

Værdifulde alger

Verden skriger på biomasse til foder, bio-kemikalier og bio-energi. Når vi løber tør for landbrugsjord, må vi dyrke i vand. Alger kan bruges til produktion af foder, ingredienser og fødevarer, og algerne kan rense spildevand for kvælstof og fosfor.

Foto: Teis Boderskov, Hjørnø Havbrug.

Dansk tang i store mængder og høj kvalitet kan være den næste store eksportartikel. I slutningen af maj 2014 var seks danske tangekspertes i Kina for at promovere salg af dansk tang. Målet var at sælge tangen uforarbejdet og salgsargumentet var den gode smag og "fødevarerikkerhed", fordi dansk tang er dyrket i rent vand og er håndteret hygiejnisk.

Der er en stigende interesse i at dyrke alger, fordi trykket på landbrugsjorden øges som følge af befolkningsekspllosion, global vækst i middelstanden med stigende krav til kvalitet af fødevarer, og fordi jord tages ud af fødevarerproduktion for at dyrke energi-afgrøder. Jord er en begrænset ressource, og der er stærke fortalere for at undgå at drive rovdrift på naturlige skove, hvilket giver en yderligere reduktion i det areal, som kan inddrages til planteproduktion. Et alternativ til at dyrke på land er at dyrke i vand.

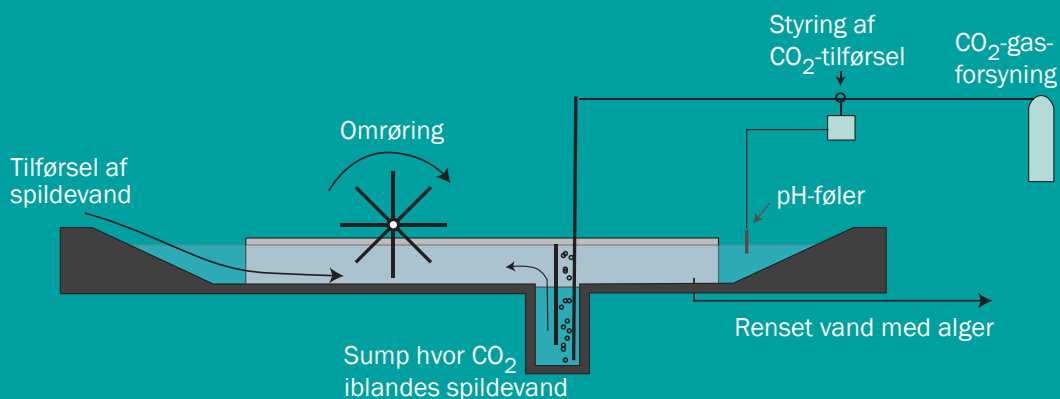
Makroalger eller tang dyrkes typisk i havet og ofte nær kysten. I Asien er der en lang tradition for at dyrke og spise tang, og i Europa har man længe høstet naturligt voksende tang og anvendt det til produktion af alginat (fortykkelsesmiddel). Man har udviklet bioreaktorer og algedamme til produktion af mikro-alger, som indeholder en række olier og farvestoffer af høj værdi. Udover at de høstede makro- og mikro-alger ved videre forarbejdning bliver til et højværdiprodukt, så vil dyrkningen også bidrage til et bedre vandmiljø, fordi algerne optager planteneringsstoffer, som udledes med spildevand og drænvand. Algerne bidrager også til at reducere vores "kulstof-fodaftryk" (carbon footprint) ved at optage kuldioxid, og fordi alge-biomassen kan omdannes til olie, bioethanol og biogas og dermed fortrænger brugen af fossilt brændstof. Dyrkning af makro-alger reducerer også presset på vandressourcerne, fordi de ikke skal vandes.

Om forfatterne

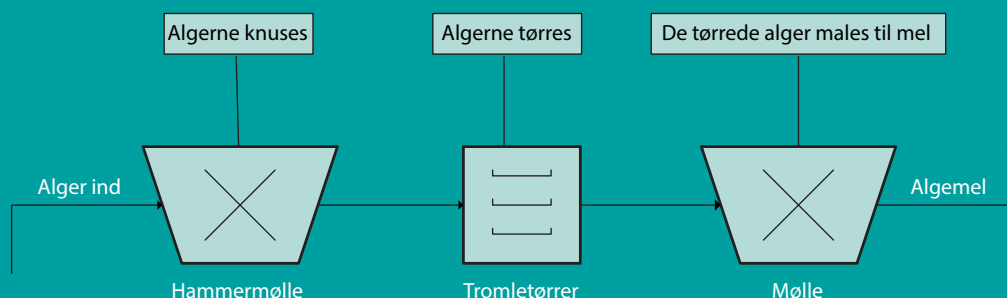
Forskere og studerende ved det Tekniske Fakultet, Institut for Kemi-, Bio- og Miljøteknologi, Syddansk Universitet. Kontakt: Professor Sven G. Sommer sgs@kbnm.sdu.dk

Illustration af et rensningsanlæg til spildevand indeholdende fosfor, hvor der også produceres alger. Det var planen at bygge et sådant i Christchurch (New Zealand) før jordskælvet i 2010. Vandet ledes med omrører rundt i anlægget, der er elliptisk som en hestevæddeløbsbane.

Figur modificeret efter Park et al (2011).

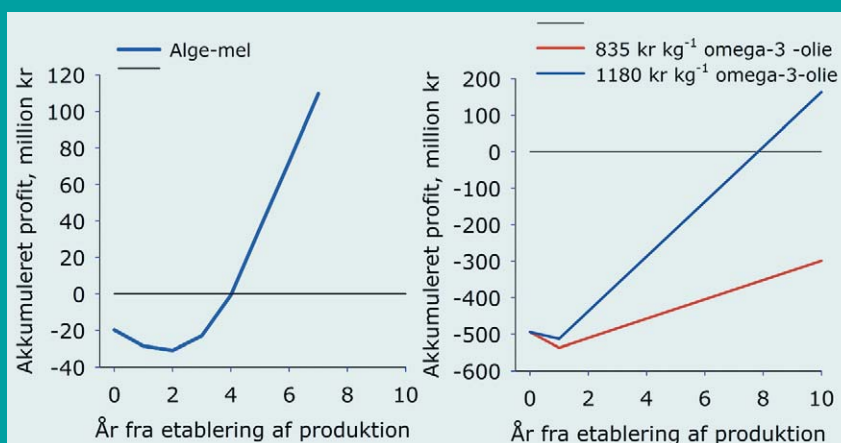


De tre processtrin ved produktion af algemel; knusning i en hammermølle, tørring og formaling.



Forrentning af den investerede kapital ved driften af anlæg til produktion og bearbejdning af algebiomasse. Venstre figur viser produktion af algemel produceret ved tørring og formaling af makroalger. Det antages her, at algerne er et affaldsprodukt fra rensning af havet omkring havdambrug.

Figuren til højre viser produktion af omega-3-fedtsyrer ved ekstraktion af fedtsyrerne fra mikroalger, hvor omkostninger til produktion af algerne indgår i beregning af profitabilitet.



I et projekt ved det Tekniske Fakultet ved Syddansk Universitet har vi set på mulighederne for at anvende makro- og mikro-alger til at tilbageholde fosfor fra spildevand og dræn, til produktion af proteinfoder til svin og fisk og til produktion af omega-3-fedtsyrer. Vi har også i projektet vurderet økonomien i processerne, som jo er altafgørende for, at der kan komme en produktion i gang.

Bedre miljø med mikroalger

Alger optager kulstof, kvælstof og fosfor fra vandet, de vokser i, og næringsstofferne indgår i dannelse af algebiomasse. Hvis algerne ikke høstes, vil biomassen indgå i det store næringsstofkredsløb, og i somre med stille og solrigt vejr har nedbrydningen af algerne medført iltsvind og fiskedød. Hvis algerne derimod høstes overføres biomassen til det antropologiske "stofkredsløb", hvor den kan bidrage som føde, foder, råvare ved biproduktion og ved energiproduktion.

Mikroalger dyrkes i damme eller i bioreaktorer. Mikroalger er meget effektive til at optage fosfor ved meget lave koncentrationer og kan hente næringsstof i spildevand eller vand fra dræn, kulstof fra kuldioxid og energi fra solen. Dybden af dammen er 0,3-0,5 m for at sikre lys til alle lag. I Danmark vil de korte dage om vinteren være en begrænsende faktor, som evt. kunne overkommes ved at anvende LED-lamper, der kan producere fotosynteseaktivt lys ved lavt energiforbrug.

Produktion af mikroalger kræver effektiv styring af kuldioxid-tilførslen for at sikre nok i dag-perioden, hvor algerne optager kuldioxid og undgå tilførsel om natten, hvor algerne afgiver kuldioxid. Denne styring kan foregå ved måling af pH. Tilførslen af kuldioxid skal begrænses, når pH er lavt, fordi kuldioxid bliver til kulsyre, og der tilsættes kuldioxid, når algerne optagelse af kuldioxid har øget pH.

Hjarnø Havbrug udvikler dyrkningssystemer af makroalgen sukkertang (*Saccharina latissima*), der bl.a. kan anvendes til produktion af foder til grise og fisk.

Foto: Teis Boderskov, Hjarnø Havbrug.

Algeprojektet

Denne artikel bygger på et projekt, hvor forskere og studerende ved det Tekniske Fakultet ved Syddansk Universitet gennem et halvt år har studeret teknologier, som kan omdanne mikro- og makroalger til værdifulde produkter. De studerende, der har deltaget i projektet og som også har bidraget til at skrive denne artikel er: Simon Bornemann Baudtler, Alex Juhl Burchall, Rasmus Skammelsen Christensen, Jeanette Rolighed Schjøtz From, Thit Marie Buch Güllich, Marina Yovkova Linova, Maria Fredskov Munch og Morten Gildsig Poulsen.

Det rensede spildvand indeholder en høj koncentration af alger, som kan opkoncentreres med en efterklaringsstank, centrifuge eller filterpresse. Man skal sikre, at høsten af alger ikke medfører, at algepopulationen reduceres. Effekten er en reduktion i fosforindholdet på 98 % og kvælstofindholdet på over 90 %.

Makroalger til fiske- og grisefoder

Hjarnø Havbrug udvikler dyrkningssystemer til dyrkning af makroalgen sukkertang (*Saccharina latissima*). Målet er at etablere algemarken rundt om havdambrug og derved mindske udledningen af næringsstoffer udskilt fra fiskene. Der arbejdes også på udvikling af høstteknologier og metoder til afvanding af tangen efter høst. Målet med en effektiv afvanding er at undgå tab af værdifulde organiske forbindelser og næringsstoffer i vandet, som presses ud af tangen.

En enkel og økonomisk forarbejdning af makroalgerne er at tørre og knuse dem. Det kan gøres ved først at køre algerne gennem en hammermølle, hvor de findes. Derpå ledes de knuste alger ind i en tørrerotmle, hvor de tørres. Kunsten er her at undgå, at algerne, som følge af opvarmningen klæber sammen, så tromlen stopper til. Efter tørring har man et algemelprodukt, der er velegnet som foder til svin og fisk. Det er beregnet, at anlægget kan give overskud allerede efter fire år. Disse beregninger er baseret på, at algemelet kan sælges for 59 kr. kiloet, og der er ikke medregnet omkostninger til at dyrke algerne, da formålet med algeproduktionen er at rense vandet fra dambruget.

Produktion af omega-3-fedtsyrer

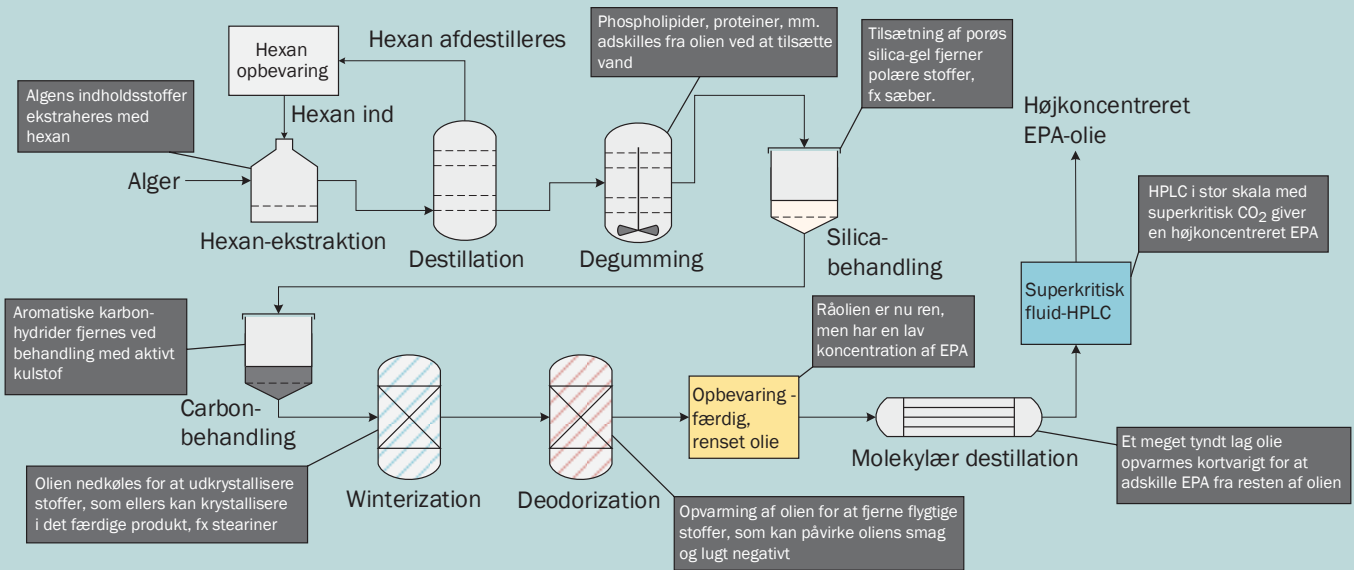
I stedet for at sælge algemel kan man udvinde højværdiprodukter af algerne. Alger indeholder omega-3-fedtsyrer (olier), som har et stort og stigende globalt markedspotentiale og sælges til en høj pris. I dag er markedet for omega-3-fedtsyrer fra fisk anslået til at være på ca. 150 milliarder kr.

Til den produktion kan man vælge at dyrke rødalgen søl (*palmaria palmata*), som har et højt indhold af omega-3-fedtsyren EPA (Eicosapentaen-syre) og som kan dyrkes under danske forhold. Algen høstes en gang om året, og produktionen af EPA skal være kontinuert over året for at være rentabel. Derfor skal algen tørres, så den kan opbevares på et lager. Er vandindholdet højere end 13-15 % vil svampe og bakterier begynde at omsætte materialet.

Udvinningen af olien er en kompliceret proces. Makroalgerne indeholder typisk mindre end 1 % EPA, og der er tab forbundet med de mange processtrin, hvor olien renses. Derfor skal der til en daglig produktion på 33 kg EPA bruges 3,8 ton algetørstof.

Produktionsomkostninger i anlægget er høje, og økonomien ved produktionen er ikke god. Der må forventes en negativ tilbagebetaling af investeringen, selv hvis der ikke betales for algerne, som antages at være et spildprodukt ved rensning af havvand omkring havdambrug. Der er imidlertid et stort potentiale for at øge udbyttet ved at for-

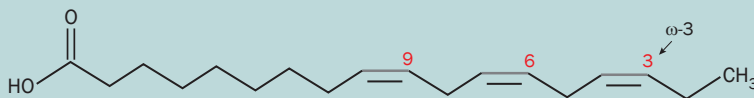
Produktion af omega-3-fedtsyrer



Figuren viser et flowskema for produktion af omega-3-fedtsyrer EPA. I det første procestrin blandes alge-melet med hexan, som opløser fedtsyrerne og dekanteres fra den øvrige ikke-opløselige biomasse, hvorefter hexanen destilleres fra olien. Olien er ikke ren, så der skal fjernes proteiner og kulhydrater. Disse renses fra ved tilsætning af vand, fordi disse forbindelser er opløselige i vandet, og der dannes derved en gummiagtig substans, som kan fjernes. Derefter fjernes polære forbindelser, som syrer og baser, ved karbonatbehandling og filtrering med silica-gel. Med aktivt kulstof fjernes PAH, furan og dioxi-

ner og slutteligt fjernes steariner ved at køle olien.

Næste trin i processen er at destillere olien ved lav temperatur for at øge koncentrationen af EPA. Destillatet bliver derpå ekstraheret med superkritisk kuldioxid for at få et helt rent produkt. Ved højt tryk og let øgede temperaturer får kuldioxid fantastisk gode separationsegenskaber, som effektivt opløser olien. Den superkritiske kuldioxid, der indeholder olien, ledes gennem en fast fase af silica-gel, der tilbageholder de forurenende forbindelser. Ved denne proces produceres en olie, som indeholder 95 % EPA.



Omega-3-fedtsyrer er flerumættede syrer, hvor kulstofatom nummer tre fra kulbrinteenden har en dobbeltbinding. Den position på kulbrintekæden kaldes ω-3 (omega-3). Omega-3-fedtsyrer er essentielle fedtsyrer, som mennesket ikke eller

i ringe grad kan danne og som vi derfor skal have ind med føden. Nogle vigtige omega-3-fedtsyrer, ernæringsmæssigt set, er alfa-linoleninsyre (ALA), eicosapentaensyre (EPA) og docosahexaensyre (DHA).

enkle processen og øge udbyttet ved den læringsproces, det er at have et anlæg kørende.

stisk i takt med at teknologierne til dyrkning og høst udvikles.

Den store udfordring for denne produktion er konkurrencen med fiskeindustrien. Fisk er på nuværende tidspunkt en billigere råvare end makroalgerne, samtidig med at de indeholder langt flere fedtsyrer. Men i takt med at befolkningen stiger og fiskekvoterne falder, må det forventes at brugen af fisk til fedtsyreproduktion vil begrænses. Her vil produktionen af fedtsyrer fra alger kunne konkurrere, da fedtsyrepriserne i så fald vil stige, hvilket vil forbedre muligheden for produktion af algefedtsyrer. Ydermere forventes råvareprisen for algerne at kunne reduceres dra-

Økonomi og læring

Produktion af algemel er den mest enkle teknologi præsenteret her og den teknologi, som giver den bedste tilbagebetaling. Beregningen af økonomien ved produktion af algemel afhænger af salgsprisen, som på det internationale marked i høj grad afhænger af, hvilket segment, der sælges til. Prisen vil afhænge af mængden af den globale produktion, og både produktets kvalitet og tillid til kvaliteten. Et eksempel på tillid er, at danske landbrugsprodukter sælges i Kina til en meget høj pris, fordi danske madvarer vurderes at være af høj kvalitet, og fordi der er skarp kontrol med kva-



Fedtsyrer fra mikroalger

↑ Starterkulturer af *nannochloropsis* kan købes kommercielt, så man kan starte sin egen algeproduktion.

Foto: Reefphyto.co.uk

I brødteksten er beskrevet, hvordan makroalger kan bruges til at producere fedtsyrer, men man kan også anvende mikroalger med et højt indhold af olie. I åbne produktionsdamme risikerer man, at mikroalgerne udkonkurreres af andre mikroorganismer, så derfor er det bedre at dyrke dem i foto-bioreaktorer, hvor miljøet kan styres.

Mikroalgen *nannochloropsis* sp. er et godt bud på en alge, der kan anvendes til produktion på denne måde. Energiforbruget kan reduceres væsentlig ved at dyrke algerne i Sydspanien, hvor der også om vinteren er tilstrækkelig lys til produktionen.

Målet er, at produktionen skal være enkel og teknologien skal udvikles med henblik på at reducere vand- og kuldioxidforbrug. Derfor benyttes alene et superkritisk procestrin med

kuldioxid til at ekstrahere omega-3-olier fra algemassen, så man undgår at benytte skadelige ekstraktionsmidler som hexan. Kuldioxid kan genbruges til algeproduktionen og til ekstraktion, og mest muligt vand kan renses og recirkuleres. For at kunne producere 1 ton alger om dagen skal bioreaktoren have en rørlængde på 1.000 m (diameter 0,64 m). Algerne producerer ilt, som skal udluftes for at undgå forgiftning. Vandet med alger ledes over i en centrifuge, som ved gravitation tilbageholder algerne, og vandet genbruges.

I eksemplet er valgt at opløse omega-3-fedtsyrerne med den flydende, tryksatte og varme (55°C) kuldioxid. Denne løsning kræver mere kuldioxid end teknologien anvendt ved oprensning af omega-3-fedtsyrer fra makro-alger, hvor der forbehandles med hexan.

Yderligere læsning:

Ole G. Mouritsen (2009): Tang i menneskets tjeneste. *Aktuel Naturvidenskab* 6, 6-11.

Peter Daugbjerg Jensen og Annette Bruhn (2008): Den blå biomasse. *Aktuel Naturvidenskab* 6, 12-14.

Park, J. B. K., Craggs, R. J. & Shilton, N. (2011): Wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production. *Bio-resour. Technol.* 102, 35-42.

liteten. Prisen på algemel er høj, fordi der er et stort og stigende marked for proteiner til fiske- og svinefarme, og i beregningerne her bidrager den høje pris til en god profit ved produktionen af algemel.

Økonomien ved produktion af højværdiprodukter er ringe, men må forventes at kunne forbedres, fordi de anvendte teknologier er nye, og der derfor helt sikkert er store muligheder for at reducere omkostningerne. Det er kendt, at de første anlæg og den første drift af en ny teknologi er væsentlig dyrere end etablering og drift af velafprøvede anlæg. Over tid sker en læringsproces, som reducerer prisen ved bygning af et nyt anlæg. Selve driften bliver også billigere over tid, fordi man bliver dygtigere

til at styre processerne, hvilket medfører et mindre spild ved produktionen og behov for færre ansatte.

Økonomien kan også forbedres ved at samtænke produktion af de forskellige produkter. Det kan være i anlæg, hvor man først fjerner proteiner og kulhydrater, og der produceres et alge-kulhydratprodukt, som kan sælges som foder. Derpå ekstraheres omega-3-fedtsyrer, som raffineres til et højværdiprodukt. Til slut er der et restprodukt af organiske forbindelser opløst i vand. Det restprodukt vil kunne anvendes til produktion af biogas eller bioethanol. Denne samtænkning går igen i rigtig mange forslag til bio-produktioner og er ofte afgørende for, at anlæggene kan blive profitable. ■