bakterier, som det fremgår af navnet. Men cyanobakterier er samtidigt også en alge, der kan lave fotosyntese, og det gør dem utroligt interessante.

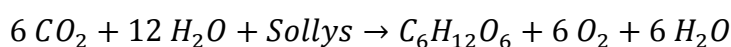
evolutionen skete der endnu en utrolig sammensmeltning, den vigtigste i forhold til udviklingen af planteceller. Her optog en eukaryot med cellekerne og mitokondrier en cyanobakterie, der senere blev integreret og i dag kaldes for grønkorn (markeret med 2 i figur 1). Efterfølgende udviklede disse simple organismer sig, igennem evolutionen, til planter, træer og alger. Der var nu organismer på Jorden, som både kunne lave fotosyntese og respiration, hvilket jo må siges at være fantastisk. Nogle eukaryoter udviklede sig til dyreceller, som er forfædrene til alle dyr på Jorden (markeret med 3 i figur 1).



På figur 1 ses udviklingen af livet på Jorden. Udviklingen ses fra dengang hvor Jordens eneste beboere var meget simple bakterier og nogle få cyanobakterier til det øjeblik, hvor forfædrene til alle planter og dyr på Jorden opstod.

For at kunne forstå, hvordan alger kan bruges til produktion af værdifulde stoffer, eksempelvis medicin, bliver man nødt til først at sætte sig ind i en af de vigtigste reaktioner i naturen, som foregår i alle alger; nemlig fotosyntesen.

Fotosyntesen er en fantastisk proces, hvor de simple stoffer som vand (H_2O) og kuldioxid (CO_2) bliver omdannet til værdifuld energi, ilt og sukker, udelukkende ved hjælp af energi fra solen. Det vigtigste at forstå i hele dette projekt, er hvordan fotosyntesen fungerer, og du kommer derfor til at arbejde med nedstående ligning for fotosyntese og lære den rigtig godt at kende.



Lad os nu kigge nærmere på, hvordan fotosyntesen egentlig fungerer.

Forestil dig en varm forårsdag, hvor solen skinner fra en skyfri himmel ned på algerne i vandet. Hvis man kigger lidt nærmere på solstrålerne, ser man, at de består af lyspartikler, der bærer solenergi til algerne, som udnytter energien i fotosyntesen. Når en lyspartikel rammer en alge vil farvepigmenterne "fange" partiklen, og solenergien bliver overført til elektroner i H_2O . Disse elektroner kan nu populært kaldes "begejstrede", fordi de har fået overført energi fra sollyset. Denne energi kan bruges i resten af fotosyntesens reaktioner. Elektronerne kommer fra H_2O , som bliver omdannet til oxygen (ilt), alt imens kulstof kommer fra CO_2 , som bliver omdannet til sukker ($C_6H_{12}O_6$). Sukkeret bruges senere af algen, som energikilde til at producere den samlede biomasse, altså alle de stoffer algeceller består af. For at forstå hvad biomassen helt præcist er, kan man forestille sig, at man fjernede al væsken fra en alge. Den lille indtørrede klump, der var tilbage er biomassen, og det er herfra, at man isolerer mange spændende produkter.

Biomassen er dog ikke endestationen, hvis man spørger forskerne på eksempelvis Københavns Universitet (KU). De har fundet ud af, at fotosyntesen producerer en masse overskudsenergi, som algen faktisk godt kan undvære. De undersøger derfor, om det kan lade sig gøre at omdirigere noget af den overskudsenergi og derved producere interessante proteiner som eksempelvis enzymer, der kan bruges i fødevarer, medicin, kosmetik osv. Man kan nemlig "låne" den energi, som ligger i de "begejstrede" elektroner, til andre reaktioner, som kan lave værdifulde stoffer. Det er dog en hårdfin grænse, ikke at "låne" for mange "begejstrede" elektroner til at lave andre stoffer. Det vil nemlig

betyde, at algen ikke vil have nok energi til de livsnødvendige reaktioner, og dermed ikke kan overleve.

Alger bruges allerede i dag til at producere flere værdifulde stoffer, som indgår i mange af de produkter, vi køber i supermarkeder, på apoteker og tankstationer.

Alger bruges nemlig i flere industrielle processer, som anvendes indenfor eksempelvis produktion af medicin imod kræft, en bæredygtig produktion af "grøn energi", inden for spildevandsrensning og endda som foder i akvakulturer. Du kan læse meget mere om de 4 eksempler på brug af alger i produktionen af værdifulde stoffer i dette projekt.

GMO

Et af de vigtigste redskaber inden for bioteknologi er, at vi kan ændre på bestemte gener i en organisme. Dette giver muligheden for eksempelvis at forøge produktionen af biobrændsel i alger ved at ændre på algenes gener og derved opnå en mere effektiv produktion.

Juridisk set defineres GMO'er som:
"Organismer hvori der forekommer nye sammensætninger af det genetiske materiale, som ikke er opstået på en naturlig måde".

Syntesebiologi handler om at forstå, hvordan biologiske systemer fungerer, og udnytte den viden til at designe nye systemer (her kan GMO indgå) eksempelvis til produktionen af et bestemt stof.

GMO står for Genetisk Modificeret Organisme, som beskriver en organisme, der har en ændret gensekvens, der ikke er opstået naturligt. Man skal altså foretage en bevidst handling, for at den ændrede organisme klassificeres som GMO. Man har længe vidst, at det kunne lade sig gøre at ændre på generne i en organisme, men det var først i 1996, de første genmodificerede afgrøder blev forsøgt produceret i stor skala. I dag ser vi relativt få lande i verden hvor GMO'er indgår i storskala produktioner på åbne arealer tæt ved naturen. Dette er primært, fordi vi ikke på nuværende

tidspunkt kan forudsige, hvilke konsekvenser det har for naturen og vores liv, at GMO'er bruges til produktion i åbne tanke eller på marker. Derfor dyrkes GMO'er ofte i store lukkede tanke, for at undgå undslupne GMO'er i naturen. I 2011 udgav Etisk Råd en rapport om syntesebiologi, som omhandler de risici, der kan tænkes at være ved GMO. Her fremstiller Etisk Råd bl.a. de 4 værste tænkelige konsekvenser ved brug af GMO:

- Negativ miljømæssig indflydelse
- Overførsel af gener imellem GMO og naturlige arter
- Run-off risikoen: Det hele kommer ud af kontrol og GMO'erne breder sig til hele verden.
- Risiko for spredningen af dødelige sygdomme ved bioterror

Nogle af disse drastiske konsekvenser er måske ikke så realistiske, men forskerne kan ikke forsikre os om, at der ikke vil være nogle negative konsekvenser ved brugen af GMO. Derfor har EU fastlagt en fælles lovgivning, om brugen af GMO inden for EU's grænser for at undgå uventede udslip af GMO'er i naturen. I USA har man en mildere GMO lovgivning, og derfor har amerikanerne genmodificeret forfaderen til millioner af afgrøder, så afgrøderne er mere modstandsdygtige og vokser hurtigere. Disse genetisk modificerede afgrøder vokser på enorme marker i USA, og de er afgørende for den samlede fødevareproduktion i verden.

GMO-lovgivningen i Danmark stiller specifikke krav til, hvordan forskerne håndterer GMO. Eksempelvis skal forskerne altid undersøge, om de genmodificerede organismer er farlige, før de kan indgå i en produktion, på samme måde som medicin skal testes, inden det kan bruges i behandling. De skal også sørge for, at GMO'er ikke kan slippe ud i naturen, og at alt arbejde med GMO bliver godkendt af miljøministeriet, før det påbegyndes.

Du tænker sikkert, at hvis der kan være uforudsete konsekvenser ved brugen af GMO, hvorfor skal vi så overhovedet bruge GMO?

GMO er et "værktøj", vi bliver nødt til at udnytte. Hvis vi ikke benyttede GMO, ville mange produkter ikke kunne produceres længere, og på langt sigt ville vi måske ikke have mad og ressourcer nok til verdens befolkning. Et godt eksempel er, at vi bruger GMO til at producere insulin til patienter med diabetes. Det ville ikke længere være muligt at producere den ønskede

mængde insulin uden brug af GMO. Det er vigtigt, at vi udnytter så stor en teknologisk opdagelse til at gøre verden til et bedre sted, også selvom der er risiko ved brugen af GMO.

Alger kan bruges i såkaldte cellefabrikker til at producere interessante stoffer. En cellefabrik er en fabrik, hvor man benytter et stort antal celler til at producere store mængder af et bestemt stof. Det gælder om, at optimere produktionen af det stof, man ønsker, og dette kan eksempelvis gøres ved at ændre på generne i cellerne. Her taler man ofte om at indsætte flere gener, altså en helt ny reaktionsvej i en organisme. En reaktionsvej beskriver en lang række reaktioner, der fører til dannelsen af et bestemt produkt.

Er syntesebiologi og evolutionen egentlig så forskellig som vi går og forestiller os?

Evolutionen har altid sørget for, at det var den stærkeste organisme, der overlevede, og at der derigennem skete en udvikling af livet på jorden. Senere i historien har mennesket udvalgt de bedste afgrøder for at forsøge at skabe den mest optimale høst ved planteforædling. Nu har vi opdaget et nyt værktøj, nemlig syntesebiologien, som betyder, at vi kan lave ændringer i organismer, som ville have taget evolutionen millioner af år, på et par dage. Dette giver utallige muligheder og kan i sandhed gøre verden til et bedre sted, som du vil se i de følgende 4 eksempler i dette projekt. Men produktion ved hjælp af GMO'er giver også den nuværende generation af bioteknologer et ansvar for at skabe og opretholde en bæredygtig og risikofri GMO-produktion.

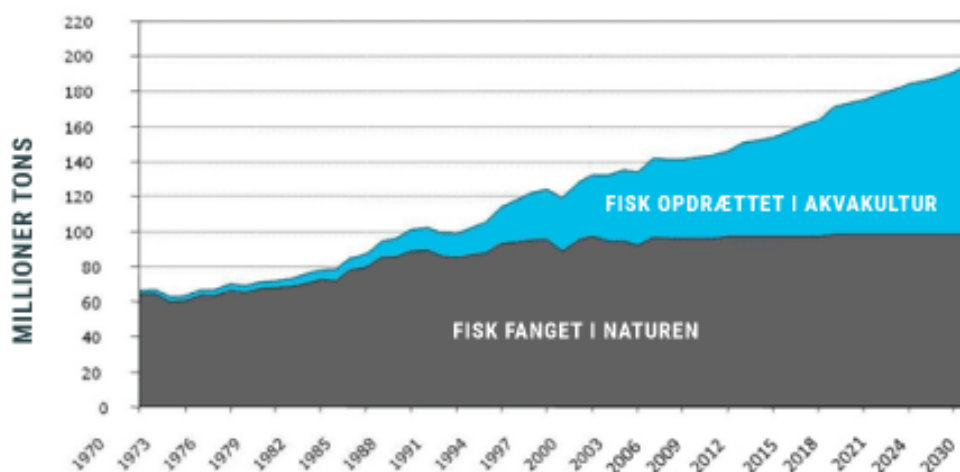
Den blå revolution

Jordens befolkning vokser hurtigt, og ifølge FN vil vi allerede i år 2100 være 10 milliarder mennesker på vores planet. Hvis vi skal producere mad nok til at brødføde den voksende befolkning, bliver vi nødt til at udvikle nye metoder til produktion af de mest efterspurgte fødevarer såsom kød og fisk. Et af de helt store problemer er mangel på landbrugsjord. Med 10 milliarder mennesker på Jorden, vil der ikke være plads til at producere alle fødevarer på land. Verdens befolkning vil i værste fald sulte. Derfor bør vi vende blikket imod de 2/3 af vores planet, som vi kan udnytte bedre, nemlig det blå hav. Det kræver, at vi opfinder nye metoder til produktionen af

fisk i akvakulturer, så vi undgår fortidens problemstillinger såsom høj dødelighed, forurening og undslupne fisk. Dette skal ses sammen med, at der vil være behov for flere fisk i fremtiden, da befolkningen i de to lande med flest indbyggere, Kina og Indien, bliver rigere, og de vil derfor købe flere dyre madvarer som fx fisk.

Akvakultur er opdrætning af vandlevende organismer i dette eksempel fisk, og det både foregå i ferskvand og saltvand. Begrebet akvakultur dækker altså over landbaseret akvakultur, som er fiskeopdræt på landjorden og havbrug, som er fiskeopdræt i havet.

HVOR KOMMER FISKENE FRA?



Figur 1 viser hvor fiskene, som vi spiser, kommer fra. Den grå del af grafen viser hvor mange millioner tons fisk, som er blevet fanget i naturen. Den blå graf viser derimod hvor mange millioner tons fisk, der bliver opdrættet i akvakultur. Figuren viser udviklingen af produktionen/fangsten af fisk fra år 1970, og den viser et estimat på, hvordan sammenhængen vil se ud til og med år 2030.

Som det ses på den grå graf på figur 1 er mængden af fisk fanget i den vilde natur stoppet med at vokse, fordi vi allerede i dag har udnyttet de vilde fiskebestande fuldt ud, eller endda overfisket dem indtil udryddelse. Stigningen i produktionen af fisk kan altså kun ske inden for akvakultur (den blå graf). Landbaseret akvakultur er store bassiner eller tanke hvor man producerer ferskvandsfisk til supermarkederne. Man kan også udnytte havet til at producere fisk i store net, dette kaldes havbrug.

Ifølge FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) blev 50 % af den samlede mængde fisk, vi spiste i 2014 produceret i akvakulturer. Dermed er fiskeopdræt den hurtigst voksende animale fødevareresektor i verden.

Mængden af fisk produceret i akvakulturer er steget med 8 % per år de sidste 25 år. Udviklingen skulle gerne fortsætte i fremtiden, og det kræver derfor nye og innovative løsninger til produktionen af fisk.

De sidste par år har Roskilde Universitet i samarbejde med firmaerne AgroTech og AKVA Group forsket intenst i, hvordan man kan bruge levende vandlopper som foder i akvakulturer. De fleste fisk er nemlig helt vilde med levende vandlopper, især i de tidlige stadier af deres liv spiser de næsten udelukkende vandlopper. Et stort problem har førhen været, at fiskene i havbrug kun vil tage levende føde til sig (fx vandlopper), og helt op imod 70 % af fiskene dør, hvis de kun fodres med tørfoder. Ferskvandsfisk som laks er ørreder er undtagelser, da de gerne spiser tørfoder, og dette er faktisk en af grundene til at det er de fisk vi producerer flest af. Produktionen af fisk i saltvand har dog hårdt brug for levende vandlopper, da fiskene ofte ikke vil tage tørfoder til sig.

Helt konkret handler denne case om, hvordan man kan fodre vandlopper med mikroalger, hvis sammensætning af fedt og protein er optimal for vandlopperne. Dette sikres ved at undersøge, ved hvilke betingelser og ved hvor kraftigt lys mikroalgerne vokser bedst og producerer flest essentielle fedt- og aminosyrer. Derefter kan man fodre fiskelarverne i de specifikke akvakulturer med disse forbedrede vandlopper og dermed sikre, at fiskene får et højt indhold af fedt og protein, og flere fisk vil overleve. Det giver en større produktion, og det kan være med til at brødføde den voksende befolkning.

AKVA Group lancerede den 15. december 2015 verdens første vandloppeæg på dåse, under produktnavnet "Acartia", som skal sendes og sælges til akvakulturer i hele verden. Rundt omkring i verden kan man udklække vandloppeæggene på stedet og dernæst bruge vandlopperne som føde direkte i produktionsanlægget eller i havet. Indtil videre ser denne nye fodermetode utrolig effektiv ud, og AKVA Group regner med, at produktet vil revolutionere måden, vi producerer fisk på i dag. Produktet "Acartia" og lignende innovative løsninger kan derfor gå hen og blive den savnede bæredygtige løsning, der får akvakulturer til at producere de ønskede mængder fisk til den voksende befolkning. Samtidig kan denne løsning være med til at redde de vilde bestande af fisk i naturen, der ellers ville blive overfisket og uddø.

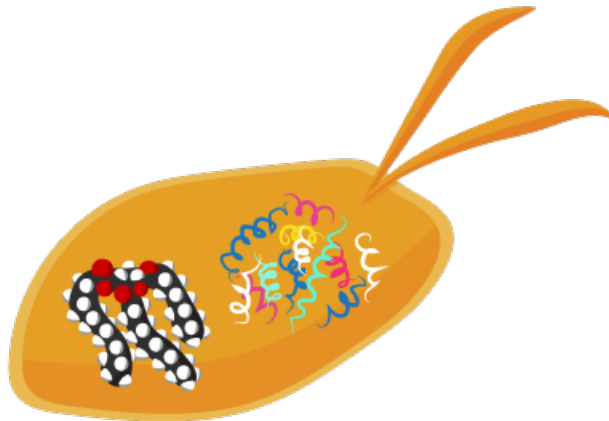


Vandlopper spiser mikroalger

Mikroalger er en naturlig del af vandloppernes føde, og dette arbejder man på at udnytte i til produktion af vandlopper. Vandlopperne skal i sidste ende bruges som foder til fiskelarver, og derfor ønsker man, at de skal have den optimale biokemiske sammensætning. Dette betyder, at man ønsker nogle vandlopper, som har et højt indhold af essentielle aminosyrer og fedtsyrer. Dette kan opnås ved at optimere det første led i produktionen, nemlig produktionen af mikroalgerne.

Hvordan producerer man en optimal mikroalge til vandloppefoder?

Forskere fra Roskilde Universitet satte sig for at lave en undersøgelse af, hvordan man optimalt set dyrker mikroalgen *Rhodomonas salina* for at få det højest mulige indhold af fedt og protein. Derved giver det også mulighed for at dyrke mange tons af algen. Forskerne undersøgte, hvordan lysstyrken på det lys, der skinnede på algerne, og adgangen til næringsstoffer (bl.a. nitrogen og fosfor) påvirkede mikroalgernes indhold af essentielle aminosyrer og fedtsyrer. Lysstyrken har nemlig stor indflydelse på fotosyntesen, og fotosyntesen bruges som sagt til at sætte gang i alle reaktionerne i algen, også de reaktioner der laver fedt- og aminosyrer.



Figur 2 viser, hvordan algen *Rhodomonas salina* ser ud. Som du kan se, er der tegnet en masse forskelligt farvede spiraler inde i algen, det illustrerer aminosyrer, som sidder sammen som proteiner. Den anden figur i cellen med 3 ender illustrerer fedtsyrer inde i cellen. De 2 dele som ligner følehorn, er i virkeligheden små bevægelige dele, som algen bruger til at svømme med.

Umættede fedtsyrer er

karakteriseret ved, at de indeholder en eller flere dobbeltbindinger mellem kulstofatomerne. Umættede fedtsyrer kan vi ikke selv danne i kroppen, og vi skal derfor have dem tilført via kosten. De findes især i nødder, fed fisk, madolie og nogle alger.

Umættede fedtsyrer er essentielle for Menneskers overlevelse, fordi det sænker kolesterolniveauet i blodet.

Essentielle aminosyrer er livsnødvendige

for vandlopperne, ligesom de er livsnødvendige for os mennesker.

Essentielle aminosyrer kan organismer kun optage igennem føden. Aminosyrer indgår i proteinsyntesen og dermed opbygningen af cellerne i organismen. Uden de livsnødvendige aminosyrer kan vandlopperne ikke lave proteinsyntese og dermed ikke overleve. Proteiner er byggestenene i alle organismer, og de sørger for stort set alle processer i kroppen.

Kolesterol er et fedtstof, som sidder i cellemembranen. Cellemembranen er ligesom en mur, som kontrollerer, hvad der kommer ind og ud af cellen. Kolesterol påvirker, hvor flydende cellemembranen er, og dermed, hvor let stoffer kan komme ind og ud af cellen. Hvis kolesterolniveauet bliver for højt, bliver cellemembranen fast, og der kan ikke længere blive transporteret de livsvigtige forsyninger ind i cellerne og affaldsstoffer ud.

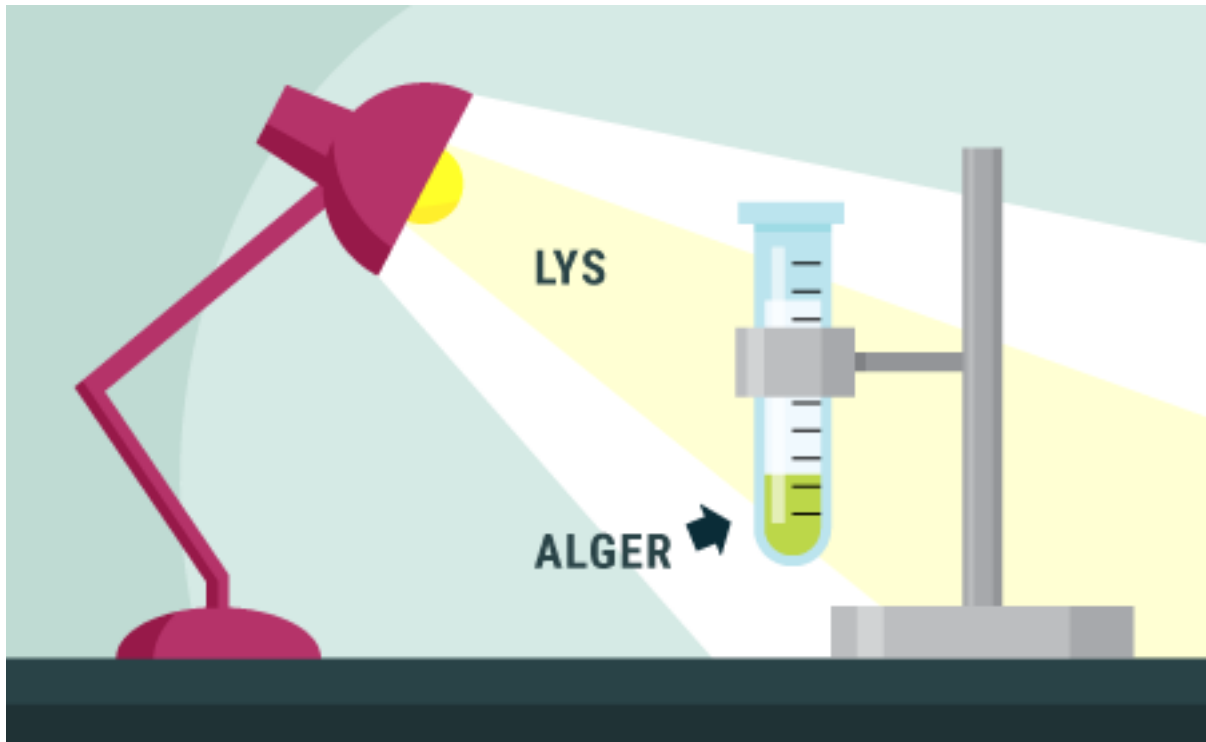
Derfor er det også vigtigt for vandlopperne, at de får de nødvendige umættede fedtsyrer, så det sænker kolesterolniveauet. Forskerne har fundet, at især de flerumættede fedtsyrer er essentielle for overlevelsen af vandlopperne, reducere af tiden fra larve til voksen, ægproduktionen og succesraten for klækningen.

Resultat af forsøgene viste, at det var muligt at optimere algerne biokemiske sammensætning ved at ændre på de to parametre, lys og adgang til næringsstoffer.

Det totale indhold af aminosyrer i *R. salina* var afhængigt af lysstyrken, men ikke af mængden af næringsstoffer i miljøet. Indholdet af de essentielle aminosyrer var højest ved lav lysstyrke.

Overordnet set steg indholdet af fedtsyrer i mikroalgerne ved højere lysstyrke. Det totale indhold af fedtsyrer steg samtidigt ved mangel på næringsstoffer. Indholdet af flerumættede fedtsyrer, som er

de sundeste fedtsyrer, var mere end to gange så højt ved mangel på næringsstoffer som ved overskud af næringsstoffer. Dette er fordi algerne ”gemmer” noget af energien fra fotosyntesen i fedtsyrer. De kan så senere bruge energien fra fedtsyrerne, hvis de får brug for mere energi.



Figur 3 viser en simpel forsøgsopstilling, hvormed man kan teste lysstyrkens og adgang til næringsstoffers indvirkning på algernes biokemiske sammensætning.

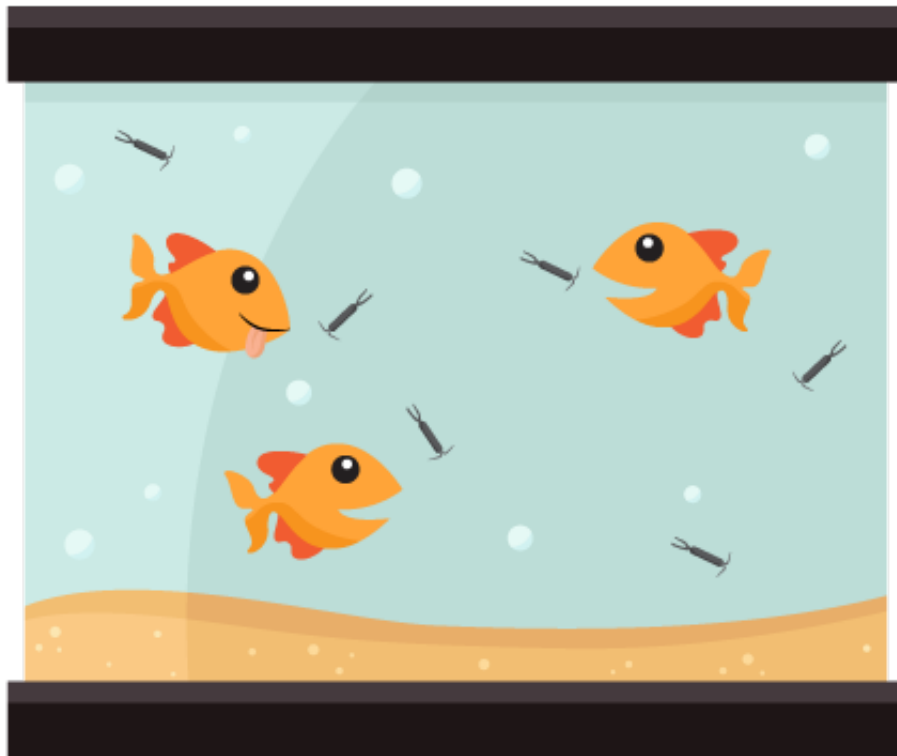
Forskerne ved Roskilde Universitet har altså bevist, at det er muligt at optimere produktionen af *R. salina* således at indholdet af essentielle aminosyrer og flerumættede fedtsyrer bliver højere. Forskerne fandt ud af, at den mest optimale dyrkningsmetode for at opnå et højt indhold af essentielle aminosyrer og flerumættede fedtsyrer er, hvis man dyrker *R. salina* ved en medium lysstyrke og ved mangel på næringsstoffer. Dette giver mikroalger en balanceret biokemisk sammensætning, som gør dem optimale som vandloppedeføde. Fotosyntesen har altså en enorm effekt på, hvor stor en mængde fedt- og aminosyrer der bliver dannet i en alge, og derfor er det en utrolig spændende proces at beskæftige sig med for at optimere algerne som vandloppedeføde.

Fisk spiser vandlopper

Vandlopper udgør næsten 80 % af al dyreplankton, og er det mest talrige dyr på planeten.

Vandlopper er bittesmå dyr, men de er en utrolig vigtig del af havets økosystem, da de er føde for mange forskellige fisk og fiskelarver. Når marine fiskelarver fodres med vandlopper i de tidlige stadier, svarer det til at give børn modermælk. Det sikrer fiskelarvernes overlevelse, og det betyder i sidste ende, at flere fisk bliver produceret i akvakulturerne.

Der har derfor meget stor interesse inden for akvakultur i forhold til at udnytte vandlopper som levende foder til fiskene.



Figur 4 er en tegning, der skal vise, hvor glade fiskene er for at spise vandlopper.

Den ældste stamme af vandlopper blev fisket op af Øresund i 1981 af forskere fra Danmarks Tekniske Universitet (DTU). Man har lavet en del forsøg med vandlopper siden, men det var først i 2006, at danske forskere forsøgte at skabe fundamentet for en storskalaproduktion af vandlopper. I 2006 oprettede Roskilde Universitet nemlig "The World Copepod Culture Database" i forsøget på at indsamle og dele viden om vandlopper til brug i akvakultur.

Når man skal finde den mest optimale vandloppe, er der flere ting, der forudsættes. Man skal først og fremmest vælge en art, som vokser hurtigt og har en lav dødelighed. Yderligere skal de enkelte vandlopper bestå af den ønskede biokemiske sammensætning af de aminosyrer og fedtsyrer, man ønsker i de opdrættede fisk. Det kan lade sig gøre ved at bruge mikroalger som fødekilde. Det er allerede lykkedes, men der er mange udfordringer i produktionen af vandlopper.

Et stort problem, man har oplevet i produktionen, er at vandlopperne ofte bliver slået ihjel af farlige bakterier. Man har derfor forsøgt at tilsætte mikroorganismer såsom bakterier, der fungerer som probiotika, til vandlopperne. Probiotika kan endda også i nogle tilfælde ændre på fedtsyrer-, aminosyrer- og vitaminsammensætningen i vandlopperne, hvilket giver en bedre stamme af vandlopper. Forskningen på dette område er meget begrænset, men måske vil vi i fremtiden benytte os mere af probiotika i produktionen af vandlopper.

Probiotika består typisk af en række bakterier, som har en gavnlig effekt for vores mave-tarm-kanal og derigennem også immunforsvaret. Vi får fx probiotika, når vi drikker yoghurt, som indeholder mælkesyrebakterier, der hjælper os imod de farlige bakterier.

En anden stor udfordring ved brug af vandlopper i akvakulturer er, hvordan man bedst opbevarer og transporterer vandlopperne. Vandlopper er meget skrøbelige, og derfor har man undersøgt, om man kan transportere deres mere hårdføre æg i stedet for.

I naturen kan vandloppeæg faktisk overleve imellem 40-69 år liggende nede på havbunden. Forskere har derfor forsøgt at udnytte denne egenskab, og det er lykkedes at opbevare æggene helt op til et år, hvis man opbevarer dem koldt. Sådan sikrer man æggene under transporten til alle lande i verden.

Nu hvor det er lykkedes at lave en effektiv opbevaring og transport af vandloppeæg, har man altså skabt en effektiv produktion, som starter med algerne og slutter med klækningen af vandloppeægene ude ved det enkelte akvakulturer.

Fremtidens produktion af fisk



Figur 5 viser hvordan Acartia produceres, og dernæst hvordan produktet benyttes i akvakulturer. 1) Viser hvordan *R. salina* bliver dyrket i store produktionstanke. 2) Viser hvordan *R. salina* ser ud under mikroskopet. 3) Illustrerer en foderpumpe, som sender algerne hen til vandlopperne. 4) Viser hvordan vandlopperne vokser og udvikler sig i takt med, at de spiser algerne. 5) Viser hvordan man indsamler vandloppeægene og konserverer dem på dåse. 6) viser hvordan fiskefarmerne kan udklække vandloppeægene, og bruge dem direkte som foder til deres fisk.

AKVA Group præsenterede 15. december 2015 deres nyeste produkt Acartia, som er vandloppeæg på dåse. AKVA Group mener, at Acartia er en optimal løsning for marine fiskefarmere, som gerne vil være en profitabel del af den blå revolution.

AKVA group Denmark A/S har udviklet et anlæg til produktion af vandlopper i kommerciel skala, så de nu kan eksportere vandloppeæg til hele verden. Acartia forventes derfor at revolutionere produktionen af fisk, som opdrættes både i saltvand og ferskvand.

Den blå revolution er startet med lanceringen af dette produkt, men i fremtiden har vi en endnu større viden om mikroalger, vandlopper og selve produktionen. Vi kan derfor producere endnu bedre vandloppeæg til akvakulturerne.

I og med at mere end 50 % af alle de fisk, vi spiser, kommer fra akvakulturer er markedet for Acartia enormt. AKVA Group estimerer en omsætning på ”Acartia” på 4,5 millioner kroner det første år og op imod 36 millioner kroner per år efter 8 år på markedet. Dette er det vigtigste skridt i retning mod en bæredygtig produktion i akvakulturer og et forsøg på at redde de sidste vilde fiskebestande fra total udryddelse.

Algebenzin fra spildevand

Overalt i verden udleder fabrikker lige nu spildevand til vandløb og direkte ud i havene. Det har katastrofale følger for de vilde dyr og planter, som lever der. Spildevand har altid været set som et affaldsprodukt, som fabrikkerne hurtigst muligt skulle af med, hvis man ville undgå bøder fra miljøministeriet. Men hvad nu hvis spildevand i stedet kunne være en ressource?

Spildevand fra fabrikker kan bestå af mange forskellige bestanddele, som er bestemt ud fra den enkelte fabriksproduktion, og det kan derfor være svært at generalisere stofferne i industrielt spildevand. I denne case er der fokus på spildevandet fra to af de største biotekvirksomheder i Danmark, nemlig Novo Nordisk og Novozymes. Deres spildevand indeholder meget høje koncentrationer af næringsstoffer, som kan udnyttes til at producere biomasse fra alger. I dette eksempel fokuserer vi derfor på spildevand med et højt indhold af næringsstoffer. Man kan bruge alger, som et biofilter, til at rense spildevandet for næringsstoffer og samtidigt bruge algerne til at producere eksempelvis farvestoffer, bioplastik, gødning, spisealger og biobrændsel. Grunden til at man ønsker at dyrke alger i spildevand er, at algerne skal bruge næringsstoffer, som eksempelvis nitrogen og fosfor, til at formere sig og producere biomasse. Det fantastiske er, at man kan bruge algerne til at oprense næringsstofferne, og derved undgå, at de forurener vandmiljøet, samtidigt med at det skaber yderligere værdi i form af algebiomasse.

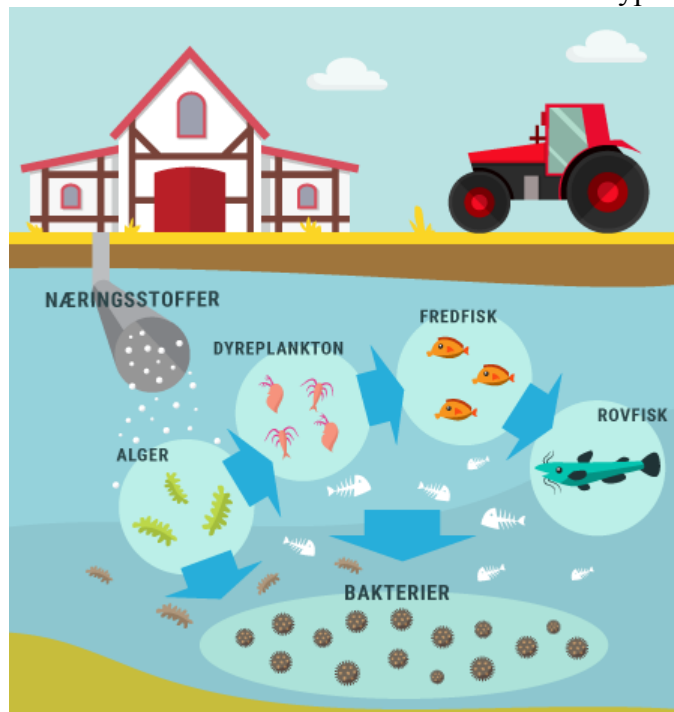
I Danmark bruger virksomhederne hvert år mange millioner kroner på at rense spildevandet fra fabrikkerne, så det ikke længere er skadeligt for miljøet. Derfor ligger der potentielt en enorm økonomisk gevinst i, at virksomhederne kan lade alger gro i deres spildevand. Dette ville nemlig både rense spildevandet, og virksomhederne ville samtidigt kunne sælge produkterne fra algerne, og dermed ville de kunne dække omkostningerne ved at rense vandet.

I denne case ser vi lidt nærmere på, hvorfor spildevand er et problem i det naturlige vandmiljø, hvordan algerne kan rense spildevandet, og hvilke produkter man kan oprense ud fra biomassen fra algerne.

Spildevandsrensning

Som du sikkert har hørt i nyhederne, er problemerne ved den manglende spildevandsrensning altid på dagsordenen, når der tales miljøpolitik i Danmark. Fabrikker producerer enorme mængder spildevand, som potentielt kunne genbruges, og som har store konsekvenser for miljøet, hvis vi udleder det direkte i naturen. For at forstå vigtigheden af spildevandsrensning, bliver man nødt til at forstå, hvordan fødekæden i vandmiljøet påvirkes, hvis spildevandet ikke renses, inden det lukkes ud i naturen.

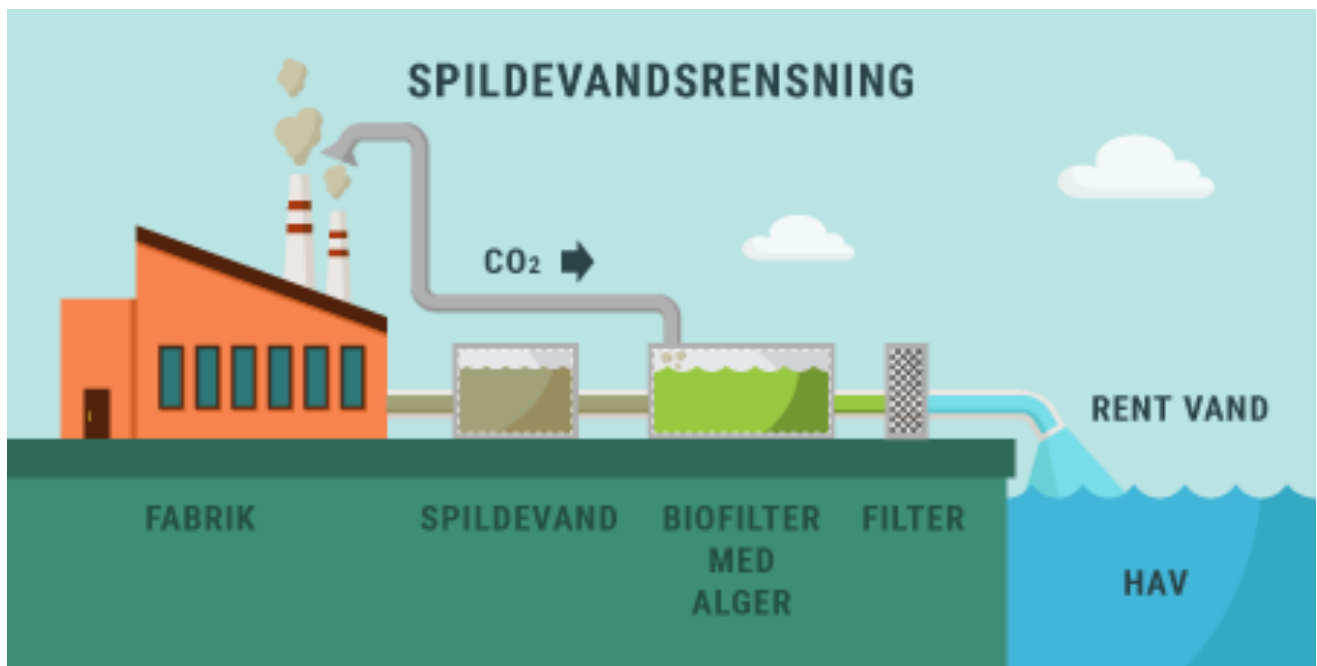
Spildevand har typisk et højt indhold af nitrogen og fosfor, som er livsnødvendige stoffer for algers vækst og formering. Hvis man leder spildevand direkte ud i et vandløb, kan det have katastrofale følger for dyrene som lever i vandløbet. Fødekæden i et vandløb ser typisk således ud:



Figur 1 viser, hvordan fødekæden i en almindelig dansk sø eller vandløb påvirkes ved forurening med næringsstoffer fra eksempelvis landbruget eller fabrikker.

Hvis man tilsætter for mange næringsstoffer til vandløbet, vil der blive produceret alt for mange alger, til at dyreplankton kan nå at spise dem. Algerne vil derfor dø naturligt og synke til bunds. Her vil de døde alger blive spist af bakterier, og disse bakterier bruger ilten i vandet til respiration. Hvis der er for mange alger, der dør og falder til bunds, eksploderer væksten af bakterier og de vil bruge al ilten i vandet. Dette fænomen kaldes iltsvind og medfører, at fiskene og andre dyr, som også benytter sig af ilten i vandet, vil dø på grund af iltmangel. Det ødelægger simpelthen den naturlige fødekæde i vandmiljøerne, hvis man udleder spildevand med højt indhold af fosfor og nitrogen til naturen. Så hvorfor ikke udnytte, at vi kan producere algebiomasse i spildevandet i stedet for at ødelægge naturen?

Lad os kigge lidt nærmere på en model over, hvordan alger kan indgå i rensningen af spildevand.



Figur 2 viser en model over, hvordan et biofilter med alger kan benyttes i spildevandsrensning.

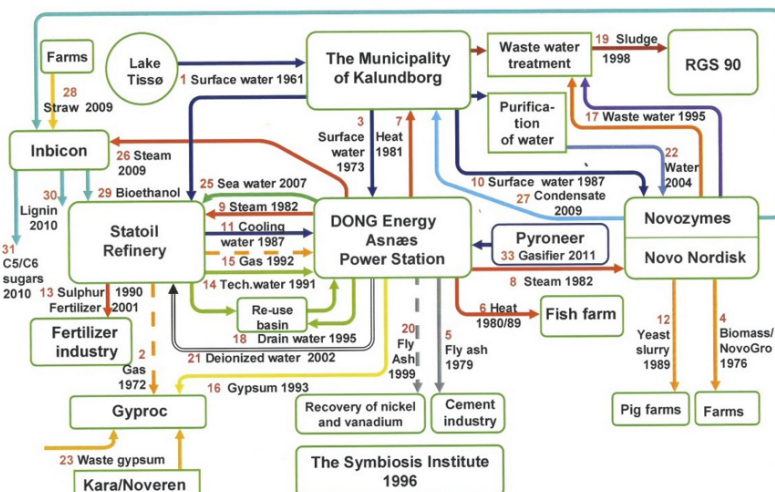
Når spildevandet kommer direkte fra fabrikken, er der en del farlige stoffer, som skal sorteres fra, før vi når til det biofilter, algerne udgør. Når spildevandet er klar til rensning for næringsstoffer, bliver det lukket ind i et bassin med alger. Her bliver nitrogen og fosfor optaget af algerne, og de begynder at producere biomasse. Vandet bliver rensset for nitrogen og fosfor, og kan nu blive ført videre til et filter, som rensset det for rester af alger. Nu er det i princippet klar til at blive lukket ud i

nærmeste vandløb eller i havet (som det ses på figur 2). I virkeligheden er der selvfølgelig en masse tekniske trin undervejs, men i dette projekt fokuseres primært på det biofilter, som algerne udgør.

Nu er spildevandet rensat for næringsstoffer, og vi har produceret algebiomasse i spildevandet. Men hvad hvis man kunne udnytte endnu en forureningskilde fra fabrikken og få en endnu større biomasseproduktion. Algerne benytter, som tidligere nævnt, CO₂ til at lave fotosyntese, så hvis man kunne tilføre endnu mere CO₂ til algerne, ville der ske en større produktion af biomasse, og det ville være utrolig profitabelt for virksomheden (dette er vist på figur 2, hvor CO₂ bliver ledt fra fabrikken og ned i bassinet med alger).

Dette bæredygtige tiltag arbejder forskerne i øjeblikket på at implementere i spildevandsrensning indtil videre med stor succes i lille skala. Ved at udnytte den CO₂, som ellers ville bidrage til den globale opvarmning, får man algerne til at binde og lave den om til biomasse. Det må siges at være perfekt for alle parter.

I Kalundborg er man gået skridtet videre og har lavet en enorm symbiose med mange virksomheder, hvor man genbruger hinandens restprodukter for at spare penge og reducere CO₂-udledning. Som det ses på billedet har man forsøgt at udnytte alle de restprodukter, som ellers ville gå tabt eller forurene, i en ny produktion.



Symbiose beskriver typisk et biologisk samliv, eller i nogle tilfælde et samarbejde, mellem organismer til fordel for alle organismene.

Figur 3 viser, hvordan flere fabrikker og virksomheder i Kalundborg er forbundet som en symbiose, der genbruger hinandens restprodukter i deres produktion for at sikre en bæredygtig produktion og samtidigt mindske CO₂-udledningen.

I alt har denne revolutionerende symbiose betydet, at man i 2010 havde reduceret den samlede CO₂-udledning, fra alle producenter som indgik i symbiosen, med 265.000 tons per år og det samlede vandforbrug med ca. 30 %. Der er ingen tvivl om, at disse symbioser, hvor vi genbruger spildevand og CO₂, er vejen frem imod en billigere og mere bæredygtig fremtid for virksomheder.

Det kan altså allerede nu lade sig gøre at lave en symbiose imellem alger og virksomheder i forbindelse med rensning af spildevand. Virksomhederne kan udnytte, at alger kan optage CO₂ og lagre nitrogen og fosfor i biomasse. Biomassen kan virksomhederne lave om til biobrændsel, gødning eller endda værdifulde stoffer såsom farvestoffer. Det er dog stadigvæk en stor udfordring at gå fra biomasse til værdifulde stoffer, mens biobrændsel er mere nærliggende og forholdsvis simpelt at oprense. I næste afsnit vil du blive klogere på 3. generations biobrændsel fra alger, og hvor tæt vi er på et biosamfund, hvor vi ikke længere er afhængige af olie og andre fossile brændstoffer.

Algebenzin

Jordens fossile brændstoffer blev dannet for mange millioner år siden og er i dag en ressource, vores samfund er dybt afhængig af. Prøv at forestille dig en verden uden biler, fly og maskiner i det hele taget. Som du måske har hørt i nyhederne, er olieprisen faldet fra midten af 2014 og den falder stadigvæk i 2016. Dette er en god nyhed for bilejere og alle os andre forbrugere, men denne tendens ser ikke ud til at vare ved. Eksperterne er meget uenige om, hvornår vi løber tør for olie, men uanset om det er om 15 eller 150 år, så bliver vi nødt til at finde alternative energiformer, før den dag kommer. Faktum er, at verdens befolkning bliver større og vi bliver mere velhavende. Det betyder et højere forbrug af olie, og på et tidspunkt når vi et punkt, hvor vi ikke længere vil kunne pumpe den efterspurgte mængde olie op af jorden. Det er her, biobrændsel kommer ind i billedet. Biobrændsler er en fælles betegnelse for brændsler, der er produceret fra biologisk materiale, og som er produceret inden for få år som eksempelvis; biogas, biodiesel, bioethanol og biohydrogen.

Ethanol bliver også kaldt for alkohol eller sprit, og du kender det fra det aktive stof i øl, vin og spiritus.

Biobrændsel kan erstatte olie som brændstof i de fleste motorer og maskiner uden ekstra tiltag. Lad os kigge på udviklingen af biobrændsel. Her snakker vi om forskellige generationer af biobrændsel. Første generations biobrændsel fokuserer på afgrøder som majs og sukkerrør til produktion af ethanol og sojabønner og palmeolie til produktion af biodiesel. Her forarbejder man de forskellige afgrøder for at få oprenset olien eller alkoholen. Denne produktion kræver altså landbrugsarealer og fødevarer, som ellers kunne have været serveret på middagsbordet.

Anden generations biobrændsel fokuserer på produktionen af bioethanol, fra eksempelvis halm og kan dyrkes i store lukkede beholdere. Denne produktion bruger ikke nødvendigvis langbrugsareal eller afgrøder, som kunne bruges som fødevarer for mennesker. Man skal til gengæld benytte enzymer til processen, som er forholdsvis dyre at fremstille. Bioethanolen kender du måske fra benzinen i Danmark, hvor det siden 1. juli 2010 har været et lovkrav, at 5% af benzinen skal være bioethanol.

Første og anden generations biobrændsel er et skridt på vejen i den rigtige retning, men vi har endnu ikke set de lovende produktionsmængder, man i sin tid havde håbet på pga. de høje produktionsomkostninger.

Tredje generations biobrændsel er brændstof produceret af alger, og det er på nuværende tidspunkt den mest lovende konkurrent til olien. Man kan nemlig få alger til at producere store mængder af olie. Der er stadigvæk praktiske hensyn, som gør at omkostningerne bliver for høje, men forskerne arbejder på at gøre produktionen billigere og mere effektiv.

Hvordan udvinder man biobrændsel fra algerne?

Der er mange forskellige metoder til udvinding af biobrændsel fra alger, men overordnet set starter man med at høste algerne, dernæst findeler man dem, og så er man klar til udvindingen af olien/alkoholen. De 4 hyppigst anvendte udvindingsmetoder er de følgende.

- Den simpleste metode er mekanisk ødelæggelse af algerne, hvor man bruger opløsningsmidler til at oprense biobrændsel fra de ødelagte algeceller.
- Ved enzymudvinding bruger man enzymer til at skade cellevæggen og udvinde biobrændsel. Enzymudvinding er dog dyrere end mekanisk ødelæggelse på nuværende tidspunkt.
- Et pludseligt fald i det osmotiske tryk kan også bruges til at frigøre cellekomponenter som biobrændsel.

- CO₂-udvinding fungerer, ved at CO₂ holdes på væskeform under tryk og bliver opvarmet til et punkt, hvor det har egenskaber som både gas og væske. CO₂ reagerer nu som opløsningsmiddel og udvinder biobrændsel.

Efter udvindingen forarbejder man olien/alkoholen kemisk, så den kan benyttes i de maskiner man ønsker.

Alger kan producere biogas, bioethanol, biohydrogen og biodiesel. Så længe olieprisen er så lav som 39,46 dollars (27. marts 2016) per tønde olie, vil det være næsten umuligt at matche prisen med

biobrændsel. Omkostningerne ved oprensningen af olien og dyrkningen af algerne giver i øjeblikket en langt højere salgspris, end hvad der kan konkurrere med oliepriserne. Men hvis eksperterne har ret, vil vi komme til et tidspunkt hvor oliepriserne igen stiger. Med den satsning vi ser i øjeblikket på biobrændsel fra alger, vil vi på et tidspunkt nå til et punkt, hvor 1 liter biobrændsel er billigere end 1 liter olie.

3. generations biobrændsel fra alger bliver måske den bæredygtige produktion, som skal overtage oliemarkedet og skabe grobunden for et biosamfund, hvor vi ikke længere er afhængige af fossile brændstoffer, og den globale opvarmning effektivt bliver stoppet.

Osmose beskriver, hvordan vand kan "vandre" over en cellemembran fra en høj koncentration af vand til en lavere koncentration af vand. Det osmotiske tryk beskriver det tryk, vandet påvirke membranen med.



Figur 4 viser, at vores benzin i fremtiden muligvis bliver produceret i alger.

Kræftmedicin fra alger

I 2013 donerede innovationsfonden 20,6 millioner kroner til et hold af forskere fra Københavns Universitet (KU) med professor Poul Erik Jensen i spidsen. Pengene skulle gå til forskning med det endelige mål at skabe en effektiv lysdreven produktion af værdifulde stoffer, som kan indgå i eksempelvis kræftmedicin. Projektet slutter i 2018, men forskerne har allerede påvist, at det kan lade sig gøre at designe en genetisk modificeret alge, som kan producere enzymer til brug i medicin ved hjælp af overskudsenergien fra fotosyntesen.

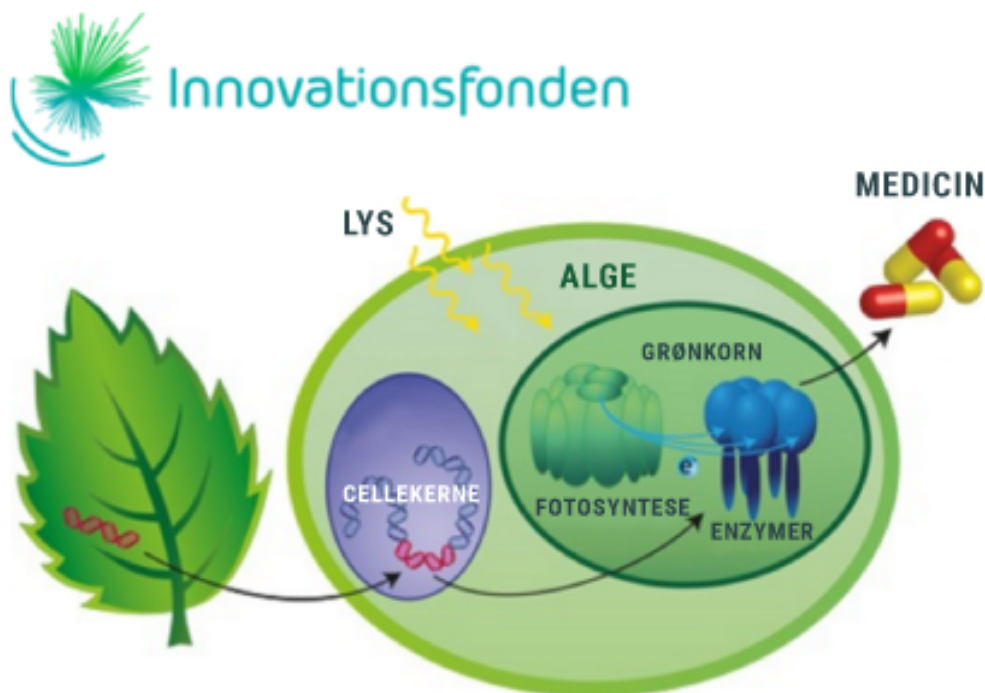
Målet med projektet er, at producere bioreaktive terpenener i alger. Terpenener er komplekse stoffer, som er meget svære at producere kemisk. De dannes til gengæld naturligt i planter, men det er i meget små mængder. Alger er jo også planter, og derfor er det nærliggende at forsøge at flytte produktionen over i algerne. Forskerne forsøger derfor at finde frem til, hvordan man kan få alger til at producere terpenener, og hvordan man kan indsætte bestemte gener, som kan gøre selve produktionen mere effektiv. Dette betyder dog desværre ikke, at vi kan producere de mest komplekse enzymer til kræftmedicin i alger endnu. Men vi er tættere på end nogensinde før.

Hvis det kan lade sig gøre at producere store mængder terpenener i alger, vil det revolutionere vores medicinalindustri. Terpenener kan bruges i kræftmedicin, og de kan potentielt også indgå i anden medicin, i hormonbehandling og som våben i kampen mod de multiresistente bakterier på sygehusene. Hvis man først har knækket koden i forhold til at producere terpenener i alger ved hjælp af overskudsenergi fra fotosyntesen, er der ikke langt til at producere andre værdifulde stoffer i alger. Hvis forskerne knækker koden, kan det blive det afgørende skridt, som for alvor vil sætte fuld skub i markedet for produktion af værdifulde stoffer i alger.

Lysdreven produktion af medicin

Nu skal du tænke tilbage på, hvordan det nu var, fotosyntesen fungerede, som du læste om i afsnittet *alger*. Denne grundviden er nemlig vigtig for at forstå, hvordan forskerne fra KU egentlig fik bevist, at man kan producere terpener i cyanobakterier. Jeg vil nu derfor kort genopfriske din hukommelse. En cyanobakterie er en mikroalge, som vokser utrolig hurtigt, og den er nem at modificere genetisk. Dette gør den optimal til produktion af værdifulde stoffer.

Når en lyspartikel rammer en alge vil farvepigmenterne "fange" partiklen, og solenergien bliver overført til elektroner. Disse elektroner kan nu populært kaldes "begejstrede", og har nu fået overført energi fra sollyset. Denne energi kan bruges i resten af fotosyntesens reaktioner. Men forskerne fra KU var interesserede i, at algerne kun brugte den mest nødvendige energi til fotosyntesens reaktioner, og at den overskydende energi kunne bruges til at producere enzymer til medicin i stedet for. Dette ses på figur 1:



Figur 1 viser, hvordan forskerne på KU har indsat gener i en alge, som nu kan producere enzymer til eksempelvis medicin. Denne enzymproduktion kobles på fotosyntesen, således at forskerne kan udnytte overskudsenergien fra fotosyntesen til at øge produktionen.

Hvis vi kigger lidt nærmere på den overskudsenergi, som bliver dannet i fotosyntesen, vil vi opdage, at den bliver lagret i et protein, som kaldes ferredoxin (Fd). Fd fungerer som et batteri i algen, der optager al energien, der produceres i fotosyntesen fra sollyset. Det opladte batteri, kan nu bruges i de livsnødvendige reaktioner i algen, men der vil altid være noget overskudsenergi på batteriet, som algen ikke kan udnytte. Forskerne fra KU forsøger at overføre denne energi til en bestemt gruppe af enzymer, kaldet P450-enzymen. Disse enzymer laver meget vigtige reaktioner i planter, som eksempelvis produktionen af naturstoffer, som vi mennesker benytter i medicin, farvestoffer, kosmetik og meget andet. Et par velkendte eksempler på processer, hvor enzymer indgår, er ved produktionen af malariamedicinen artemisinin og kræftmedicinen taxol. Problemet er, at disse stoffer typisk bliver dannet i træer og planter, som er meget sjældne og/eller vokser utroligt langsomt. Derfor er det at foretrække, at kunne producere disse stoffer i alger, som vokser hurtigt, og hvor produktionen kan optimeres ved genetisk at ændre algerne. Problemet er, at stoffer som taxol og artemisinin, er så komplekse at producere, at der skal mange års yderlige forskning og en god portion held til før at det lykkes.

Forskerne fra KU gik i 2013 i gang med at undersøge, om konceptet virkede, og man kunne bruge overskudsenergi fra fotosyntesen til enzymreaktioner, som normalt optrådte i andre planter, i cyanobakterier i stedet ved genetisk modifikation. I 2015 udgav forskerne fra KU en videnskabelig artikel, som beskrev hvordan de havde indsat en bestemt reaktionsvej i en cyanobakterie. Reaktionsvejen består af en række gener fra en Durra plante, som laver stoffet dhurrin. De fik endda koblet denne reaktionsvej direkte på fotosyntesen. Det vil sige at den overskudsenergi, som bliver produceret i fotosyntesen i algen kunne bruges til at danne dhurrin. Dette var ved hjælp af enzymer, som normalt dannes i Durra planten.

En reaktionsvej består af en række kemiske reaktioner, der fører til produktionen af et bestemt stof, der foregår inde i en celle.
--

Dette forsøg har vist, at hvis man kender reaktionsvejen til et bestemt naturligt stof, som eksempelvis produceres i et træ, kan man faktisk finde frem til, hvilke gener der indgår i denne reaktionsvej. Disse gener kan man så overføre til en cyanobakterie, som vokser langt hurtigere end træet, og derfor kan lave en højere produktion af det naturlige stof. Reaktionsvejen kan nu kobles til

fotosyntesens overskudsenergi, igennem det biologiske batteri ferredoxin, og udnytte energi fra sollyset til at producere det naturlige stof. Konceptet er hermed blevet bevist af forskerne fra KU. Næste skridt er nu at producere nogle af de mest komplekse naturstoffer, som indgår i eksempelvis kræftmedicin, og dermed kunne redde mange menneskeliv i fremtiden.

Den hellige gral

Nu vil jeg fortælle dig en historie om den hellige gral inden for den medicinske verden; nemlig historien om kræftmedicinen Taxol.

Taxol tilhører terpenener og er et af de mest effektive kræftmedikamenter, vi kender til i dag. Taxol er det stof, som enhver forsker inden for den medicinske verden, drømmer om at kunne producere i store mængder. I januar måned 2016 var prisen på en guldbarre på 12,4 kg = 3.048.726 kroner. Til sammenligning ville 12,4 kg taxol have kostet dig 137.432.920 kroner. Taxol er altså næsten 46 gange mere værd end guld.

Hvorfor er dette vidundermiddel egentlig så dyrt?

Lad os kigge på, hvor Taxol bliver produceret naturligt. Paclitaxel, som Taxol oprindeligt hedder, blev opdaget i 1962, hvor man fandt ud af, at det kunne oprenses fra barken af et bestemt takstræ. Varemærket for den nye medicin blev senere navngivet Taxol. Træet vokser utroligt langsomt i naturen, og var allerede dengang ikke særlig udbredt. I dag er træet næsten udryddet. Først i 1971 havde forskerne slået fast, at Taxol kunne bruges i kræftmedicin. Hvis man skærer al barken af et takstræ står man tilbage med 2 kg bark. Der skal 12 kg bark til at producere 0,5 gram Taxol. Træet overlever ikke at miste barken, og man udryddede stort set alle træerne i verden i jagten på den nye kræftmedicin.

Hvordan virker Taxol i behandlingen af kræft?

Når man får kræft betyder det, at nogle bestemte celler i kroppen begynder at dele sig uhæmmet. Normalt sker celledeling i kroppen efter en nøjagtig procedure. De fleste af de fejl, der opstår i cellerne, vil blive rettet, så cellerne fungerer optimalt. Dette bliver sat ud af spil, når cellerne bliver til kræftceller. Kræftceller deler sig utrolig hurtigt, og de har alt for mange fejl. Dette gør os mere og mere syge.

Taxol virker ved at stimulerer nogle bestemte proteiner til at gå ind og sætte en stopper for den uhæmmede celledeling, og det kan på den måde forhindre kræften i at spredes til resten af kroppen. I 1992 blev Taxol godkendt som lægemiddel i USA, og det blev solgt som medicin imod brystkræft for 1000 dollars per dosis. Normalt skal man have 4-5 doser af medicinen, før brystkræften er behandlet, og det var på det tidspunkt det dyreste medikament i verden.

Taxol kan bruges til behandling af nogle af de hyppigst forekommende typer af kræft, og forskere forsøger fortsat at producere Taxol i forskellige produktionsorganismer. Lige nu er de mest lovende resultater fundet ved at bruge gærceller eller bakterien *E. coli* til at producere Taxol. Desværre har man dog kun indført dele af reaktionsvejen som fører til Taxol, og den dag i dag er det stadigvæk kun muligt at oprense Taxol fra barken fra takstræet. Taxols reaktionsvej er meget kompleks, og består af mange gener, man skal have indsat samtidig og få dem til at arbejde sammen i en helt ny organisme.

Produktionen af ”den hellige gral” ligger ude i fremtiden, men tænk hvis man kunne producere stoffer som Taxol i cyanobakterier i stor skala. Det er allerede lykkedes for forskerne på KU at lave en model over, hvordan man kan indsætte hele reaktionsveje ind i alger og få dem koblet direkte på fotosyntesen. Det kræver stadigvæk megen forskning og tusindvis af forsøg, før vi når til at kunne producere store mængder af Taxol i alger. Det ligger mere nærliggende, at forskerne snart vil opdage, hvordan man skal producere andre, mere simple, medikamenter og værdifulde stoffer i store mængder i alger.

Superalger redder klimaet

I nær fremtid vil vi have opbrugt de fleste af vores fossile energireserver, og dette skaber en enorm samfundsmæssig udfordring. Globalt set kommer i dag ca. 15 % af vores energi fra alternative energikilder som eksempelvis sollys, vind og vandkraft, men denne andel er langt fra nok til at dække det samlede energibehov. Vi har brug for en mere effektiv måde at producere energi, som ikke udleder CO₂. Vi skal derfor omlægge vores nuværende industri mod en mere bæredygtig og grøn retning, så vi undgår en yderligere forværring af klimakrisen. Pilen peger på alger.

Denne case handler om, hvordan man kan få algen, *Chlamydomonas reinhardtii*, til at producere hydrogen. Det vil også blive forklaret, hvordan algen kan genmodificeres i laboratoriet, således at den producerer en endnu større mængde hydrogen. Hydrogen kan anvendes i brændselsceller, som danner grundlaget for elektricitet og varme til brug i alverdens byer verden over.

Kan alger og bioteknologi redde verden?

Dette er det store spørgsmål, som du er bedre stillet til at svare på, efter du har læst og arbejdet med denne case.

Alger kan allerede i dag dyrkes i stor skala. Faktisk er det estimeret, at hvis man tilplantede et areal på størrelse med Texas, ville man kunne producere hydrogen nok til at dække hele verdens energibehov.

Hvordan har den danske befolkning det med, at vi "leger Gud" og ændrer på en organismes gensammensætning til produktion af energi? I afsnittet *Etik*, forsøger jeg at give nogle bud på, hvilke etiske problemstillinger der kan være i forhold til genetisk modificerede organismer (GMO) til brug i algefabrikker, og hvorvidt vi overhovedet har råd til ikke at benytte GMO.

Det er en fordel at have læst afsnittet *GMO*, inden du læser denne case.

Denne case er lidt sværere end de andre eksempler, men den giver samtidigt en dybdegående viden omkring bioteknologi og GMO. Du kan eventuelt spørge din lærer, hvis der er begreber, du ikke forstår.

Mikroalger producerer hydrogen

Genmodifikation handler om at ændre på gensekvensen i en naturlig organisme. Dette kan udnyttes til at skabe organismer, som er bedre til at producere et bestemt produkt. Denne case tager udgangspunkt i en artikel, som beskriver, hvordan man har fået *Chlamydomonas reinhardtii* til at producere hydrogen i større mængder ved genetisk at modificere mikroalgen. Artiklen er udgivet i 2007, og det var første gang at det lykkedes at lave en effektiv produktion af hydrogen i en mikroalge.

Før man kan forstå, hvordan forskerne har ændret på mikroalgen for at få en højere hydrogenproduktion, skal man først præsenteres for det centrale dogme.

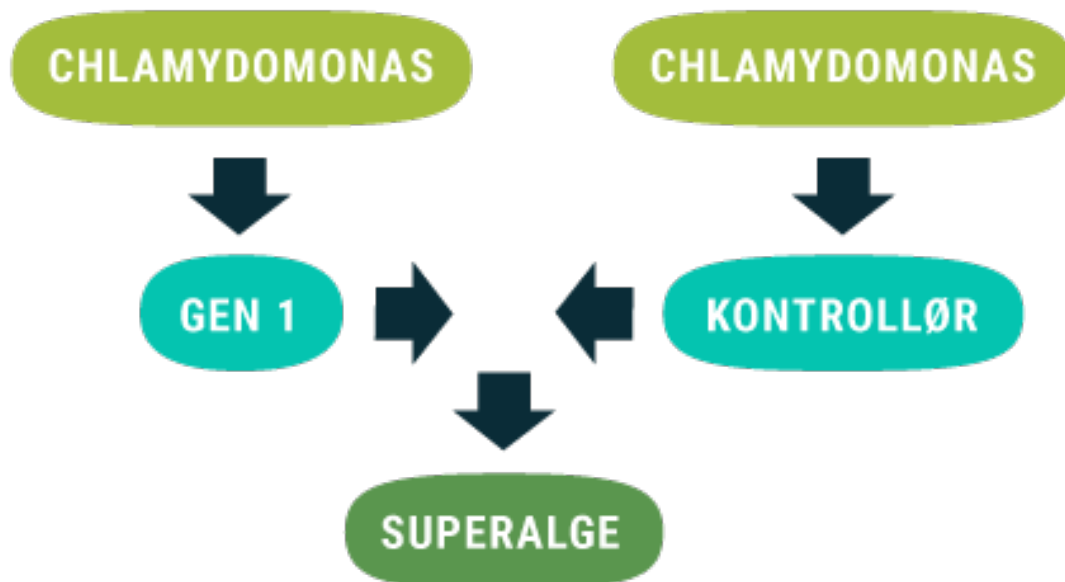
Det centrale dogme er et af de vigtigste begreber i bioteknologiens verden. Det beskriver, hvordan vi kommer fra DNA til protein i alle organismer. Helt overordnet set består processen i 3 trin: DNA replikation, transkription og translation. Se videoen nedenfor, hvor de enkelte trin forklares uddybende.

Forskerne fandt ud af, at man kan sikre en højere hydrogen produktion ved at ændre på bestemte gener i mikroalgen. Hvert gen indeholder en opskrift på et bestemt protein. Hvis man ændrer på et eller flere gener i en alge, kan man ændre på proteinerne, der bliver produceret i algen, og det kan have effekt på eksempelvis produktionen af hydrogen.

De schweiziske forskere brugte den samlede viden omkring fotosyntese, det centrale dogme og metallers effekt på biologiske processer til at udvikle en ny "Superalge" til hydrogenproduktion.

Forskerne havde fundet ud af, at når et bestemt gen var tilstede, blev der dannet et bestemt protein i mikroalgen. I det følgende afsnit vil genet kaldes gen 1 og proteinet vil blive kaldt for protein 1. Protein 1 sidder der, hvor lyset bliver overført til elektronerne i fotosyntesen. Overordnet set kan man derfor sige, at hvis der ikke er noget gen 1, vil der ikke være nogen fotosyntese, da denne er afhængig af, at protein 1 er tilstede.

Hele processen afhænger altså af gen 1, og derfor ønskede forskerne at kunne kontrollere tilstedeværelsen af genet. Men i en *C. reinhardtii* i naturen er dette gen kontrolleret af mange forskellige faktorer, og det gjorde det umuligt at styre genet. Så forskerne gjorde noget smart:



Figur 1 viser, hvordan forskerne skabte en ”Superalge” ved at indsætte en kontrollør og et nyt gen i en *C. reinhardtii* som ikke havde genet i forvejen.

Først fjernede de gen 1 fra en *C. reinhardtii* (den på figur 1 som hedder ”Superalgen”). Dernæst tog de et gen 1 fra en naturlig *C. reinhardtii* og en kontrollør fra en anden naturlig *C. reinhardtii* og satte dem sammen i laboratoriet. En kontrollør styrer, hvorvidt genet skal være aktivt eller inaktivt. Dernæst indsatte forskerne kontrolløren og gen 1 i den nye superalge. Kontrolløren styrerede altså nu, hvornår gen 1 var aktivt og inaktivt.

Det betød samlet, at hvis forskerne kunne styre kontrolløren, kunne de også styre gen 1, og dermed kunne de også kontrollere, om algen lavede fotosyntese eller ej.

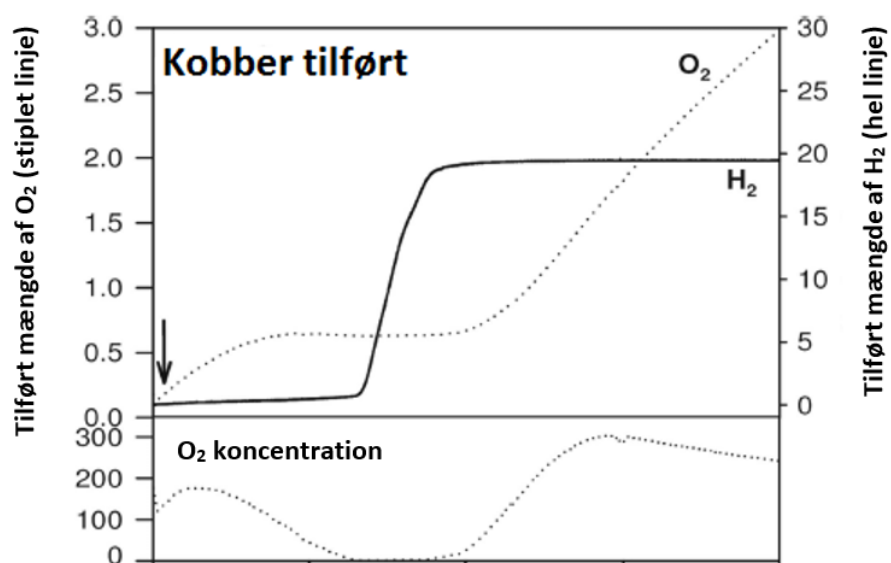
Hvis kontrolløren aktiverer gen 1 ser den samlede reaktionsvej således ud:

Reaktionsvej: *Kontrollør* → *Gen 1* → *Protein 1* → *Fotosyntese*

Når en alge, som *C. reinhardtii*, lever i naturen laver den fotosyntese og respiration. Men ”Superalgen” kan styres til også at lave fermentering. Fermentering, bliver også kaldt gæring (ligesom du kender det fra produktionen af alkohol), og er en omdannelse af energi på samme måde som respiration, men helt uden brug af ilt. Dette kan udnyttes som et led i hydrogenproduktionen.

Nu kommer det sidste skridt i processen, nemlig hvor man omdanner hydrogen, som algen producerer, til dihydrogen (H_2), som kan indgå i brændselsceller. Heldigvis findes der et enzym, som får hydrogen lavet om til dihydrogen. Vigtigt at notere sig er, at enzymet kun virker når der ikke er ilt tilstede, og dette har forskerne også udnyttet.

Nu kommer det banebrydende og en smule komplicerede. Vores kontrollør kan nemlig styres af kobber og om algen skal lave fermentering eller respiration. Det vil nu blive forklaret, ud fra grafen fra artiklen, hvordan hydrogenproduktionen foregår i en lukket tank:



Figur 2 viser henholdsvis oxygenniveauet (O_2 μmol per ml.) og dihydrogenniveauet (H_2 μmol per ml.) i beholderen over et tidsforløb. Til tiden 0 tilsættes kobber til beholderen. De øverste grafer viser produktionen af oxygen og dihydrogen, og den nederste graf viser det samlede oxygenniveau i beholderen.

Som det ses på grafen starter "Superalgen" med at lave fotosyntese (det ses ved at oxygenniveauet stiger). Nu tilsættes kobber til "Superalgen", og dette gør, at kontrolløren inaktiverer gen 1. Hvis du husker tilbage til **reaktionsvejen** så vil hele den lange reaktion være stoppet, og algen vil ikke længere producere oxygen.

Algen vil stadigvæk lave respiration, og dette forbruger al oxygen i tanken. Når der ikke er mere oxygen, begynder enzymet at omdanne hydrogen til dihydrogen, som jo er målet med hele forsøget. Algen har dog stadigvæk brug for energi, men den kan ikke lave respiration uden ilt, så nu begynder den at lave fermentering. Fermentering gør, at kontrolløren igen aktivere gen 1 og vi vil igen se, at algen begynder at lave fotosyntese og oxygenniveauet stiger. Dette betyder også, at algen begynder at lave respiration igen, og enzymet kan ikke længere omdanne hydrogen til dihydrogen.

Forskerne har dermed fået lavet en såkaldt cyklisk proces, hvor algen hele tiden skifter imellem henholdsvis fotosyntese + respiration og fermentering. En cyklisk proces betyder, at de enkelte trin i processen bliver gentaget igen og igen, og det kan på den måde også beskrives som en cirkelproces. En cyklisk proces sikrer en stabil hydrogenproduktion, samtidigt med at algen får lov til at lave de livsnødvendige processer, som den behøver for at overleve. Forrige forsøg har nemlig vist, at algerne dør, hvis de ikke får lov til at lave fotosyntese og respiration en del af tiden. Forskerne har kørt den cykliske proces igennem 2-3 gange med succes. For at skabe en effektiv produktion kræver det, at processen skal kunne køres flere tusinde gange.

Det er første gang, forskere har lavet en cyklisk produktion af dihydrogen, og det er et stort skridt i den rigtige retning imod et biosamfund, hvor vi ikke længere er afhængige af fossile brændstoffer, men i stedet kan producere den nødvendige energi på en CO₂-neutral og bæredygtig måde.

Brændselsceller og fremtiden

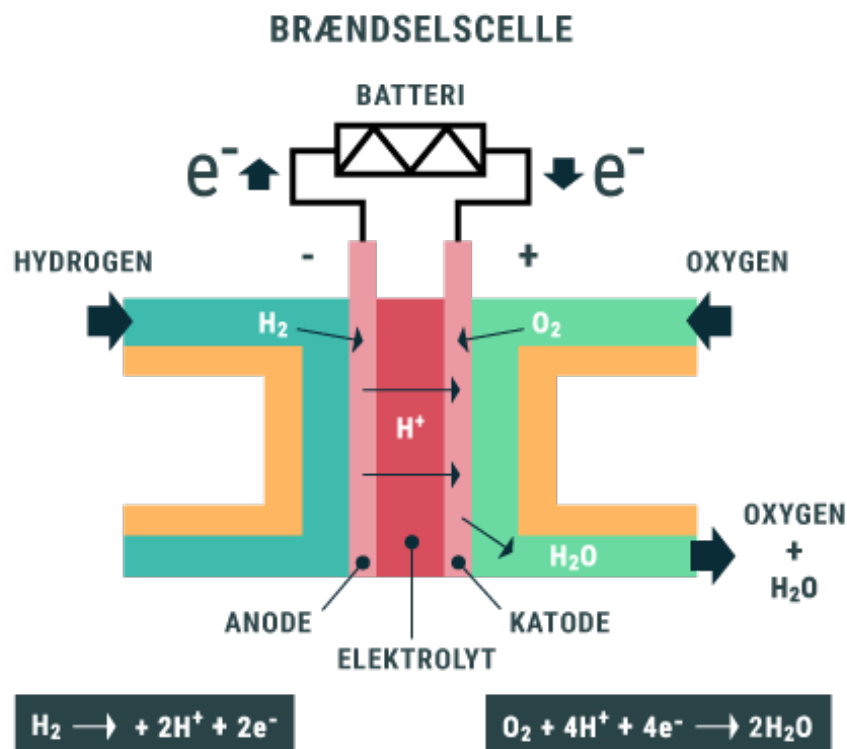
Forskerne fra Schweiz havde nu påvist, at man kunne få en mikroalge til at producere dihydrogen (H_2).

Hvorfor er det interessant at producerer dihydrogen?

Dihydrogen, også kaldet brint, kan bruges i brændselsceller, og på den måde kan vi skabe elektricitet. Brændselsceller laver elektricitet ved en kemisk reaktion eksempelvis i mellem hydrogen og oxygen. Her omdannes den kemiske energi lagret i hydrogen og oxygen til elektrisk energi og vanddamp. Der dannes altså ingen CO_2 , og det er derfor en meget mere bæredygtig måde at producere elektricitet på i forhold til afbrænding af fossile brændstoffer, som udleder CO_2 til atmosfæren og skaber global opvarmning.

Hvordan fungerer en brændselscelle?

Figuren herunder viser hvordan man laver elektricitet i en brændselscelle ved at tilføre dihydrogen, som man eksempelvis kan skabe fra mikroalger, og oxygen fra luften.



Figur 3 viser opbygningen af en brændselscelle og de reaktioner, der foregår, når man benytter hydrogen og oxygen til produktion af elektricitet.

Til at begynde med tilføres dihydrogen til brændselscellens venstre side, og den vil straks, på grund af dens positive elektriske ladning, søge hen imod den negativt ladede anode (elektrisk komponent). Anoden sørger for, at reaktionen $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$ forløber, og der bliver dermed dannet positivt ladede hydrogenatomer og negativt ladede elektroner. Elektronerne vil nu tiltrækkes af den positivt ladede katode (elektrisk komponent) i højre side af figuren igennem et batteri, og dette producerer elektrisk strøm, som vi kender det fra stikkontakten derhjemme.

Ioner er atomer, der har afgivet eller optaget en eller flere elektroner og derved har opnået en elektrisk ladning.

De positivt ladede hydrogenatomer kan ikke følge de negative elektroner, og vil i stedet søge imod den negativt ladede katode i højre side af figuren igennem elektrolytten. En elektrolyt er en væske, som kan transportere ioner fra et sted til et andet. Det vigtigste at vide for at kunne forstå figuren, er at positiv tiltrækkes af negativ og omvendt. Det er en af de egenskaber ved ioner, som man udnytter i brændselsceller.

Oxygen er blevet tilført i højre side af brændselscellen og vil søge imod katoden, som får reaktionen $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$ til at foregå. Restproduktet vand vil nu blive ført ud af brændselscellen.

På den måde kan man producere elektricitet ved at tilføre dihydrogen og dioxygen til en brændselscelle, og det sker endda helt uden udledning af CO_2 .

Jeg startede denne case med et tankeeksperiment, hvor hele Texas kunne tilplantes med mikroalger, som producerede dihydrogen, og vi kunne producere elektricitet til hele verdens befolkning. Faktum er, at der i 2015 levede 27,5 millioner mennesker i Texas, og det bliver derfor svært at få dem allesammen overtalt til at flytte. Yderligere er der mange udfordringer i forhold til storskalaproduktionen af mikroalgerne.

For at denne enorme produktion af dihydrogen fra mikroalger skal lykkes, kræver det en kæmpe investering fra samfundet og private firmaer, samt en effektiv løsning på de praktiske forhindringer, der er ved denne produktion. Og så skal vi lige huske på, at algerne i dette eksempel er genmodificerede. Vi kan ikke, ifølge lovgivningen, sætte dem ud i naturen, de skal vokse i lukkede

drivhuse. Det er tydeligt, at vi har brug for mere forskning på dette område, og vi får nok ikke en hydrogenfabrik med "Superalger" i den nærmeste fremtid. Men det fantastiske ved genmodificering er, at man kan blive ved med at ændre på *C. reinhardtii*, så algerne bliver endnu bedre til produktionen af dihydrogen.

Der er endnu et stykke vej imod et biosamfund, hvor vi ikke længere har brug for fossile brændstoffer, som olie og gas, for at producere elektricitet og varme. Forskningen inden for alger til produktion af hydrogen og biodiesel har dog taget os de første skridt på vejen imod et CO₂-neutralt samfund.

Alger har om end potentialet til at blive det 21. århundredes vigtigste våben i kampen mod global opvarmning.

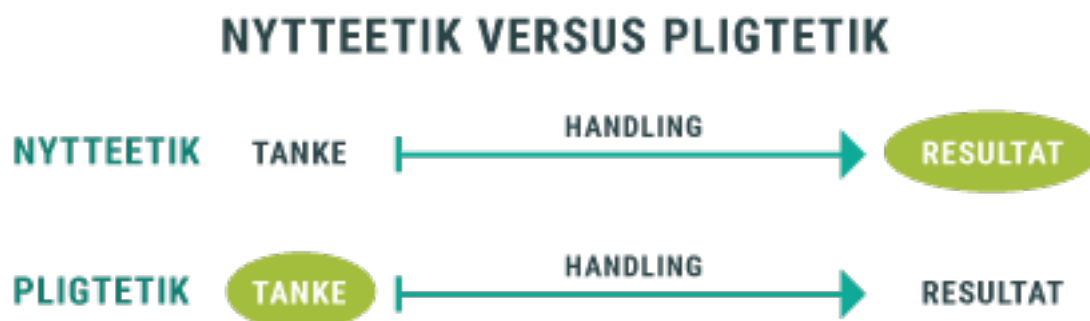
Etik

Etik beskæftiger sig kort fortalt om, hvordan vi som mennesker og samfund bør tænke og handle. Ethiske spørgsmål griber ind i vores liv, og tvinger os til at tænke over nogle etiske problemstillinger og dilemmaer. Det svære ved etiske spørgsmål er, at der ikke er noget rigtigt eller forkert svar. Hvad du synes er etisk korrekt er ikke nødvendigvis det samme som en person fra et andet land, kultur eller politisk overbevisning. Det er derfor en videnskab at studere forskellige teorier inden for etik for at kunne diskutere og tage stilling til etiske dilemmaer.

Du får i dette afsnit de 2 mest benyttede begreber præsenteret, når man beskæftiger sig med etik og bioteknologi; nemlig nytteetik og pligtetik. Dette skal give dig nogle redskaber til selv at overveje, hvad du mener om GMO og bioteknologiens måde at udnytte naturen på. På den måde kan du selv kan tage stilling til, hvilke etiske hensyn og krav vi skal stille til forskerne, så vi samtidigt sikre, at vi får gavn af de nye muligheder inden for bioteknologien.

Nytteetik handler først og fremmest om at skabe størst mulig lykke for det størst mulige antal mennesker ved en bestemt handling. Målet er her det vigtigste, og vejen dertil kommer i anden række. I har måske hørt det nytteetiske udtryk: ”målet helliger midlet”. En nytteetiker kan umiddelbart tænkes, at være for brug af GMO, da dette skaber en større og grønnere produktion af medicin, mad og andre nødvendige ting for Menneskehedens fælles bedste. På den anden side kan man også argumentere for, at hvis nytteetikereren mener, at sandsynligheden for udbrud af dødelige sygdomme på grund af GMO er for stor, vil nytteetikereren være imod brugen af GMO. Der er altså ikke noget der ligger 100 % fast i etik, og det er derfor interessant at diskutere.

En pligtetiker føler sig derimod forpligtet til altid at udføre etiske korrekte handlinger ud fra sit etiske standpunkt. Her fokuseres derfor mere på tanken bag handlingen som det vigtigste og ikke nødvendigvis konsekvenserne af den handling. Her handler det om at have det rigtige sindelag/moral og følge dette/denne. Hvis en pligtetiker eksempelvis er religiøs og mener, at Gud skabte verden perfekt, er der stor sandsynlighed for, at pligtetikereren vil mene, at GMO er forkert, da det ændrer på Guds skaberværk. Man kan dog ikke altid generalisere, hvad en pligtetiker vil mene i en bestemt situation, da det er bestemt af personens etiske principper og holdninger.



Figur 1 viser, hvad der er vigtigst i henholdsvis nytteetik og pligtetik. Det vigtigste for en nytteetiker er et godt resultat, hvorimod det vigtigste for en pligtetiker er tanken bag handlingen.

Dette er markeret med grønne bokse på figuren.

Etisk øvelse i klassen

Gruppeøvelsen kan laves 2 og 2 i klassen.

Det kan være svært, at tage stilling til om noget er etisk rigtigt eller forkert. Nu har I fået nogle begreber, som beskæftiger sig med nogle af de etiske overvejelser, man kan gøre sig, hvis man står over for et dilemma. Nu skal I forsøge at tænke over, om de følgende udsagn er overvejende pligt- eller nytteetiske, hvilken type person, der kunne have sagt det, og hvad I selv mener om dem. I kan med fordel vælge en, der er pligtetiker, og en, der er nytteetiker, og diskutere følgende udsagn.

1. Vi står over for en situation, hvor der snart er 10 milliarder mennesker på jorden, og vi vil ikke længere have mad, medicin og andre fornødenheder til alle. Vi bliver nødt til at bruge GMO til at redde menneskeheden.
2. GMO er utilgiveligt, da vi som mennesker ændrer den perfekte natur, som gud har skabt den.
3. Det vigtigste er, at menneskeheden overlever, også selvom det betyder, at vi skal udnytte naturen.
4. Det vigtigste er, at vi er gode mennesker og passer på naturen.

Dette skulle gerne have givet jer nogle redskaber til at forstå, hvilke etiske overvejelser der ligger bag personers holdninger og handlinger i forhold til spørgsmålet "for eller imod GMO".

Det er vigtigt, at I bliver ved med at tænke over dette spørgsmål, uanset om I kommer til at studere bioteknologi eller et hvilken som helst andet område, for det har allerede og vil revolutionere den verden I kender fra i dag.

Algedråber og fotosyntese

Fotosyntesen er en utrolig kompleks proces, som kan være svær at forstå. Heldigvis kan fotosyntesen illustreres på en måde, så alle kan forstå, hvad der helt præcist foregår i en algecelle. Denne øvelsesvejledning beskriver en metode til at indkapsle alger i små dråber og måle deres fotosyntese ved hjælp af en pH indikator (og muligvis et spektrofotometer). Du vil kunne se en farveændring af pH indikatoren, når algerne begynder at forbruge CO_2 igennem fotosyntesen. Når CO_2 fjernes fra opløsningen, bliver den nemlig mere basisk og pH værdien stiger med andre ord. Det kan være en god ide, at du på forhånd har læst afsnittet om **alger**, inden du påbegynder øvelsen.

Formålet med forsøget er først og fremmest at lære noget om fotosyntesen og se på, hvilke stoffer der indgår i processen.

Forsøget laves i grupper af 2-3.

Fremstilling af algedråber:

Materiale og udstyr:

- Algeopløsningen
- Natrium Alginat
- Injektionssprøjte
- Et lille stykke pap
- Plastic pippette
- Bægerglas
- Buffer (Calciumchlorid)

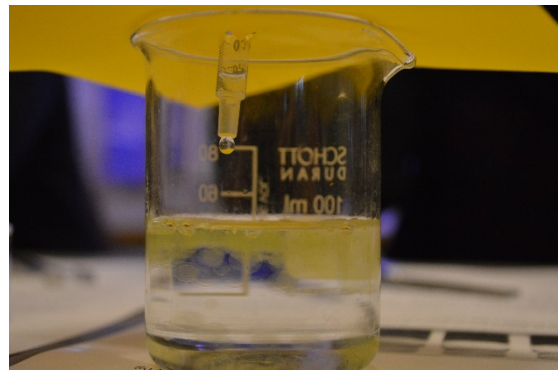


Figur 1 viser de samlede materialer, som hver gruppe skal bruge til at lave hele forsøget (demineraliseret vand er ikke vist på billedet).

Fremgangsmåde:

1. Start med at hælde 25 ml. calciumchlorid over i bægerglasset.
2. Placer nu det lille stykke pap oven på bægerglasset.
3. Fjern stemplet fra injektionssprøjten og sæt sprøjten fast i papstykket, så der er ca. 5-10 cm fra sprøjtes spids til bunden af bægerglasset.
4. Overfør nu 5 ml. algeopløsning til røret med de 5 ml. alginat og ryst det let med låget på.
5. Den samlede blanding (alginat og alger) overføres nu forsigtigt med en pippette til sprøjten, så blandingen drypper langsomt ned i calciumchlorid-opløsningen, og I vil nu se at der dannes algedråber.
6. Efter at hele blandingen er kørt igennem sprøjten, skulle I gerne have et sted mellem 50 og 100 algedråber.

Nu er algedråberne klar til at blive brugt i forsøget. Men først lidt introduktion om pH indikatoren og til spektrofotometeret (hvis I ikke har et sådant apparat i klassen, kan afsnittet springes over).



De to ovenstående billeder er fra en 8. klasse på Lindevangsskolen som testede forsøget.

Hydrogecarbonat som pH indikator:

Hydrogencarbonat bliver normalt brugt til at måle ændringer i pH-værdien i en opløsning.

Indikatoren er ideel til dette forsøg, da den er meget følsom over for CO₂-niveauet i opløsningen.

Indikatoren er ugiftig, men lad venligst være med at drikke den. Når indikatoren er ved almindeligt tryk ved stuetemperatur, er den orange/rød. Hvis der kommer mere CO₂ i opløsningen, bliver blandingen mere gul. Hvis CO₂ omvendt fjernes fra opløsningen, bliver indikatoren mere rød og til sidst lilla. Hvis et bestemt antal algedråber placeres i en bestemt mængde af hydrogencarbonat og placeres tæt på en lyskilde, vil de optage CO₂, efterhånden som algerne udfører fotosyntese.

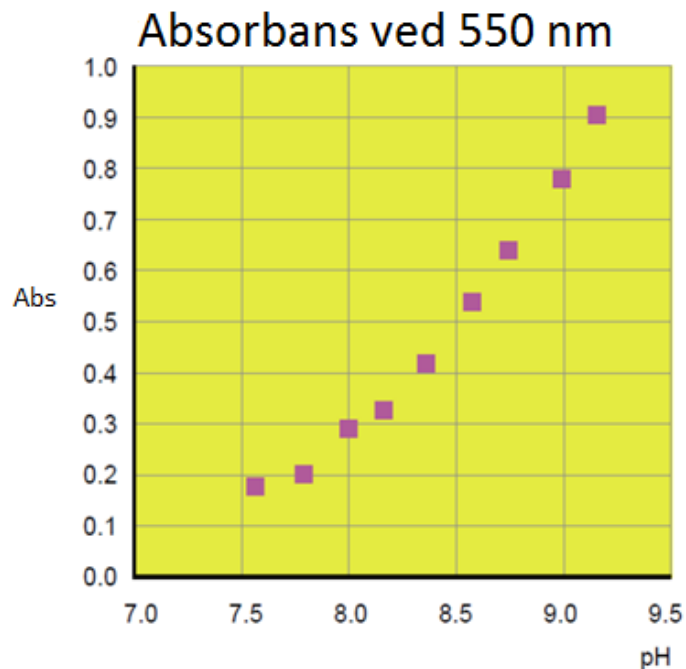
Indikatoren vil skifte fra orange til rød og videre til lilla.



Figur 2 viser, hvordan farven på væsken i jeres plastikbøtter gerne skulle skifte afhængigt af hvor meget fotosyntese, der er forgået i den enkelte plastikbøtte.

Spekrofotometer:

Ændringerne i farven er tydelige med det blotte øje, men de kan også kvantificeres med et spektrofotometer. Et spektrofotometer måler absorbansen i en opløsning. Absorbans er et udtryk for hvor meget lys, der bliver optaget i en opløsning. Når spektrofotometeret sender lys igennem en opløsning med pH indikator, vil noget af lyset blive optaget i væsken. Det lys, som skinner igennem opløsningen, fanges på den anden side, og på den måde kan spektrofotometeret sammenligne dette med det oprindelige lys og se, hvor meget der blev optaget i opløsningen. Jo højere pH værdien af indikatoren er (jo mere lilla farven er), jo højere er absorbansen. Man kan altså på den måde se, hvor meget fotosyntese der foregår ved at sammenholde pH værdien i opløsningen med absorbansen, som det er vist på grafen nedenfor.



Figur 3, viser hvordan absorbansen er afhængig af pH værdien. Ved højere pH er farven på væsken mere lilla, og det giver en højere måling af absorbansen.

Selve forsøget: sammenhæng mellem fotosyntese og lys

Dette forsøg viser, hvordan hastigheden af fotosyntesen påvirkes af lysintensiteten.

Materialer og udstyr:

- 80 Algedråber
- 5 små plastik bølter med låg
- pH indikatoren hydrogencarbonat
- Pincet
- Sprittusch
- Demineraliseret vand

Fremgangsmåde:

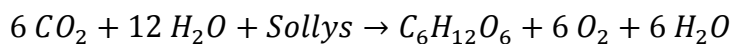
1. Marker de 5 plastikbøtter med tallene 1-5 og jeres gruppenavn.
2. Hæld forsigtigt calciumchlorid fra algedråberne og ud i en håndvask.
3. Skyl algedråberne med en smule demineraliseret vand, mens de stadig er i glasset.
4. Overfør nu 7 ml. hydrogencarbonat til hver af de 5 plastikbøtter.
5. Tag nu forsigtigt 20 algedråber over i hver af de 4 plastikbøtter med en pincet (pas på, de er meget skrøbelige). Bøtte nummer 5 er en blankprøve, det vil sige, at den ikke skal have nogle algedråber i.

Jeres lærer vil nu tænde lyset og sætte en beholder med vand imellem lyskilden og algedråberne. Alle placerer deres plastikbøtter nogenlunde samtidigt ved lyskilden.

6. Når I får besked fra jeres lærer om, at forsøget er klart, placerer I plastikbøtte nummer 1 ca. 50 cm fra vandbeholderen. Bøtte 2 placeres 100 cm fra vandbeholderen, og bøtte 3 placeres 150 cm fra vandbeholderen. Bøtte 4 placeres under en mørk trøje, hue eller lignende (det vigtigste er, at bøtten ikke får noget lys). Bøtte 5 lader i bare stå på jeres bord, denne prøve burde ikke ændre farve.
7. Efter 30 minutter kan måske allerede se en lettere farveforskel i bøtterne
8. Efter 2 timer kan I helt sikkert se en farveforskel, og I kan nu gå videre med prøverne til et spektrofotometer for at kunne kvantificere jeres data ellers går i videre med spørgsmålene.

Spørgsmål til øvelsen:

Hvis I nu tænker tilbage på denne ligning og sammenholder det med, hvad I har set i forsøget, så skulle I gerne kunne svare på spørgsmålene.



1. Hvilken farve får bøtte nummer 1, og hvordan hænger det sammen med CO_2 -indholdet i prøven?
2. Hvorfor er der forskel på farverne i bølterne 1-3?
3. Hvilken farve får bøtte nummer 4, og hvilken anden proces end fotosyntesen er involveret i dette?
4. Hvorfor ser i ingen farveændring i bøtte nummer 5?
5. Hvordan er den overordnede sammenhæng mellem lysintensiteten og hastigheden af fotosyntesen?



Figur 4 viser hvordan algedråberne ser ud helt tæt på. Farven på algedråberne kan godt variere fra svagt grøn til meget mørkegrøn.