



Konkretisering af fokusområder med udviklingspotentiale

Bioraffinering

Dansk Miljøteknologi

Dato: 10. juni 2021

Indhold

1	Introduktion.....	3
2	Kriterier for udvælgelse af fokusområder med udviklingspotentiale	4
3	Flerårige afgrøder til protein.....	5
3.1	Anbefalinger	5
4	Merværdi af sidestrømme og biprodukter	7
4.1	Anbefalinger	7
Box 2 Eksempler på bedre udnyttelse af sidestrømme og restprodukter.....		8
5	Helårlig udnyttelse af produktionsanlæg	9
5.1	Anbefalinger	9
Box 3 Eksempler på helårlig udnyttelse af produktionsanlæg.....		10
6	Tang, muslinger og nyttiggørelse af næringsstoffer i havet	11
6.1	Anbefalinger	11
Box 4 Eksempler på produktion og bioraffinering af tang og muslinger.....		12
7	Samlede anbefalinger.....	13
7.1	Anbefalinger – flerårige afgrøder til protein (grønt protein).....	13
7.2	Anbefalinger – merværdi af sidestrømme og biprodukter	13
7.3	Anbefalinger – helårlig udnyttelse af produktionsanlæg.....	13
7.4	Anbefalinger – tang, muslinger og nyttiggørelse af næringsstoffer i havet.....	13
Bilag – Projekter, projektdeltagere og links.....		14

1 Introduktion

Danmark er et landbrugsland og næsten to tredjedele af Danmarks areal er i dag opdyrket. Dette giver mulighed for i vid udstrækning at kontrollere fotosyntesens binding af CO₂ fra atmosfæren og samtidig udnytte de tilgængelige næringsstoffer mest muligt. Disse muligheder kan opnås samtidig med at graden af selvforsyning med eksempelvis proteinfoder fra danskdyrkede afgrøder øges. Samlet set kan der altså skabes en bæredygtig, sikker og transparent forsyningskæde, hvor fotosyntesen og de begrænsende ressourcer i form af jord, vand og næringsstoffer udnyttes bedre end i dag. Men det stopper ikke der: På længere sigt er der mulighed for at udvikle plantebaserede materialer, fødevarer, fødevaringredienser og sundhedsfremmende stoffer, som kan være et supplement eller alternativ til de animalske og fossile baserede produkter, som vi indtager og anvender i dag.

For at indfri mulighederne for øget binding af CO₂, bedre udnyttelse af næringsstoffer og forøgelse af selvforsyningsgraden bør vi først og fremmest erkende, at naturen har skabt en række værdifulde molekyler og strukturer. Da naturen således har gjort meget af arbejdet for os, skal der derfor være øget fokus på at ekstrahere og anvende flere af naturens værdifulde molekyler og strukturer. Som eksempel på sådan en udnyttelse kan nævnes Arla Food Ingredients, som i mere end 20 år har udvundet højværdiprodukter fra osteløbe, der tidligere var et affaldsprodukt på mejerierne. Et andet eksempel er den danske kartoffelmelsindustri, som i løbet af de sidste 5-10 år har arbejdet på at udvinde protein fra frugtsaften, der ellers også typisk har været et affaldsprodukt med lav eller ingen værdi. Begge er gode eksempler på hvordan rest- og sidestrømme er blevet nyttiggjort ved at skabe produkter af høj værdi, og begge er eksempler på bioraffinering.

I lyset af de nævnte muligheder kan bioraffinering være et af svarene i den grønne omstilling, da naturens processer udnyttes, og de mest værdifulde produkter isoleres og anvendes. For at skabe en bæredygtig forretning, kan valg af afgrøde eller anden biomasse samt produktionsprocesserne have stor betydning. I Danmark har vi allerede erfaring med at dyrke en række værdifulde afgrøder, som i større mængder kan være råvarer i bioraffineringen og derved blive til værdifulde produkter. Ud over tilgængelige råvarer til bioraffineringen har man i Danmark samtidig også relevante evner, erfaringer og ikke mindst iderigdom til at skabe nye bioraffineringsprocesser – både igennem en målrettet forskningsindsats og via et internationalt konkurrencedygtigt erhvervsliv med årtiers erfaring med bioraffinering i forskellige former.

Formålet med dette notat er at identificere og pege på nogle af fokusområderne med væsentligt udviklingspotentiale inden for bioraffinering i Danmark. Det er fokusområder, som vurderes kommercielt interessante for danske virksomheder og samtidig vurderes at kunne bidrage til et mere bæredygtigt landbrug og øvrig produktion.

I udvælgelsen af aktuelle, realistiske, kommercielt interessante og bæredygtige fokusområder, har følgende kriterier været anvendt:

- Området skal have store perspektiver (altså potentiale i Danmark og senere resten af verden)
- Området skal rumme kommercielle muligheder, der forventes realiseret inden 2030
- Området skal bidrage til en mere bæredygtig produktion

Kriterierne er beskrevet mere detaljeret på næste side. Ud fra kriterierne er følgende fire fokusområder udvalgt:

- Flerårige afgrøder til udvinding af protein og andre produkter
- Bedre udnyttelse af biprodukter og sidestrømme
- Helårlig udnyttelse af produktionsapparatet
- Tang og muslinger m.m. til nyttiggørelse af næringsstoffer fra havet

De fire valgte områder er kort beskrevet efterfulgt af anbefalinger og forslag til, hvordan potentialerne inden for fokusområderne fremadrettet kan realiseres. For hvert område er der desuden en boks med eksempler på relevante projekter og aktiviteter. I bilaget bagest i notatet er der flere informationer om projekterne, deres deltagere samt links til mere information.

2 Kriterier for udvælgelse af fokusområder med udviklingspotentiale

Følgende oversigt beskriver de anvendte kriterier til udvælgelse af fokusområder mere detaljeret.

<p>Området skal have store perspektiver (altså potentiale i Danmark og senere resten af verden)</p>
<p>Kommercielt muligt inden 2030 Teknologien er allerede demonstreret i relevant miljø, og nøgleteknologierne er afprøvet i et industrielt relevant miljø (dette svarer til at Technology Readiness Level ¹ (TRL) bør være 6 eller over).</p> <p>Kommercielt giver det sig til udtryk ved følgende:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Investeringsvillighed i området og de anvendte teknologier - Tilstrækkelige produktionsvoluminer - Væsentligt potentiale for beskæftigelse - Adgang til kompetencer og kvalificeret arbejdskraft - Mulighed for videnopbygning og –eksport (eksport af viden og procesudstyr) - Langsigtet kommercielt potentiale - Skalérbar produktion - Udnyttelse af produktionsapparat hele året - Lokal, transparent og sikker forsyningskæde
<p>Bæredygtig produktion</p> <ul style="list-style-type: none"> - optimeret udnyttelse af fotosyntese og kulstofkredsløb (eks. flerårige afgrøder, etårige afgrøder med lang sæson eller flere etårige afgrøder i samme vækstsæson, bedre kulstoflagring i jorden) - udnyttelse af hele bioressourcen (f.eks. hele planten) - kaskadeudnyttelse (f.eks. bedst mulig udnyttelse af naturskabte værdifulde molekyler/strukturer) - Optimeret udnyttelse af jord, vand og næringsstoffer (f.eks. optimeret jordbearbejdning, brug af flerårige afgrøder og efterafgrøder) - Hensyn til natur og miljø (reduceret udvaskning af næringsstoffer, bæredygtig pesticidanvendelse, forbedret kulstoflagring i jorden, optimeret jordanvendelse og bearbejdning) <p>Tydelig klimaeffekt (effekt ved substitution af nuværende produkt(er), reduceret brug af fossilt baserede input under dyrkning og produktion, anvendelse af overskudsvarme)</p>

¹ Technology Readiness Level (TRL) omfatter et målesystem, der bruges til at vurdere modenhedsniveauet af en teknologi.

TRL 1 - Overholder grundlæggende principper

TRL 2 - Teknologikoncept formuleret

TRL 3 - Eksperimentelt bevis på koncept

TRL 4 - Teknologi valideret i laboratorieskala

TRL 5 - Teknologi, der er valideret i relevant miljø (industrielt relevant miljø i tilfælde af nøgleaktiverende teknologier)

TRL 6 - Teknologi demonstreret i relevant miljø (industrielt relevant miljø i tilfælde af nøgleaktiverende teknologier)

TRL 7 - Systemprototypedemonstration i driftsmiljø

TRL 8 - System komplet og kvalificeret

TRL 9 - Faktisk system, der er bevist i driftsmiljø (konkurrencedygtig fremstilling i tilfælde af nøgleaktiverende teknologier eller i rummet)

3 Flerårige afgrøder til protein

Allerede i 70-80'erne blev der arbejdet ihærdigt med at udvinde grønne proteiner ("leaf protein concentrate") fra lucerne til human konsum, og det arbejdes der nu videre med i 'grøn bioraffinering', der inkluderer forarbejdning af flerårige grønne afgrøder som f.eks. græs, kløver og lucerne. Anlæggene er designet til at neddele biomassen og ekstrahere proteinkoncentrat til foder – et protein som kan bruges til en-mavede dyr såsom grise og fjerkræ. Hermed kan en del af den nuværende import af soja fra eksempelvis Sydamerika og Kina erstattes, og et både økologisk og GMO-frit foderprotein kan opnås.

Dyrkning, høst og bioraffinering af flerårige grønne afgrøder har mange fordele i forhold til eksempelvis enårige afgrøder som korn, raps og majs. Nogle af fordelene i dyrkningen er:

- Mindre jordbearbejdning kan potentielt forbedre jordstrukturen og biodiversiteten i jorden (eks. regnorme, biller), mindsker forbruget af brændstoffer til maskiner og forbruget af pesticider.
- Kraftigere rodnet gør marken mere robust over for tørke og regn og giver mindre udvaskning af næringsstoffer som kvælstof (N) og fosfor (P) til vandmiljøet og mindre behov for tilførsel af gødning.
- Flerårige afgrøder har en lang vækstsæson, og fotosyntese samt CO₂-optag øges dermed.
- Kløver og lucerne er bælgplanter, som er kvælstoffikserende og dermed holder de ekstra godt på kvælstof (N), hvilket betyder der skal tilføres mindre gødning.
- Reduceret brug af sprøjtemidler.

Desuden er der fordele i anvendelsen af flerårige afgrøder, fordele såsom:

- Mulighed for lokalproduktion af proteinfoder mindsker importen af sojaprotein til foder.
- Øget lokal produktion af økologisk grøntprotein til foder.
- Proteiner fra flerårige afgrøder kan på sigt opgraderes til humant brug.

Optimering og procesintegration er på nuværende tidspunkt afgørende for, at grøn bioraffinering bliver en økonomisk succes, og der skal flere produkter til end blot et proteinkoncentrat til enmavede dyr for at skabe en fornuftig rentabilitet i produktionen. Men i og med at efterspørgslen for plantebaserede fødevarer og fødevaringredienser er stigende, skærpes potentialet i at udvikle proteinkoncentrater og isolater til fødevarer, fødevaringredienser og sundhedsfremmende stoffer. Eksempelvis kan nogle græsproteiner sandsynligvis erstatte æg og dermed potentielt indgå som ingrediens i diverse fødevarer.

Grønt Udviklings- og Demonstrationsprogram (GUDP) samt andre offentlige midler og fonde har i de seneste år støttet flere aktiviteter inden for grøn bioraffinering. Box 1 viser eksempler på nogle af projekterne, der sigter mod bl.a. opskalering og kommercialisering af mulighederne for at udnyttelse af flerårige afgrøder.

3.1 anbefalinger

Grøn bioraffinering forventes inden for de næste 5 år at bevæge sig fra udvikling og demonstration henimod kommercialisering, da der er flere muligheder for at skabe værdi fra grønne biomasser. For at afsøge disse muligheder, er der behov for fortsat støtte af udviklings- og demonstrationsprojekter inden for udvinding af human protein og merværdiskabelse af bi- og sidestrømmene. Der er særligt behov for udvikling af separationsmetoder til yderligere separation af eks. proteiner og sukre samt skånsomme tørringsmetoder. Alternativt - eller komplementært - kan der være behov for at gøre det mere attraktivt at dyrke flerårige afgrøder til produktion af protein. Og endeligt kan det være hensigtsmæssigt at få belyst livscyklus perspektivet af disse værdikæder yderligere.

Box 1 Eksempler på projekter inden for produktion af protein fra flerårige afgrøder

Forskning og udvikling på pilotanlæg

AU Foulums pilot- og demoanlæg til grøn bioraffinering med en kapacitet på 1 og siden 5-8 ton biomasse/time har i de sidste 5-8 år været demoplatform i produktion af foderprotein fra grønne biomasser (svarende til TRL 6¹). I og med at anlægget er offentligt, samarbejdes der bredt, og man er bl.a. involveret i test af forskellige afgrøder, høstmetoder, neddelingsteknologier, proteinudfældningsteknikker og separationsteknikker, fiberanvendelser samt forsøg til opgradering af brunsaften.

Teknologisk Instituts pilotskalaanlæg (fra projektet SUBLEEM 2.0) på 600 liter/t biomasse er med til udvikle fødevarer-godkendte processer til forarbejdning og separation af grøn biomasse til højværdiprodukter såsom proteiner og kostfibre fra roetoppe.

AAU/BiomassProtein/Green Lab Skive har arbejdet i demoskala på 10 ton biomasse/time i første omgang i forbindelse med foderprotein, men arbejder nu via **GUDP projektet GRASS4FOOD** med at etablere en demo-samproduktion af humanprotein (Rubisco) og foderprotein ved brug af bl.a. membranfiltrering.

Større demo- og udviklingsanlæg

De første to større demo- og udviklingsanlæg til produktion af proteinkoncentrat til foder er i 2021 sat i drift. Begge anlæg er støttet af GUDP og har en kapacitet på henholdsvis 40 og ca. 20 tons grøn biomasse/time. Begge anlæg sigter i første omgang efter at afsætte restprodukter til landbruget (brunsaft til biogas og fiberfraktion til foder/biogas). Begge anlæg er pt. under tidlig idriftsætning (dvs. de arbejder på TRL7-8¹) og sigter mod en produktion 24 timer i døgnet fra maj – november og allerede fra 2021.

BioRefine A/S er etableret i det tidligere grønttørreri Nybro ved Varde, og råvarerne leveres af et allerede etableret avlernetværk. BioRefine anvender en patenteret metode til fraktionering af grøntsajt og fiberfraktion, som forventes at give et højere udbytte end den typisk anvendte skruepresse. Anlægget har alle procestrin under samme tag og afsætter proteinproduktet direkte til DLG og Danish Agro.

Ausumgaard anlægget, som havde opstart i efteråret 2020, er en del af herregården Ausumgaard, som har egen græs-, kvæg- og fjerkræproduktion samt eget biogasanlæg. Anlæggets procestrin ligner dem på Foulum og bruger Danish Marine Protein tørringsanlæg (ejet af Vestjyllands Andel) i Green Lab Skive til tørring af proteinproduktet.

Protein til mennesker

Skal græs, kløver og lucerne bruges i fødevarer, er der behov for at udvikle nye skånsomme metoder til proteinoprensning samt et behov for undersøgelser af funktionalitet og sensorik, fødevarer-sikkerhed og ernæringsmæssige værdi samt Novel Food's godkendelse af lucerne, kløver og græs som fødevarer og fødevaringredienser.

Projektet **INNOGRASS** arbejder bl.a. med:

- nye proteinseparationsteknologier - membranfiltrering og mineralfældning til proteinisolater (Lihme);
- tekstureringsteknologier til at skabe fødevarerprodukter fra proteinkoncentrater;
- CO₂ til at fjerne uønskede aroma stoffer ofte betegnet "græssmag" og "græsslugt" (DTU);
- teknikker til at fjerne den grønne farve.

Projektet **FermPro**, med bl.a. Vestkorn og Chr. Hansen, arbejder med en fermenteringsteknologi, som forbedrer smag, tekstur og næringsværdi af bl.a. protein fra græs, ærter, hestebønner og kartofler. I fermenteringen nedbryder mikroorganismer proteinerne i råvaren, og derved frigives glutaminsyre, som giver den eftertragtede umamismag og danner særlige sukkerstoffer – exopolysaccharider, som kan binde vand og hjælpe med at give proteinproduktet struktur.

4 Merværdi af sidestrømme og biprodukter

At skabe en kommerciel og bæredygtig forretning med bioraffinering kræver oftest salg af produkter af højere værdi (eks. fødevarer, ingredienser, sundhedsfremmende stoffer) samt at biomassen i form af sidestrømme og biprodukter anvendes bedst muligt. Derfor er optimering og procesintegration afgørende for at bioraffinering er økonomisk attraktivt, og der skal ofte afsættes flere produkter end blot et protein for at sikre rentabiliteten.

I dag er der i bioraffineringen flere eksempler på produkter, restprodukter og sidestrømme, hvis potentiale kunne udnyttes bedre:

- Fiberrige restprodukter kan benyttes til eks. tekstiler, kompositter og isolering. Disse restprodukter anvendes i dag i kvægfoder, i produktionen af biogas, efterlades på marken eller omsættes til energi ved afbrænding.
- Sukker og mineralrige restprodukter kan bruges som substrat til fermentering og dermed til en merproduktion af protein. Disse tilsættes i dag foder, omsættes til biogas eller håndteres som spildevand.
- Plantebaserede proteiner kan erstatte kød, fungere som fødevaringredienser og sundhedsfremmende stoffer. Disse ender i dag ofte i foder.
- Urene biomasser kan anvendes til produktion af biogas, pyrolyseolier, som substrat til dyrkning af fluelaver og videreproduktion af kemikalier.

Udnyttelse af merværdien i sidestrømme og biprodukter er en form for 'upcycling' ofte kaldet 'kaskadeudnyttelse', og den har flere fordele:

- Flere forretningsmuligheder
- Mindre belastning af klima, miljø og natur
- Mulighed for udvikling af naturprodukter, som kan erstatte kemisk syntetiske produkter
- Udvikling af biobaserede produkter som kan erstatte fossilt baseret produkter

Ved bedre udnyttelse af sidestrømme og biprodukter i bioraffineringen har vi muligheden for at udvinde og anvende molekyler og strukturer, som eksempelvis proteiner, fedtstoffer, fibre osv. som ikke udnyttes i dag. Box 2 viser eksempler på anvendelse af side- og biprodukter og kan være inspiration til danske virksomheder, der ser lignende muligheder.

4.1 anbefalinger

Der er mange potentialer for at opgradere og udvide den nuværende bioraffinering i Danmark. Mange værdifulde strukturer og molekyler, som er i sidestrømme og biprodukter destrueres i produktionen af biogas, forbrænding og forgasning. Der er ellers tale om komplekse molekyler og strukturer som naturen har skabt og som med fordel kan anvendes i kompositter, tekstiler, fødevaringredienser osv.

Der er flere muligheder for at udnytte de komplekse molekyler og strukturer, som naturen har skabt, og for at kunne afsøge mulighederne, er der behov for fortsat at støtte udviklings-/demonstrationsprojekter inden for anvendelse og videre forarbejdning af sidestrømme og biprodukter. Det kan derfor være interessant at sætte øget fokus på udvikling af viden om og erfaring med:

- Ekstraktion og anvendelsen af plantebaserede fibre
- Proteinproduktion fra mikroalger, insekter og svampe
- Opkoncentrering af sukkerholdige restprodukter til eks. fermentering
- Produktion af biogas/pyrolyse/bioethanol og deraf kemikalier og brændstoffer

Box 2 Eksempler på bedre udnyttelse af sidestrømme og restprodukter

Fiberbaserede produkter

Fibre består af komplicerede strukturer med unikke egenskaber og består som udgangspunkt af cellulose, hemicellulose og lignin. Fibre kan efter neddeling, vask og evt. tørring og anvendes som naturfibre. Direkte anvendelse vil afhænge meget af biomassen og den bioraffineringsproces, den har været udsat for, fordi disse processer vil efterlade forskellige strukturer og grader af renhed af fiberen. Der er i disse år mange forsøg og projekter og nogle eksempler er:

- **Advanced NonWoven** som tester produktion af isoleringsmåtter fra eks. hamp
- Anvendelsen af græs fibre som bio-komposit i plast i den tyske virksomhed BioWert
- Anvendelsen af græs fibre i græspapir hos bl.a. DUNI

Desuden overvejer **BioRefine A/S** og **AU Foulum** begge at udnytte græs fibre til urtepotter/spagnum/hortikultur.

Fiber-baserede bioraffinaderier

Der arbejdes ligeledes med upcycling af fibre ved eksempelvis:

- **NordSugars** forsøg på at processere fibre fra roetoppe til nanocellulose til fødevarer (i SUBLEEM 2.0)
- **AU CBIOS** forsøg på at omdanne græspulp/fiber og halmfiber til tekstiler som Rayon

Sidstnævnte gøres i bl.a. Norge, Sverige og Finland, hvor restpulp fra træ og papirproduktion processeres af firmaer som Borregaard, SEKAB/Djomsö Fabrikker og Fortum. Disse lande har fokus på lignocellulose bioraffinaderier, som omdanner fiberrig biomasse til højværdi celluloseprodukter, lignin til aromastoffer vanilin og hemicellulosen til bl.a. bioethanol.

Nyttiggørelse af sukkerholdige fraktioner

Sukkerige fraktioner som eksempelvis brunsaften fra grøn bioraffinering er oplagt at opkoncentrere ved eksempelvis membranfiltrering eller inddampning og bruge som substrat til fermentering og produktion af single cell protein, hvilket bl.a. **AU Foulum** undersøger.

Et andet potentiale er at udnytte sukkerstoffer til kemikalier og biobaseret plastproduktion, som bl.a. **Haldor Topsøe** undersøgte i GUDP projektet **BioValueSpir**. Haldor Topsøe har patent på en katalysator, der kan reducere omkostningerne til produktion af biobaseret plast ud fra sukkerstoffer fra bioraffinering af sukker og majs.

Mere protein via mikroalger, svampe og insekter

Et alternativ er at skabe mere foder og humanprotein ved udnyttelse af mikroalger, svampe eller insekter.

ReMAPP projektet dyrker mikroalger i et lukket miljø i solide og simple posereaktorer, formet som lange rør og forsynet med CO₂ og næringsstoffer, som er restprodukter fra biogasproduktion, samt sollys til fotosyntesen. Metoden opnår en produktion af 15-20 ton rent protein/hektar/år, hvilket er højere end produktionsarealet for eksempelvis sojaprotein. Et større industrielt anlæg planlægges etableret ved det økologiske biogasanlæg NGF Nature Energy Månsson i Brande.

ENORM producerer i dag 1,5 tons fluelarver om dagen ud fra industrielle restprodukter som f.eks. mask (fra ølbrygning), kartoffelpulp, melasse (fra sukkerproduktion), osv. som efterfølgende formales og udvindes til protein og olie i en proces a la en fiskemøllefabrik. Firmaet er i et **Fyrtårnsprojektet** med diverse partnere ved at etablere et automatiseret storskala-anlæg med produktion af 100 tons larver om dagen og en samlet kapacitet på 11.000 tons protein, 3.000 tons olie og 15.000 tons gødning årligt, svarende til 100 tons larver pr. dag. Insektproduktion er en måde at skabe animalsk protein ud fra restprodukter.

MycoProtein projektet vil udvikle et anlæg, hvor østershatte bliver dyrket i fermenteringstanke på en vandig opløsning af restprodukter fra sukkerindustrien. Både svampe, mycelium og resten af dyrkningssubstratet skal høstes, tørres og anvendes som ingrediens til fødevarer. Således omdannes melasse og roepulp til fødevarer ingredienser med umami-smag og højt proteinindhold.

5 Helårlig udnyttelse af produktionsanlæg

Ved at anvende de eksisterende og kommende produktionsanlæg inden for bioraffinering hele året og ikke kun i dyrkningsæsonen, er der mulighed for at optimere anvendelsen af anlæggene. Mange af de store produktionsanlæg, som eksempelvis sukkerfabrikker, kartoffelmelsfabrikker og grøntproteinfabrikker, kører kun i dele af året og primært når afgrøderne høstes. Eksempelvis er sukkerfabrikker typisk i drift fra september til slut-november, kartoffelmelsfabrikker fra september til slut-december, og grøntproteinfabrikker opererer ofte fra maj til november.

Altså er der eksisterende og kommende produktionsanlæg med ledig kapacitet i op til 40-70 % af året (når produktion, vedligehold og evt. ombygning er overstået). Det betyder at:

- kostbart og avanceret udstyr til dels står ubenyttet hen, og afskrivning sker over en længere periode;
- arbejdet er sæsonpræget, og det kan derfor være vanskeligt at fastholde kompetente medarbejdere i de perioder produktionen ligger stille;
- nogle bioraffineringsprocesser bliver svære at gøre rentable pga. den korte tid fabrikken kører.

I kampagneproduktioner processeres der typisk friske råvarer med et tørstofindhold på 15-25 % (dvs. våde, friske biomasser). Disse råvarer har ofte en kort holdbarhed eller en fordyret lagring og typisk udfordringer med bl.a.:

- Risiko for spiring (eks. rodfrugter, frø)
- Angreb af svampe/mug/råd/insekter
- Harskning/Oxidation af fedtstoffer
- Degradering af proteiner (eks. græs, kløver protein)
- Udvikling af giftstoffer og uønskede farvestoffer

Der er imidlertid muligheder i at mange af produktionsanlæggene indeholder identiske eller tæt på sammenlignelige processtrin, som kunne anvendes til forskellige afgrøder og mellemprodukter. Som eksempel kan nævnes:

- Vask, snitning og separation af sukkerroer og kartofler til saft og snitterester ligner hinanden om end roesnitterne tilsættes varm vand før separationen for at opløse en større mængde sukker i frugtsaften.
- Udfældning af protein fra frugtsaften fra kartoflen og fra grønsaften fra græsanlægget sker ved varmekoagulering og efterfølgende dekantering.
- Samme skånsomme tørringsanlæg anvendes til proteinkoncentrater fra muslinger, græs og kartofler.

Dette sammen med at der i mange produktioner er ligheder i høstudstyr, rensningsudstyr, grov neddeling, proteinudfældnings- og dekanteringsudstyr, membranfiltrering, tørringsudstyr mv. gør at man kan forstille sig disse processer anvendt til flere forskellige råvarer – med justeringer naturligvis. Box 3 viser eksempler på, hvordan kapaciteten af nuværende og kommende anlæg kan benyttes i en større del af året.

5.1 anbefalinger

Helårlig produktion bør indtænkes i udviklingen af kommende og eksisterende bioraffineringsanlæg. Dette er især relevant inden for opbygning af ny kapacitet som eksempelvis de grønne bioraffineringsanlæg. Her bør det indtænkes, hvilke råvarer der kan anvendes i anlæggene i vintermånederne – enten lagerstabile råvarer såsom tørrede ærter eller hestebønner som opblødes – eller råvarer med en anden sæson såsom grønkål eller tang. Der har fra bl.a. Partnerskabet for Bæredygtigt Bioraffinerings side været ydret ønske om muligheden for at etablere flere store generiske bioraffineringsanlæg. Denne tanke bør tænkes sammen med helårlig anvendelse og udvikling og fastholdelse af kompetencer inden for forskellige delprocesser og anvendelser.

Box 3 Eksempler på helårlig udnyttelse af produktionsanlæg

Udnyttelse af råvarer med andet høsttidspunkt

De nævnte anlæg er baseret på afgrøder, hvis sæson slutter i november/december. Derfor kan det være relevant at kigge på andre afgrøder med en anden sæson. Eksempler på afgrøder er vist og beskrevet nedenfor:

Høsttidspunkt for	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Sukkerroer												
Kartofler												
Græs/kløver/lucerne												
Jordskokker												
Grønkål												
Tang												
Muslinger												

- Grønkål og anden vinterkål indeholder samme typer proteiner, farvestoffer, fedtstoffer, kalium, fibre osv. som græs/kløver/lucerne, og de vil sandsynligvis kunne køres på samme typer udstyr som de grønne proteinanlæg, hvorved produktionsperioden udvides med 3 måneder.
- Jordskokker er bl.a. kendt for: Højt indhold af B-vitamin, probiotiske fibre (inulin, som er meget gavnlige for fordøjelsen), meget jern, magnesium, kalium osv. Jordskokker vil sandsynligvis kunne udvide produktionsperioden på en kartoffel-/sukkerfabrik med 4-5 måneder.
- Tang, hvis fordele er beskrevet i det følgende afsnit, kan muligvis bioraffineres på grønne proteinanlæg og kan - i og med det potentielt kan høstes hele året - øge produktionsperioden.
- Roetoppe, som indeholder mange af de samme stoffer som grønne biomasser, kan med fordel udnyttes under høst, eksempelvis på de grønne bioraffinaderier

Udnyttelse af lagerstabile råvarer

Lagerstabile råvarer kan komplementere de friske råvarer. Eksempel kan man forestille sig tørrede bælgplanter, som er lagerstabile, med fordel kan blødgøres og processeres i en våd proces.

Det er præcis det virksomheden **Meelunie-GPI** netop har annonceret at ville gøre, når de opfører et anlæg til udvinding af planteprotein, stivelse og fødevarerfibre med en kapacitet på 20.000 tons tørrede hestebønner pr. år i Hedensted. De tørrede hestebønner formales til mel, men i stedet for at tørfraktionere dem som man typisk gør ved tørrede bælgplanter tilsættes vand. Således opkoncentreres protein, stivelse og fødevarerfibre samtidig med at bitterstoffer og andre uønskede stoffer fjernes. Metoden er baseret på patenteret viden fra 17 års forskning og gør hestebønnerne anvendelige til erstatning af mælke- og kødprodukter og glutenfri produkter.

En anden relevant lagerstabil råvare, som sandsynligvis kan processeres i sammenhæng med kampagneproduktion, er raps. Projektet **PROENRICH** på **Teknologisk Institut** har arbejdet sammen med Emmelev for at udvinde protein fra rapskager, men det er måske også muligt at udvinde det fra frøet før presning af olie. Raps er mere olieholdigt end de friske råvarer, men indeholder også store mængder fibre og protein.

Forbedret af lagringsmetoder for nuværende råvarer

Der er inden for de sidste 50 år sket en rivende udvikling med hensyn til at øge holdbarheden af råvarer pga. nye og forbedrede lagringsmetoder. Det kan eksempelvis være ved brug af mørke, køling, frost, tørring, frysetørring, nitrogen, inerte gasser, vakuum, overfladebehandling, strålebehandling osv. Nogle metoder er blevet billigere og nogle bedre, og derfor er der potentielt nye muligheder for at øge holdbarheden af råvarer.

6 Tang, muslinger og nyttiggørelse af næringsstoffer i havet

Næringsstoffer som fosfor og kvælstof, der ikke nyttiggøres i landbruget, ender i Danmark ofte i vandmiljøet, fordi de enten udvaskes fra markerne eller fordampes som ammoniak og spredes med nedbøren. Næringsstofferne ophobes i vandmiljøet, og når der er lys nok om foråret vokser algevækst frem drevet af næringsstofferne. Denne algevækst falder til bunds og bliver omsat af mikroorganismer og bundlevende dyr under forbrug af ilt, hvilket giver risiko for iltvind og efterfølgende ændringer af plante- og dyrelivet.

Høst af tang, muslinger og søstjerner kan opsamle næringsstofferne og derved reducere algevækst. Samtidig kan biomassen udnyttes i produktionen af alternative proteinkilder til foder, fødevarer og fødevaringredienser.

Tangopdræt udnytter næringsstofferne i vandet og optager CO₂ fra luften og kan endvidere være et levested for fisk og smådyr. I tangopdræt bruges samtidig ikke pesticider eller foder.

Muslingeopdræt er med til at reducere alger, plankton og andre småpartikler, da de lever af dem og dermed filtrerer vandet og fjerner næringsstoffer som kvælstof og fosfor.

Søstjernerne spiser muslinger, østers og en række andre arter, og derfor er der behov for en regulering af bestanden.

Bioraffinering af forskellige tangarter giver mulighed for ekstraktion af værdifulde stoffer, i og med at de er rige på protein samt sunde fedtsyrer, mineraler, vitaminer og bioaktive stoffer. Mere specifik kan man også udvinde stoffet fucoidan, som er et sundhedsfremmende polysaccharid og stivelsesstof (alginat), som kan anvendes som fortyknings- og stabiliseringsmiddel i diverse industrier. Stivelsen udvindes normalt fra importeret tang af bl.a. virksomheden CP Kelco og sælges derefter som fødevaringrediens.

Bioraffinering af muslinger giver mulighed for ekstraktion af sunde olier (bl.a. omega 3 og 6), A, B, C og D vitamin og proteiner med en aminosyresammensætning som ligner fiskemel samt kalk fra skallerne.

Søstjerner kan omdannes til søstjernemel og bruges til proteinfoder.

Box 4 viser konkrete eksempler på produktion og bioraffinering af blå biomasse i Danmark

6.1 anbefalinger

Der er inden for de seneste år gjort forsøg og erfaringer med produktion af tang og muslinger i Danmark, og der er i dag skabt basis for at udnytte tang og muslinger som virkemiddel til fjernelse af næringsstoffer i samspil med produktion af bl.a. protein og olier. Der er flere mulige veje men også stadig behov for udvikling, inden der kan opstå en kommerciel og bæredygtig produktion.

Der er bl.a. behov for yderligere undersøgelser af:

- Mulighederne for effektive dyrknings- og høstmetoder, som tager hensyn til det omkringliggende miljø.
- Bioraffineringsprocesser til udvinding af højværdiprodukter som f.eks. funktionelle fødevarer og sundhedsfremmende stoffer og til udvinding af stoffer som i dag udvindes fra importerede biomasser.

Box 4 Eksempler på produktion og bioraffinering af tang og muslinger

Tang og muslingeopdræt

Projektet TANG.NU har i perioden 2017-2020 arbejdet med at sætte fokus på miljøeffekten af tangopdræt i Danmark, og projektet har involveret en række partnere, der allerede i dag er involveret i produktionen af tang.

Virksomheden **Hjarnø Havbrug** har opdyrket sukkertang siden 2011 i Horsens Fjord og har siden tilføjet kulturmuslinger. Firmaet arbejder for at udvikle økologisk fødevarer og foder.

Desuden er spillere som Dansk Tang A/S, der forhandler diverse høstede tangarter fra bl.a. Danmark, samt Nordisk Tang A/S med til at udvikle og forhandle diverse fødevarerprodukter baseret på dansk tang.

Firmaet **Blå biomasse A/S** som bl.a. er drevet af Hedeselskabet, arbejder for at øge værdiskabelsen af blåmuslinger. Firmaet, som blev etableret i 2016, har muslingeopdræt i Limfjorden. De største blåmuslinger afsættes til fødevarer, og de mindre muslinger afsættes til produktion af muslingemel, som kan erstatte industrifisk/protein i foder. Muslingskallerne forsøges afsat til bl.a. kalk til cementindustrien.

I forhold til dyrkning og høst så foreslås ofte kombinationsopdræt - også kaldet samdyrkningsopdræt - hvor muslinger, tang og evt. fisk dyrkes sammen for dermed at udnytte forskellene til at opnå den bedste miljø- og produktionsmæssige effekt.

Bioraffinering af tang og muslinger

GUDDP projektet SeaSus Protein arbejder i 2020-2023 mod målet om at skabe 2-3 funktionelle fødevarer på basis af bioraffinering (fermentering) af danske tangarter. Projektet vil klarlægge, hvilke tangarter og bioraffineringsmetoder som er mest optimale ift. proteinudbytte, smag, fødevarerfunktionelle egenskaber, proteinkvalitet og fordøjelighed og herefter anvende de meste lovende produkter i fødevarer.

DTU Bioengineering tester om det er enzymatisk muligt at udvinde stivelsesstoffet alginat og det komplekse kulhydrat fucoidan fra sukker og blæretang. Denne type stoffer har høj værdi og udvindes typisk fra tangarter fra Sydamerika og Sydøstasien. Enzymteknologien er velafprøvet og skaleret op.

Fødevarerforskere fra DTU har opfundet metoder til at udvinde proteiner fra deres importerede tang med enzymer. Dette arbejde har ført til at **CP Kelco** i dag afprøver udvinding af proteiner før udvinding af stoffet carrageenan fra en sydamerikansk importeret tang i deres pilotanlæg ved fabrikken, som i årevis har bioraffineret den importerede tang i Danmark.

Danish Marine Protein, som er placeret på Green Lab Skive, arbejder bl.a. med produktion af muslingemel og søstjernemel

7 Samlede anbefalinger

7.1 Anbefalinger – flerårige afgrøder til protein (grønt protein)

Grøn bioraffinering forventes inden for de næste 5 år at bevæge sig fra udvikling og demonstration henimod kommerialisering, da der er flere muligheder for at skabe værdi fra grønne biomasser. For at afsøge disse muligheder, er der behov for fortsat støtte af udviklings- og demonstrationsprojekter inden for udvinding af human protein og merværdiskabelse af bi- og sidestrømmene. Der er særligt behov for udvikling af separationsmetoder til yderligere separation af eks. proteiner og sukre samt skånsomme tørringsmetoder. Alternativt - eller komplementært - kan der være behov for at gøre det mere attraktivt at dyrke flerårige afgrøder til produktion af protein. Og endeligt kan det være hensigtsmæssigt at få belyst livscyklus perspektivet af disse værdikæder yderligere.

7.2 Anbefalinger – merværdi af sidestrømme og biprodukter

Der er mange potentialer for at opgradere og udvide den nuværende bioraffinering i Danmark. Mange værdifulde strukturer og molekyler, som er i sidestrømme og biprodukter destrueres i produktionen af biogas, forbrænding og forgasning. Der er ellers tale om komplekse molekyler og strukturer som naturen har skabt og som med fordel kan anvendes i kompositter, tekstiler, fødevaringredienser osv.

Der er flere muligheder for at udnytte de komplekse molekyler og strukturer, som naturen har skabt, og for at kunne afsøge mulighederne, er der behov for fortsat at støtte udviklings-/demonstrationsprojekter inden for anvendelse og videre forarbejdning af sidestrømme og biprodukter. Det kan derfor være interessant at sætte øget fokus på udvikling af viden om og erfaring med:

- Ekstraktion og anvendelsen af plantebaserede fibre
- Proteinproduktion fra mikroalger, insekter og svampe
- Opkoncentrering af sukkerholdige restprodukter til eks. fermentering
- Produktion af biogas/pyrolyse/bioethanol og deraf kemikalier og brændstoffer

7.3 Anbefalinger – helårlig udnyttelse af produktionsanlæg

Helårlig produktion bør indtænkes i udviklingen af kommende og eksisterende bioraffineringsanlæg. Dette er især relevant inden for opbygning af ny kapacitet som eksempelvis de grønne bioraffineringsanlæg. Her bør det indtænkes, hvilke råvarer der kan anvendes i anlæggene i vintermånederne – enten lagerstabile råvarer såsom tørrede ærter eller hestebønner som opblødes - eller råvarer med en anden sæson såsom grønkål eller tang. Der har fra bl.a. Partnerskabet for Bæredygtigt Bioraffinerings side været ytret ønske om muligheden for at etablere flere store generiske bioraffineringsanlæg. Denne tanke bør tænkes sammen med helårlig anvendelse og udvikling og fastholdelse af kompetencer inden for forskellige delprocesser og anvendelser.

7.4 Anbefalinger – tang, muslinger og nyttiggørelse af næringsstoffer i havet

Der er inden for de seneste år gjort forsøg og erfaringer med produktion af tang og muslinger i Danmark, og der er i dag skabt basis for at udnytte tang og muslinger som virkemiddel til fjernelse af næringsstoffer i samspil med produktion af bl.a. protein og olier. Der er flere mulige veje men også stadig behov for udvikling, inden der kan opstå en kommerciel og bæredygtig produktion.

Der er bl.a. behov for yderligere undersøgelser af:

- Mulighederne for effektive dyrknings- og høstmetoder, som tager hensyn til det omkringliggende miljø.
- Bioraffineringsprocesser til udvinding af højværdiprodukter som f.eks. funktionelle fødevarer og sundhedsfremmende stoffer og til udvinding af stoffer som i dag udvindes fra importerede biomasser.

Bilag – Projekter, projektdeltagere og links

Eksempler

Projekter med flerårige afgrøder til protein

AU Foulums pilot/demoanlæg er bl.a. skabt under [GRØNBIORAF](#) projektet, som var et GUDP projekt og inkluderede Aarhus Universitet, Københavns Universitet og Agro Business Park. Derudover samarbejdede projektet med Arla, Danish Crown, DLG og DLF

Teknologisk Instituts pilotskala anlæg er bl.a. GUDP projektet [SUBLEEM 2.0](#) projektet, som blev afsluttet december 2020 og inkluderede Nordic Sugar, KU, KU-FOOD, KWS Scandinavia A/S, Green Solutions og Teknologisk Institut

[SUBLEEM 2.0](#) projektet, som blev afsluttet december 2020 og inkluderede Nordic Sugar, KU, KU-FOOD, KWS Scandinavia A/S, Green Solutions og Teknologisk Institut

AAU/BiomassProtein/Green Lab Skive er drevet af [BioMass Protein Green Lab Skive](#) projektet inkluderede: Biomass Protein, Aktive Energi anlæg, Aalborg Universitet, Green Lab Skive (Energifonden Skive) og International Starch Institute. Heraf er opstået [BiomassPortein](#) med bl.a. drevet af Mette og Peter Lubeck og har haft diverse projekter og har fået støtte fra Region Midt, Innovationsfonden og GUDP.

[GRASS4FOOD](#) projektet inkluderer: BioMassProtein, Thiese og GreenLab Skive.

[BioRefine](#) inkluderer ejerkredsen DLG, DLF og Danish Agro og anlægget de etablerer er støttet af GUDP.

Ausumgaard er også kendt som [TaylorGrass](#) projektet og inkluderer partnere som: Vestjyllands Andel, Ausumgaard (AU Vindmøller), R&D Engineering & Automation, SEGES (Landbrug & Fødevarer)

[INNOGRASS](#) projektet inkluderer Danmarks Tekniske Universitet, Lihme Protein Solutions, SEGES, Aalborg Universitet, Greenfield Innovation ApS, Naturlig Foods A/S, Biotest ApS -

[FermPro](#) projektet inkluderer: Teknologisk institut, Københavns Universitet, Vestkorn, Chr. Hansen og Solina Denmark

Projekter med bedre udnyttelse af sidestrømme og biprodukter

[Advanced NonWoven](#) er skabt i 2006 og er en produktionsvirksomhed som skaber produkter ud fra naturfibre og genbrugsfibre med en patenteret teknologi. De har tæt tilknytning til Teknologisk Institut. Igennem senior specialist Bodil Engberg Pallesen

[BioRefine](#) inkluderer ejerkredsen DLG, DLF og Danish Agro og anlægget de etablerer er støttet af GUDP.

Nordic Sugar deltog. sammen med Teknologisk Institut, i [SUBLEEM 2.0](#) projektet. Her har de arbejdet med bioraffinering af roetoppe. John Jensen fra Nordsuger fortæller arbejder med at bioraffinere roetoppe og anvende produkterne som nano-cellulose fra roepulp og protein.

AU CBIO har drevet af forskeren Birgit Bonefeld blandt andet lavet [viskose \(man made tekstil\) ud fra græs fiber](#) fraktionen fra grøn bioraffinering i projektet [grønne hoser](#). Birgit Bonefeld har tilsvarende lavet [cellulose pulp / viskose ud fra halmfiber](#).

Haldor Topsøe var sammen med et utal af forskere og virksomheder med til at arbejde på projektet

[BioValueSpir](#) var et projekt fra 2013-2018. Projektets formål var at danne en platform for 1) Ny robust biomasseforsyningskæder, 2) nye teknologier til raffinering af plantemateriale, 3) nye løsninger til bæredygtig produktion af kemikalier, polymerer, foder og fødevaringredienser. Projektets deltagere var Copenhagen University, Technical University of Denmark, Aalborg University, Aarhus University, Haldor Topsoe, Rockwool, Hamlet Protein, Kartoffelmelcentralen a.m.b.a., AggroTech A/S, Borregaard A/S, INBIOM, Novozymes A/S, SEGES, Arla Food a.m.b.a., DLG Group, Sejet Plant Breeding, DLF Seeds and Science.

[REMAPP projektet](#) er støttet af Innovationsfonden. Deltagere er: HAMLET PROTEIN, Nature Energy Månsson, Tailorzyme, SANI Membranes, Københavns Universitet og Teknologisk Institut

[ENORM](#) producerer insekter baseret på biomasse. ENORM har fået MUDP tilskud til etablering af en demonstrationsfabrik. Under titlen

[Fyrtårnsprojektet](#) skal etablere en stor skala insektproduktion. Projektets partnere er: ENORM Biofactory, Teknologisk Institut, Hannemann Engineering, Dansk Insektautomation, DTU Aqua og Aller Aqua. Projektet er støttet.

[Mycopectin](#) er et GUDP projekt fra 2020-2023 med følgende deltagere: Microbiota Food, Københavns Universitet, Danmarks Tekniske Universitet, Planteslagterne, Plantepølsen, Nordic Sugar

Projekter relevant for helårlig udnyttelse af produktionsanlæg

[Meelunie-GPI](#) har netop annonceret at de bygger en fabrik til at producere hestebønne protein i Hedensted. Bagved står et bredt [partnerskab](#) bestående af SiccaDania, hollandske Meelunie, Københavns Universitet, Danmarks Grønne Investeringsfond og Ringkøbing Landbobank står bag projektet, hvor projektinvesteringen lyder på godt 250 mio. kr. [HornSyd](#) skal stå for kontakten til avlernetværket. Firmaet er baseret på patenteret forskning og udvikling på KU igennem 17 år og et spin out fra KU ved navn [BiOptimate](#). Man kan læse mere om det særlige ved processen [her](#)

Projekter med produktion og bioraffinering af tang, muslinger, mv.

[Projekt TANGNU](#) sætter tant på dagsordenen og formidler viden bredt omkring produktion og anvendelsen af tang.

[Hjarnø Havbrug](#) har eksisteret siden 1952 – og opdrætter regnbueørred inkl. rogn, muslinger og sukkertang i Horsens Fjord. Firmaet har udviklet forbrugervenlige produkter af sukkertang.

[Blå Biomasse A/S](#) blev etableret i 2016 i samarbejde mellem Hedeselskabet og Thyborøn Invest A/S til produktion af blåmuslinger

[Samproduktion af fisk og tang i dambrug](#) er blandt andet fokus et et projekt med deltagere: Teknologisk Institut, Aarhus Universitet, Bisserup Fisk, Gourmet Tang og Biofarm

[SeaSus Protein](#) projekt er støttet af GUDP og har deltager: Aarhus Universitet: Institut for Fødevarer, Institut for Bioscience, Institut for Husdyrvidenskab og Afdeling for Miljøvidenskab; Nordisk Tang Aps; Danish Marine Protein A/S; HedeDanmark, Orbicon A/S

DTU Bioengineering arbejder med at skabe medicin mod øjensygdommen AMD og har arbejdet med [en metode stoffet fucoidan ekstraheres fra tang via. bl.a. Enzymer –](#) og bruges som medicin.

Fødevarer forskere DTU arbejder på en [teknik til udvinding af protein fra tang](#) sammen med CP Kelco.

[CP Kelco](#) producerer fødevarer ingredienser fra bl.a. importeret tang.

[Danish Marine Protein](#) er placeret på Green Lab Skive og ejet af Vest Jyllands Andel, som bl.a. er involveret i det grønne bioraffinaderi på Ausumgaard.