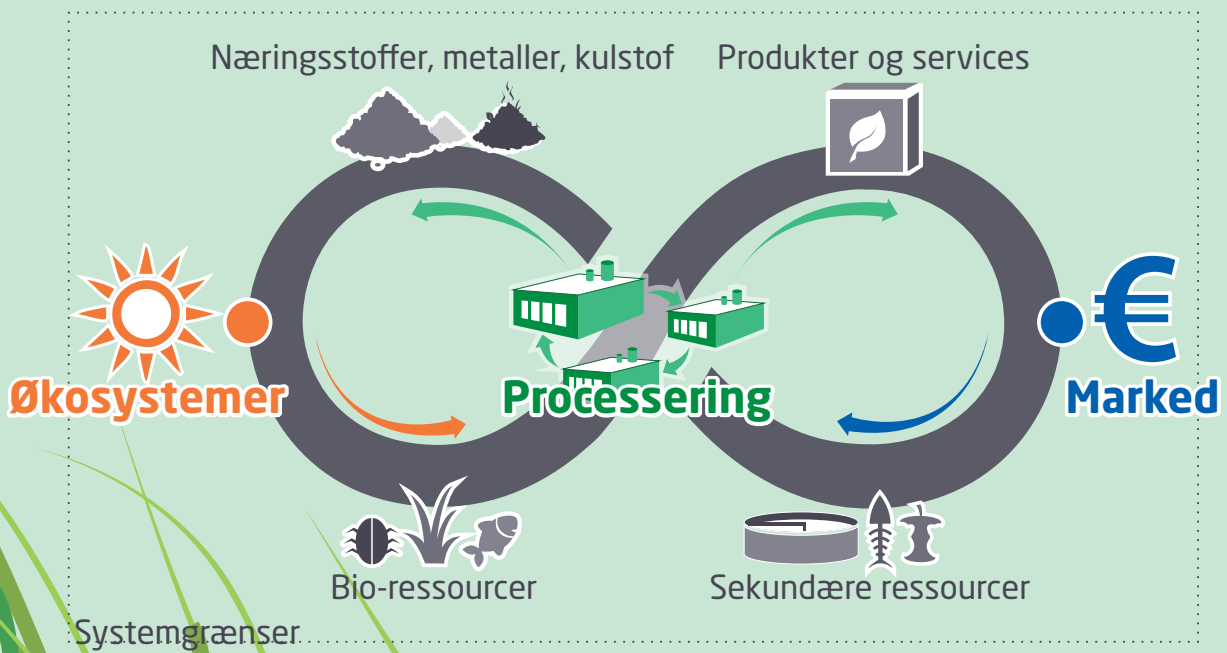


# Bioøkonomiens maskinrum



Sådan kan nye processer, teknologier og kaskadeanvendelse af bioressourcer give danske virksomheder en unik position som vækstcenter for bioøkonomi

## Interviewede virksomheder, offentlige myndigheder og forskningsinstitutioner



Disclaimer: Ovenstående personer i virksomheder, universiteter og offentlige institutioner og myndigheder er interviewet eller har på anden måde bidraget til projektet, men kan ikke nødvendigvis tages til indtægt for indholdet af rapporten. Det kan alene DTU. Henvendelser vedrørende rapporten kan rettes til projektleder Anders Pall Skött, [anps@dtu.dk](mailto:anps@dtu.dk).

## FORORD

# Danmark som frontløber for forandringen til cirkulær bioøkonomi

Verdens ressourcer er begrænsede. Vi er nødt til at tænke nyt, hvis vi skal kunne brødføde verdens voksende befolkning, imødegå de stigende klimaudfordringer og opretholde vores levestandard. For at takle disse udfordringer skal vi finde nye cirkulære og bæredygtige måder at producere og forbruge vores ressourcer på. Bioøkonomi kan erstatte den fossile økonomi, og ved at udvikle og kombinere nye teknologier kan virksomheder udnytte de biologiske ressourcer til langt flere formål end hidtil - som medicin, ingredienser, fødevarer, materialer og energi. Det kræver, at vi forbedrer mulighederne for kaskadeanvendelse af bioressourcerne. På den måde kan vi udvikle mange forskellige produkter fra samme biomasse og reststrømme.

Danmark har vinden i ryggen, når det gælder om at komme først på markedet med nye løsninger inden for bioøkonomi. Danske virksomheder demonstrerer allerede i dag, at det kan lade sig gøre at producere effektivt og bæredygtigt. Vi er foregangsland inden for biobaseret life science, fermentering, ingredienser, højværdiprodukter, anvendelse af sidestrømme og højeffektiv brug af biomasse og biogas til energiproduktion. Danmark kan

fremvise reelle eksempler på industrisymbioser og kaskadeanvendelse af bioressourcer til mange formål.

Det er en rejse, der blot lige er begyndt, og vi kan gøre meget mere. Vi kan gøre Danmark til demonstratorium for en cirkulær bioøkonomi, hvor alle ressourcer bliver anvendt og genanvendt til højst mulig værdi. Med Danmark som demonstrationsland for bioøkonomi kan danske virksomheder inspirere resten af verden med danske teknologier, løsninger og produkter. Men det kræver samarbejde i et netværk af aktører, investeringer i teknologi og infrastruktur, systemiske forandringer, buy-in fra hele systemet og ændring af vores mindset.

Anbefalingerne i rapporten er et input til Danmarks strategiske retning for bioøkonomi. Fælles for anbefalingerne er, at vi skal have store ambitioner, og at teknologier, kaskadeanvendelse og helhedsforståelse af bioøkonomiske systemer er essentielle for at udvikle en dynamisk og bæredygtig bioøkonomi. Håbet er, at denne rapport kan bidrage til, at danske virksomheder og forskning også fremover kan være med helt fremme i omstillingen til gavn for bæredygtighed, vækst og beskæftigelse.

*God læselyst!*

Koncerndirektør Marianne Thellersen, DTU  
Juni 2019

## Sådan har vi gjort

Formålet med sektorudviklingsprojektet om bioøkonomi er at bidrage til udviklingen af det bioøkonomiske felt. Fokus har været på proces- og produktionsteknologi, og de bioøkonomiske systemer de indgår i. Sammen med virksomheder, brancheorganisationer og myndigheder har vi afdækket, hvordan teknologi konkret kan udnyttes til at indfri det potentiale, der er i bioøkonomi. Udover direkte input fra virksomhederne har DTU trukket på DI og Landbrug og Fødevarer, der har deltaget aktivt i arbejdet med projektet. Personer i virksomhederne og organisationerne vist på side 2 er interviewet eller har på anden måde bidraget til projektet, men kan ikke nødvendigvis tages til indtægt for indholdet af rapporten, det kan alene DTU.

Initiativtagere og styregruppe for sektorudviklingsprojektet er afdelingsleder Simon Bolwig og gruppeleder Anne Nygaard Tanner, DTU Management samt professor Lene Lange, DTU Kemiteknik. Projektet er gennemført med en arbejdsgruppe med deltagelse fra 10 af DTU's institutter: DTU Aqua, DTU Bioengineering, DTU Biosustain, DTU Compute, DTU Fødevarer-instituttet, DTU Kemiteknik, DTU Management, DTU Mekanik, DTU Miljø og DTU Veterinærinstituttet. Se den fulde liste i appendiks.

## Sektorudvikling

Sektorudviklingsprojekter er et af de værktøjer, som DTU bruger til at samarbejde med erhvervsliv og myndigheder. Målet med projekterne er at styrke teknologiintensive branchers konkurrenceevne ved at skabe overblik og handlingsplaner for anvendelsen af nye teknologier.

Metoden går ud på at:

- Kortlægge og analysere teknologianvendelsen i branchen
- Identificere flaskehalse og udviklingsbehov både hos virksomheder, myndigheder og DTU
- Give anbefalinger til at løfte udfordringer

Sektorudviklingsprojekterne bliver skabt i et forum bestående af repræsentanter for virksomheder, forskere fra DTU samt - hvor det er relevant - myndigheder.

Henvendelser vedrørende rapporten kan rettes til projektleder Anders Pall Skött [anps@dtu.dk](mailto:anps@dtu.dk)

# Indhold

Resumé .....	6
Indledning .....	11
Bioøkonomi - hvad er det? Hvad kan det? .....	12
Systemer og teknologier til bearbejdning af biologiske ressourcer .....	18
Seks vigtige tendenser .....	20
• Tendens 1: Kaskadeanvendelse og flere produkter ud fra samme råvarer og processer ...	22
• Tendens 2: Presset på Jordens arealer vokser .....	28
• Tendens 3: Bioøkonomi kan afbøde klimaforandringer .....	34
• Tendens 4: Bioøkonomi skaber forretning og lokal udvikling .....	38
• Tendens 5: Biologiske ressourcer skal kunne kvalitetssikres og spores .....	42
• Tendens 6: Teknologiuudviklingen stiller stigende krav til offentlig regulering .....	46
Anbefalinger for en styrket bioøkonomi .....	50
Appendiks: DTU's institutter og kompetencer inden for bioøkonomi .....	60
Appendiks: Rapporter og litteratur .....	65
Appendiks: Interviewpersoner fra virksomheder .....	66



## Resumé

# Bioøkonomiens maskinrum

Verdens ressourcer er begrænsede, og der er stort behov for at finde bæredygtige måder at producere og forbruge vores bio-baserede ressourcer på. Bioøkonomi er et vækstområde med potentiale til at erstatte brugen af fossile ressourcer, skabe nye højværdiprodukter og samtidig skabe nye arbejdspladser. Omstillingen mod en bæredygtig og cirkulær bioøkonomi kræver forskning og udvikling af teknologi, tværgående værdikæder og helhedsforståelse af de bioøkonomiske systemer.

DTU Bryghus



Biobaserede produktionssystemer og værdikæder erstatter i stadig højere grad fossile systemer til produktion af kemikalier, materialer og energi, og med nye teknologier kan virksomheder udnytte de biologiske ressourcer til langt flere formål og til en højere værdi end hidtil.

At nyttiggøre det fulde potentiale af biobaseret produktion forudsætter en dyb indsigt i bioressourcernes naturlige kompleksitet. Processerne og teknologierne skal være tilpasset formålet og forarbejde bioressourcerne mindst muligt til en bred mangfoldighed af fødevarer, foder, materialer, sundhedsfremmende produkter og smartere biobaserede løsninger i det, der kaldes kaskadeanvendelse. Løsninger, der sigter mod et mere ansvarligt forbrug af naturressourcer som vand, næringsstoffer, energi og jord. Det forudsætter samarbejde mellem sektorer, så alle de rester, der i manges øjne er affald, bliver omdefinert til sidestrømme, der kan udnyttes på tværs af primærproducenter og forarbejdningsindustri til nye nyttige produkter og energi.

Danmark har en stærk position, når det gælder om at komme først på markedet med nye teknologier og løsninger inden for bioøkonomi, og danske universiteter har internationalt anerkendte forskningsmiljøer. Danske virksomheder producerer effektivt og bæredygtigt. Vi er foregangsland inden for biobaseret life science, fermentering, ingredienser, højværdiprodukter, anvendelse af sidestrømme og højeffektiv brug af biomasse og biogas til energiproduktion. Danmark kan fremvise reelle eksempler på industrisymbioser og kaskadeanvendelse af bioressourcer til mange formål og dermed blive et internationalt demonstrationsland med de rette netværk af aktører, investeringer i teknologi og infrastruktur og systemiske forandringer.

Denne rapport beskriver denne udvikling og behovene for nye satsninger, hvis Danmark skal udnytte de biologiske ressourcer fuldt ud. Rapporten er baseret på en lang række interviews og workshops med virksomheder, forskere og andre aktører inden for bioøkonomi. Rapporten kan danne grundlag for yderligere dialog og debat om mulighederne i bioøkonomi således, at danske virksomheder og dansk forskning også fremover kan være med helt fremme i omstillingen til gavn for bæredygtighed, vækst og beskæftigelse.

Projektet har afdækket seks vigtige tendenser, som både udfordrer den fortsatte udvikling af bioøkonomien og rummer store muligheder, hvis vi som land formår at takle dem. Samtidig viser cases med en

række virksomheder, hvordan de oplever udfordringer og muligheder i forbindelse med de forskellige tendenser. DTU har omsat projektets indsigter til en række anbefalinger. Anbefalingerne er ambitiøse. Teknologier, kaskadeanvendelse og helhedsforståelse af bioøkonomiske systemer er essentielle for at udvikle en dynamisk og bæredygtig bioøkonomi. Endelig indeholder rapporten et katalog over projekter, hvor DTU's forskere er med til at skabe grundlag for mere bioøkonomi i Danmark og resten af verden.

De seks tendenser er:

### **Tendens 1: Kaskadeanvendelse og flere produkter ud fra samme råvarer og processer**

Historisk er de fleste virksomheder gået ind i bioøkonomi med tanken om at levere et bestemt produkt ud fra en bestemt råvare. I den moderne bioøkonomi er der fokus på at forarbejde hver råvare til en vifte af forskellige produkter. Man taler om kaskadeanvendelse, hvor man eksempelvis først udnytter en højværdikomponent og derefter arbejder videre med restprodukterne gennem forskellige trin. På den måde opnår man en bedre udnyttelse af hele råvaren. Samtidig bliver det muligt for virksomheden at producere mere eller mindre af de forskellige produkter afhængigt af, hvordan markedet udvikler sig.

### **Tendens 2: Presset på Jordens arealer vokser**

Befolkningstallet i verden stiger. Det skaber behov for større landbrugsarealer for at mætte de mange munde. Men efterhånden kniber det med at finde tilgængelig jord. Derfor stiger interessen for især tre typer af løsninger. For det første løsninger, hvor man får større udbytte af de producerede råvarer - altså mindsker mængden af spild. For det andet produktion af akvatiske råvarer som fisk, skaldyr og alger, hvor man kan øge produktionen uden at inddrage landarealer. Og endelig produktion af mad, der er helt afkoblet fra traditionel dyrkning af jorden. For eksempel produktion af proteiner i tanke ved hjælp af fermentering.

### **Tendens 3: Bioøkonomi kan afbøde klimaforandringer**

De internationale forhandlinger om at beskytte klimaet har hidtil især fokuseret på energisektoren, men landbrug og fødevarerindustri er også områder, hvor der er muligheder for forbedringer i forhold til

klimaregnskabet. Det gælder både selve produktionen og den efterfølgende håndtering af organisk affald, udledning af CO<sub>2</sub> og andre drivhusgasser som metan. Derfor er bioøkonomi vigtig i forhold til at brødføde verdens befolkning, men også en central faktor for at verden skal kunne leve op til Parisaftalens målsætninger om at holde den globale opvarmning under 2 eller endog 1,5 grader.

#### Tendens 4: Bioøkonomi skaber forretning og lokal udvikling

Innovative virksomheder har generelt en tendens til at etablere sig i de store byer. Det gælder imidlertid i mindre grad for vækstvirksomhederne inden for bioøkonomi, hvor tilgængeligheden af råvarer vejer tungt, hvad enten der er tale om animalsk eller vegetabilsk, land- eller vandbaseret biomasse. Samtidig efterspørger bioøkonomiske virksomheder en bredere vifte af arbejdskraft. Der er både brug for medarbejdere med lange, mellemlange og korte uddannelser.

#### Tendens 5: Biologiske ressourcer skal kunne kvalitetssikres og spores

Fødevarer sikkerhed er i forvejen højt på dagsordenen, men vil komme endnu højere op, når de biologiske råvarer skal udnyttes fuldt ud. Ofte vil det være mest rationelt at flere forskellige virksomheder deltager i værdikæderne. Men både for virksomhederne selv og for forbrugere og myndigheder bliver det derved afgørende, at man kan sikre sig, at de produkter, der afsendes, faktisk er, hvad afsenderen oplyser. Heldigvis sker der en rivende udvikling inden for tekniske løsninger for sporbarhed.

#### Tendens 6: Teknologiudviklingen stiller stigende krav til offentlig regulering

I betragtning af at forbrugernes sundhed og sikkerhed står på spil, er det helt naturligt, at produktionen af medicin, fødevarer, foder og andre produkter, der stammer fra biologiske råvarer, er underlagt omfattende regulering. Det skal der også være i fremtidens bioøkonomi. Alligevel kan der være sund fornuft i løbende at vurdere, om den nuværende regulering er optimal. Ofte er reglerne udformet for år tilbage, hvor den teknologiske virkelighed var en anden, og hvor man ikke havde med i overvejelserne, at fuld udnyttelse af råvarerne overordnet set vil være til stor gavn for samfundet.

Anbefalingerne er:

#### Anbefaling 1: Nationalt samarbejde og strategiske satsninger

Bioøkonomiske værdikæder er komplekse. Adgang til biomasse, sidestrømme, teknologi og marked omfatter mange systemer og aktører inden for primærproduktion, logistik, forarbejdning, afsætning, kapitalforvaltning mv. Imidlertid er offentlige støtteprogrammer ofte opdelt i klassiske domæner som energi, fødevarer, sundhed og miljø. Innovationssystemet bør omfatte støtteprogrammer og finansieringskilder, der belønner partnerskaber, værdikæder og synergi mellem domæner.

På den baggrund bør man:

- Skabe incitamenter i støtteprogrammerne til at fremme forsknings- og udviklingsprojekter om kaskadeanvendelse på tværs af domæner.
- Etablere fyrtårnsprojekter, der udvikler bioøkonomiens værdikæder og sikrer investeringer i den nødvendige infrastruktur.
- Udvikle nye fundingmuligheder, der kan være med til at lukke hullet mellem laboratorie- og pilotskala og kommerciel skala.
- Fremme partnerskaber, hvor nye teknologier og systemløsninger demonstreres i sammenhæng.
- Fremme forskning og udvikling på tværs af fagligheder, herunder livscyklusanalyser, digitalisering, teknologivurderinger samt økonomiske, regulatoriske og institutionelle analyser.

#### Anbefaling 2: Danmark som testcenter for cirkulær bioøkonomi

Danmark har chancen for at blive det første land med en reel cirkulær bioøkonomi, hvor alle bioressourcer anvendes og genanvendes bæredygtigt og effektivt. For at skabe velfungerende innovation er det vigtigt at fokusere på efterspørgselssiden og ikke kun på udbud af teknologi og viden. Gennem politisk regulering og deregulering kan der skabes nichemarkeder, hvor de nye bioøkonomiske produkter i første omgang kan få fodfæste.



Derfor er der behov for:

- En virtuel platform for bioøkonomi, der kan give små og store aktører let adgang til nye teknologier, viden og netværk.
- Forskning i og anvendelse af proces- og produktionssteknologier til kaskadeudnyttelse af biomasse og sidestrømme samt incitamentter for iværksættere.
- Lokale initiativer, hvor proces- og produktionsteknologi er med til at skabe højere værdi af de lokale bioressourcer og sidestrømme.
- Større fokus på efterspørgslen efter bioøkonomiske teknologier, produkter og ydelser, fx gennem offentlig indkøbspolitik, incitamentskabende regulering, certificering og standarder på både nationalt og internationalt niveau.

### Anbefaling 3: Byg bioøkonomi på de danske styrker: Sundhed og klima

Sidestrømme fra slagteri- og mejeriproduktion, kartoffelmel og akvatiske bioressourcer er typer af biomasse, som Danmark producerer meget af, og som har potentiale til at blive raffineret til ingredienser og produkter med sundhedsmæssige egenskaber. Dette område har hidtil ikke fået stort fokus i bioøkonomi, men danske forskningsmiljøer og virksomheder har knowhow til at gøre dette område centralt. Ydermere kan sidestrømme fra denne produktion bruges i andre dele af bioøkonomiens værdipyramide.

Danmark har ligeledes en stærk position inden for klima og miljø. Bioøkonomi kan bidrage til at beskytte klimaet ved at erstatte fossile råvarer med bæredygtige, vedvarende biobaserede løsninger, nedbringe mængden af affald og få flere dele af råvarerne nyttiggjort. Det kan også ske ved at inddrage nye råvarer fra fx havet samt udnytte CO<sub>2</sub> og andre drivhusgasser som ressourcer i produktion. Derfor bør Danmark sammen med de øvrige EU-lande arbejde for, at bioøkonomi står højt på klimadagsordenen.

### Anbefaling 4: Udbred danske bioøkonomiske løsninger internationalt og skab nye globale forretningsmuligheder

Bioøkonomi adresserer globale udfordringer, og Danmark kan spille en vigtig rolle via sin position inden for forskning og produktion. Mange danske virksomheder og organisationer arbejder allerede aktivt med FN's verdensmål.

Bioøkonomien kan være med til skabe næste generation globale virksomheder, der leverer nye løsninger indenfor eksempelvis ingredienser, foder, materialer mm. Danske virksomheder vil kunne vokse bæredygtigt på det internationale marked ud fra alle teknologier, produkter og fokusområder, der er nævnt i denne rapport. I takt med de teknologiske fremskridt vil udnyttelsen af sidestrømme blive mere effektiv og mangesidet, og der vil blive skabt gode muligheder for startups.

Et af virkemidlerne er det europæiske program Bio-based Industries (BBI), der har et samlet budget på omkring 3,7 mia. euro for perioden 2014-2020. BBI understøtter stort set alle anvendelser i bioøkonomiens værdipyramide, inklusive kombinerede bioraffinaderier og hjælpeteknologier. Udviklingen understøttes af de europæiske COFUND initiativer, som er koncentreret om bioteknologi-værktøjer eller værdikæderne i landbrug, skovbrug og akvatiske miljøer. På europæisk niveau er der markante investeringer i forskning, demonstration og implementering af biobaserede løsninger. Danske virksomheder og forskningsinstitutioner har gode forudsætninger for at blive en større del af disse programmer, end de er i dag.

Derfor bør Danmark prioritere øget dansk deltagelse i de europæiske rammeprogrammer som Horizon Europe (FP9) og BBI. Desuden bør vi have en ambitiøs indsats for dansk videns- og teknologisamarbejde i udviklingslandene samt arbejde aktivt med FN's mål for at bringe dansk viden og teknologi i spil for "people, profit and planet".



# Indledning

Formålet med DTU's sektorudviklingsprojekt om bioøkonomi er at styrke dansk konkurrenceevne inden for området ved anvendelsen af nye teknologier.

Biobaserede produktionssystemer og værdikæder erstatter i stadig højere grad fossile systemer til produktion af kemikalier, materialer og energi. Med nye teknologier kan virksomheder udnytte de biologiske ressourcer til langt flere formål og til en højere værdi end hidtil. Bioøkonomien kan derfor skabe helt nye forretningsmuligheder. Danmark står allerede stærkt i denne udvikling. Virksomheder som Novozymes, KMC, Nature Energy, Ørsted, Daka Denmark og Arla Foods er toneangivende inden for området, danske universiteter har internationalt anerkendte forskningsmiljøer - og startups såsom Unibio, Fermbiotics, Beyond Coffee og AquaGreen er på vej med helt nye forretningsmodeller og produkter. Denne rapport beskriver denne udvikling - og behovene for nye satsninger, hvis Danmark skal udnytte de biologiske ressourcer fuldt ud.

At nyttiggøre det fulde potentiale af biobaseret produktion forudsætter en dyb indsigt i bioressourcernes naturlige kompleksitet. Processerne og teknologierne skal være tilpasset formålet og forarbejde bioressourcerne mindst muligt til en bred mangfoldighed af fødevarer, foder, materialer, sundhedsfremmende produkter og smartere biobaserede løsninger i det, der kaldes kaskadeanvendelse. Løsninger, der sigter mod et mere ansvarligt forbrug af naturressourcer som vand, næringsstoffer, energi og jord. Udnyttelse af det fulde potentiale af den biobaserede produktion forudsætter også samarbejde mellem forskellige sektorer - så alle de rester, der i manges øjne er affald, bliver omdefinert til sidestrømme, der kan udnyttes på tværs af primærproducenter og forarbejdningsindustri til nye nyttige produkter og energi.

Rapporten fokuserer på det væsentlige potentiale, der ligger i at forske i, skabe rammer for og udvikle bioøkonomiske løsninger på globale udfordringer i tæt samspil mellem virksomheder, universiteter, interesseorganisationer og offentlige myndigheder.



# Bioøkonomi - hvad er det? Hvad kan det?

Nye processer og teknologier giver Danmark en enestående chance for at skabe bæredygtig vækst ved at udnytte de biologiske ressourcer fuldt ud.



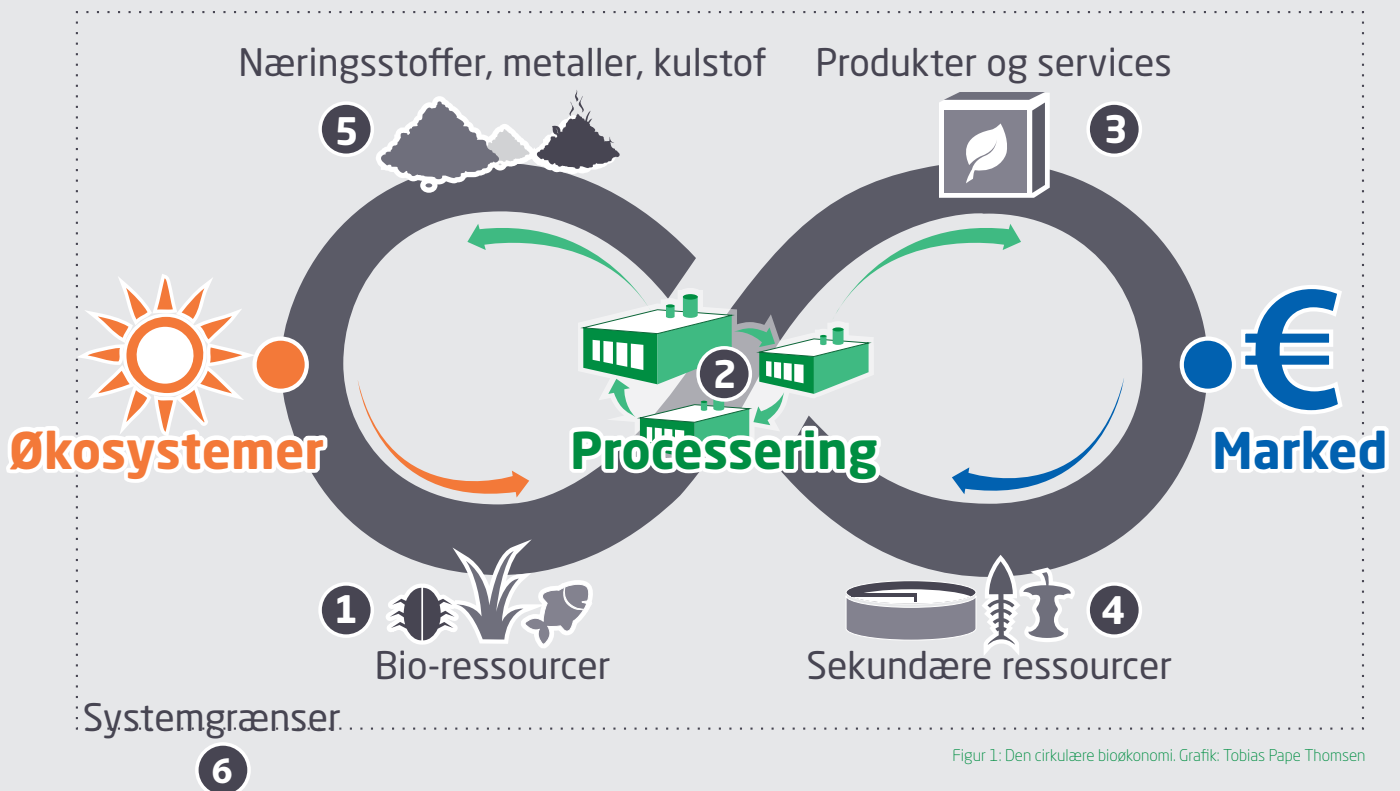
Bioøkonomien er et vækstområde med potentiale til at skabe nye højværdiprodukter, nye virksomheder, erstatte brugen af fossile ressourcer og samtidig skabe nye arbejdspladser. Vi går mod en fremtid uden brug af fossile råstoffer. En fremtid, hvor nye teknologier og systemer gør os i stand til at udnytte det fulde potentiale af vores biologiske ressourcer. Det vil sige, at vi ikke kun producerer et enkelt produkt fra en plante eller et husdyr, men bliver i stand til at skabe langt flere og mere sofistikerede anvendelser af ressourcerne.

### Begrebet bioøkonomi

Bioøkonomi er et bredt begreb. Definitionen i EU's opdaterede bioøkonomistrategi fra oktober 2018 siger,

at "bioøkonomien dækker alle sektorer og systemer, som udnytter biologiske ressourcer (dyr, planter, mikroorganismer og afledt biomasse, herunder organisk affald), deres funktioner og principper. Den omfatter og forbinder: land- og marineøkosystemer og de tjenester de leverer; alle primære produktionssektorer, der bruger og producerer biologiske ressourcer (landbrug, skovbrug, fiskeri og akvakultur) og alle økonomiske og industrielle sektorer, der bruger biologiske ressourcer og processer til produktion af fødevarer, foder, bio-baserede produkter, energi og tjenesteydelser." Biomedicin og biologiske lægemidler er ikke medtaget i denne definition. Desuden anfører EU, at bæredygtighed og cirkularitet skal være centrale for den europæiske bioøkonomi. Det vil medvirke til at

### Den cirkulære bioøkonomi



Figur 1: Den cirkulære bioøkonomi. Grafik: Tobias Pape Thomsen

Figuren viser, hvordan den cirkulære bioøkonomi fungerer. Maskinrummet med proces- og produktionsteknologier er helt centralt og skal forstås i forhold til helheden. [1] Biologiske ressourcer producerer bl.a. på marker, skovbrug og i havet med bedst mulig anvendelse af fotosyntesen og naturens ressourcer. [2] De biologiske ressourcer og deres reststrømme bliver raffineret med forskellige typer af processer og produktionsteknologier, der omformer ressourcerne til [3] produkter og serviceydelser som ingredienser, mad, foder, biobaserede materialer og bioenergi

til markedet. [4] Reststrømme fra forbruget af disse produkter og services kan raffineres og genanvendes. Raffineringsprocessen vil ideelt set udnytte den fulde biologiske ressource og bringe [5] sidestrømme som næringsstoffer, kulstof og metaller tilbage til de rette steder i økosystemet. For at få den cirkulære bioøkonomi til at fungere er det nødvendigt med en helhedsforståelse af de systemer og den regulering, logistik og infrastruktur, som bioressourcerne indgår i og grænserne for systemerne [6].



forny industrier, modernisere primære produktions-systemer, beskytte miljøet og øge biodiversiteten.

I denne rapport har vi valgt, at fokusere på den del af bioøkonomien, som er særligt relevant for cirkulær anvendelse af biologiske ressourcer, hvilket bl.a. inkluderer ekstraktion og processering, for at tydeliggøre Danmarks særlige kompetencer indenfor dette område.

EU definerer den cirkulære økonomi som et økonomisk system, hvor "værdien af produkter, materialer og ressourcer opretholdes i økonomien så længe som muligt, og generering af affald minimeres". Den cirkulære bioøkonomi forener de to begreber ved at fokusere på genanvendelsen af biobaserede ressourcer. Begrebet omhandler bæredygtig produktion og genanvendelse af biomasse, biobaserede produkter,

proces teknologi og bioraffineringsanlæg, forvaltning af bioaffald herunder madaffald, samt metoder til at bringe næringsstoffer tilbage til naturens økosystem.

I sektorudviklingsprojektet har vi lavet en grafisk fremstilling af cirkulær bioøkonomi, der viser strømme af bioressourcer fra primær produktion over processering til marked med fuld genanvendelse af sidestrømme. Visionen er, at vi i fremtiden vil have en cirkulær bioøkonomi, hvor alle bioressourcer bliver anvendt og genanvendt i videst muligt omfang.

Flere og flere biobaserede virksomheder går væk fra et snævert fokus på deres oprindelige hovedprodukt. I stedet opbygger de en bredere portefølje af produkter baseret på en stadig mere sofistikeret og mangesidet anvendelse og raffinering af materia-

### **Bioraffinering og bioressourcer**

Hvad mener vi egentlig med udtrykket bioraffinering? Ellen MacArthur Foundation skriver: "Et bioraffinaderi kan defineres som en fabrik designet til at omdanne et biologisk råmateriale til en række værdistrømme gennem en kaskade af ekstraktioner og/eller omdannelsesprocesser. Dette må ikke forveksles med et anlæg, der udelukkende producerer biobrændstof eller kraftvarme ud fra biologisk råmateriale." Bioraffinering behøver dog ikke foregå i et enkelt anlæg, men kan ske via flere forbundne anlæg, som leverer input til hinanden i et symbiotiske forhold.

Bioraffinaderier kan behandle mange typer af biologiske råmaterialer. For overskuelighedens skyld kan man give råvarer og sidestrømme forskellige farver, alt efter hvor de kommer fra som eksemplerne nedenfor. Fremtidens bioøkonomi handler om, at blande farverne på denne palet rigtigt og raffinere flere typer af biomasse i sammenhæng og med de bedst mulige metoder.



Den "gule" biomasse er korn, halm, strå og træ.



Den "grå" biomasse er sidestrømme fra plantebaseret produktion som fødevarer og foder.



Den "grønne" biomasse er frisk grøn biomasse som for eksempel græs, kløver og roetoppe.



Den "brune" biomasse er organisk indhold i spildevandsslam fra bl.a. rensningsanlæg og produktion



Den "blå" biomasse er fra havet - fiskeaffald, muslinger, søstjerner, tang, alger mv.



Den "orange" biomasse er organisk husholdningsaffald



Den "røde" biomasse er sidestrømme fra animalsk produktion.



Den "lilla" biomasse er nye muligheder med biomasse. Fx kan råstoffer som CO<sub>2</sub> og metan omdannes til protein med ny teknologi.

lerne. De produkter, der før blev betragtet som restprodukter eller decideret affald, bliver nu anerkendt for deres værdi og betegnes nu som "sidedstrømme". Nogle organiserer den nye forretning internt i den eksisterende virksomhed, for eksempel KMC, mens andre etablerer datterselskaber til bearbejdning af sidedstrømmene, som fx Arla Foods Ingredients og Daka ecoMotion. I andre tilfælde bliver sidedstrømmene afhændet og købt af tredjepart, måske helt nye virksomheder, som har specialiseret sig i håndteringen af sidedstrømme. På den måde spreder man sin økonomiske risiko over flere markeder, og opnår samtidig at udnytte produktionskapaciteten over en større del af året.

### Ressourceudnyttelse med moderne teknologi

Den globale mangelsituation, der motiverer bioøkonomi, er som sådan ikke ny. I tidligere historiske tider anvendte man alle dele af fx dyret i madlavning, og det gav anledning til nye gastronomiske opdagelser, fx at svinehud kunne bruges til at lave flæskesvær, og i dag bruges sidedstrømme fra animalsk produktion til en række avancerede produkter. Vi har altid haft bioøkonomi, og vi har altid anvendt sidedstrømme i et eller andet omfang. I takt med udviklingen af it og bioteknologi op gennem 1970'erne og 1980'erne er fundamentet for en moderne version af bioøkonomi blevet lagt. I de seneste 20 år er der opstået en ny og teknologisk raffineret bioøkonomi - en tankegang om cirkulær bioøkonomi, bæredygtighed og erstatning af fossile produkter med biobaserede. Den nye bioøkonomi startede med fokus på at producere biobrændsler fra halm og fødevarer som fx majs til erstatning af fossile brændsler. At kunne omforme afgrøder til værdifuld energi åbnede muligheder for andre typer af omformning af materialer. Procesteknologier, der kan nedbryde biomasse til sukermolekyler, er udviklet de senere år. Disse kan bruges som vækstsubstrat for gærsvampe og bakterier, der producerer biobrændsel eller biobaserede kemikalier og materialer. Særligt i de sidste 5-6 år er det gået stærkt med at udvide fokus til flere typer af biomasse. Nu er såvel landbaseret som vandbaseret biomasse samt sidedstrømme fra industriel forarbejdning og organisk husholdningsaffald med i billedet.

Man kan sige, at ingrediensindustrien har taget forskud på bioøkonomien med videnskabelig og teknologisk innovation. Den danske ingrediensbranche omsatte for 46,5 mia. kr. og bidraget til den danske eksport var på 26,6 mia. kr. i 2015. Råvarerne til mange typer af ingredienser til fødevarer er sidedstrømme fra landbruget eller fødevarerindustrien. Sidedstrømme,

som tidligere var upåagtede, men har fået høj værdi takket være industriel mikrobiologi. For eksempel fremstiller Arla Foods Ingredients proteinproduktet Nutrilac, der muliggør en række nye, værdifulde anvendelser af sur valle, der tidligere kun blev brugt til foder eller biogas. Sur valle er et biprodukt fra produktionen af visse typer af ost og yoghurt, og indeholder både protein og næringsstoffer, men er svær at anvende på grund af den sure smag og lave pH værdi.

Også Novozymes' produktion af enzymer demonstrerer, at fremtidens bioøkonomi allerede har slået rod. Dels fordi Novozymes' egen produktionsmetode er bioteknologisk, og dels fordi netop enzymer bliver helt centrale for værdiskabende omdannelse af biomasse, fx i bioraffinaderier. Det ansælgiggør to centrale aspekter ved bioøkonomi. For det første, at man får større værdi ud af den samme mængde råvare og dermed udnytter ressourcerne bedre. For det andet, at det kan foregå under miljøvenlige betingelser, hvor man slipper for at tilføre unødige mængder af energi eller kemikalier. Sidst men ikke mindst opnås en yderligere gevinst ved at spildevandet belaster miljøet mindre med lavere temperatur, mindre kemi og ingen ekstreme pH værdier.

Med fremtidens bioraffinering kan en række biobaserede produkter fremstilles sideordnet. Omdannelsen af biomassen - raffineringen - kræver energi og kan foregå med biologiske, kemiske eller termiske teknologier. Maskinrummet kan for eksempel bestå af biokatalytiske processer og teknologier, som populært sagt går ud på, at gøre mikroorganismer i stand til at udføre bestemte opgaver. Netop inden for denne disciplin har vi virksomheder i Danmark, som er førende i verden. Novo Nordisk fremstiller insulin i mikroorganismer, Novozymes er verdens førende producent af enzymer ved hjælp af svampe og bakterier, og Chr. Hansen fremstiller bl.a. bakteriekulturer til mejeriprodukter. I det hele taget er både den danske enzym- og ingrediensindustri internationalt førende.

De seneste år har der været stadig større opmærksomhed på at skabe værdi fra biomassens egne komplekse molekyler. For eksempel ved at udnytte biomassens proteinindhold i fødevarer ingredienser og foder, eller ved at udnytte plantecellens hemicellulose-struktur til at producere ingredienser, der gavner tarmfloraen hos mennesker og dyr.

### Dansk bioøkonomi har stort potentiale

Det nye fokus på at omforme visse materialer til helt andre med højere værdi betyder, at bioøkonomi kan

meget mere end at erstatte den fossile økonomi. Processer og teknologier, der udnytter det fulde potentiale af biobaseret produktion og sidestrømme, er i hastig udvikling.

Ved at producere flere typer af produkter fra den samme biomasse (fx halm), hvor nogle af produkterne har højere værdi end biobrændsler, er det muligt at producere biobrændsler til en lavere pris, end hvis man udelukkende brugte biomassen til at producere

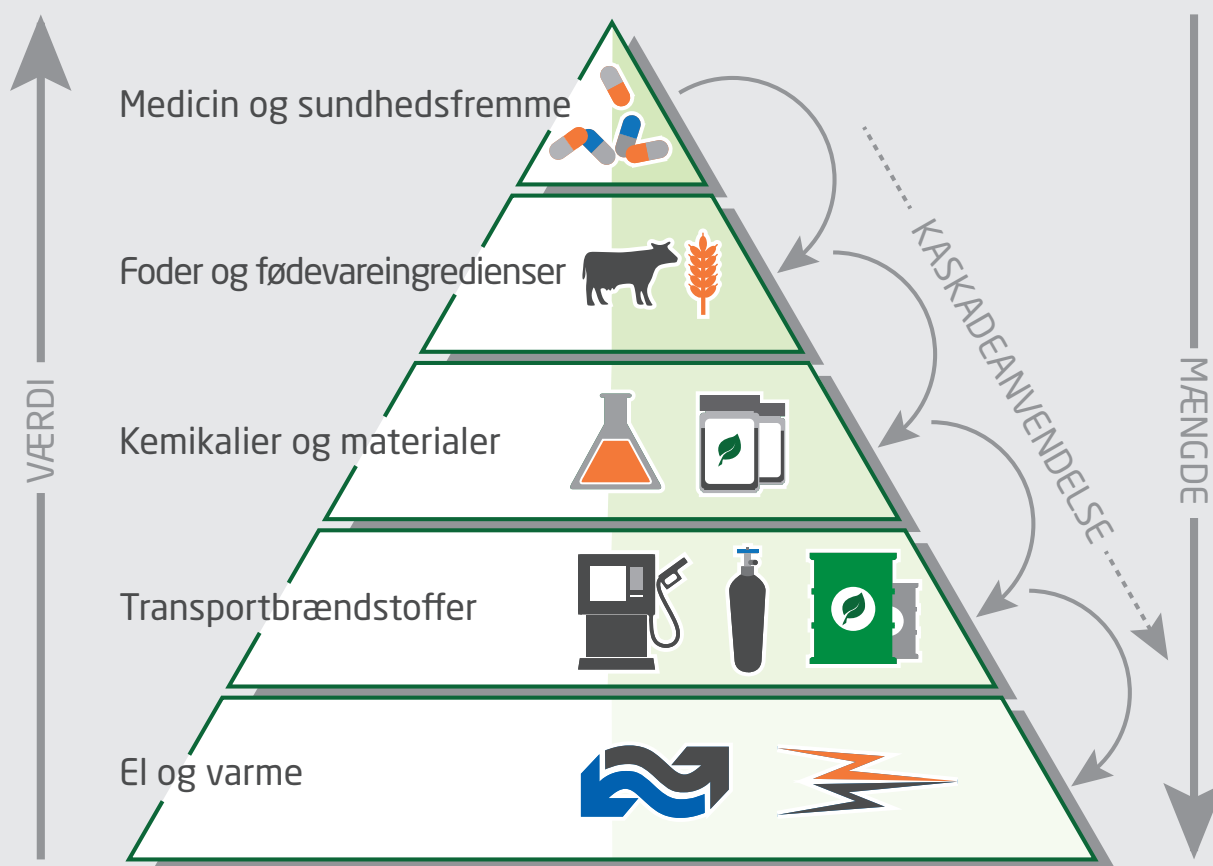
biobrændsler. Et godt eksempel på synergieffekter i bioraffinering.

Samtidig kan biomasse mere end at substituere råolie. I modsætning til fossile ressourcer har nyproduceret biomasse intakte strukturer med både ernærings- og sundhedsmæssigt potentiale. Det betyder, at biomasse ikke blot kan erstatte råolien i produktionen af energi, kemikalier og materialer som plastik. Man kan også skabe andre produkter,

### Værdipyramide og kaskadepriippet i bioøkonomi

Værdipyramiden viser de mange muligheder, der er for at skabe værdi ud af biomasse. Man får mest værdi ved at raffinere biomassen til produkter som ingredienser eller medicin, og mindst værdi ved at skabe el og varme. Størrelsen af hvert segment afspejler samfundets behov ift. volumen.

I bioøkonomi kan man udnytte et kaskadepriippet, hvor biomassen omdannes trinvis til flere anvendelser i bioøkonomiens værdipyramide ved brug af forskellige teknologier, så man samlet opnår mest værdi (cascading-in-value, figur 2). Alternativt kan man designe et system, der maksimerer den tid, som biomassen opholder sig i systemet, så presset på naturressourcerne minimeres (cascading-in-time, figur 3).



Figur 2: Værdipyramide og kaskadeanvendelse efter værdi. Grafik: Tobias Pape Thomsen

hvoraf nogle har endnu højere værdi som eksempelvis fødevaringredienser.

Danmark har et stærkt fundament for omstilling til bioøkonomi. Virksomhedernes styrker dækker fra bunden til toppen i bioøkonomiens værdipyramide fra energi til fødevarer og sundhed. Vi har en stor primær produktion fra fiskeri og landbrug, der udnytter sidestrømme til bl.a. energi og biogas, en stærk ingrediens- og fødevarer sektor med avancerede processer og høj fødevarer sikkerhed samt en stærk farmaindustri. Vi har førende proces- og produktionsteknologivirksomheder fx inden for enzymer og katalyse til bioraffinering. Der er også gode erfaringer med industrisymbioser i Danmark som for eksempel Kalundborg Symbiose, der er udviklet af Kalundborg Kommune, Novo Nordisk og seks andre private og offentlige partnere siden 1972. Det er verdens første industrisymbiose med en cirkulær tilgang til produktion. Hovedprincippet er, at en reststrøm i en virksomhed bliver til en ressource i en anden, til gavn for både miljøet og økonomien.

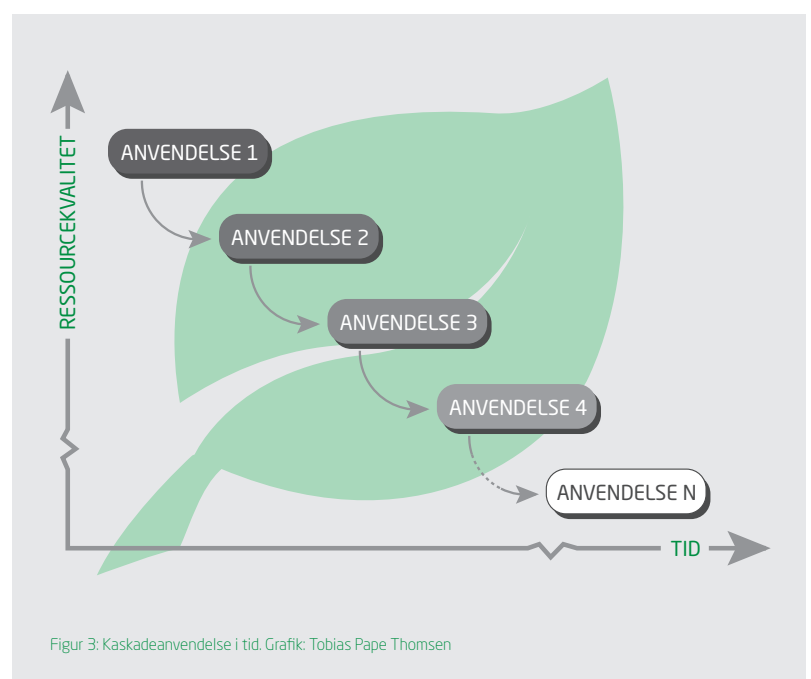
Biobaseret produktion på sundhedsområdet har hidtil været et lille segment af bioøkonomi i Europa, men med en høj specialisering i Danmark. Ifølge EU's opdaterede bioøkonomistrategi fra 2018 blev 35 pct. af Danmarks bioøkonomiske værditilvækst genereret i kategorien "bio-baserede kemikalier, lægemidler, plast og gummi". Danmark er således sammen med Irland det mest specialiserede land inden for den kategori i bioøkonomi med højest værditilvækst i Europa. Der ligger et stort potentiale i områderne for sundhed og sundhedsfremmende ingredienser fra bl.a. sidestrømme i produktionen. Det kræver, at man kan anvende og udvikle bioøkonomiske teknologier og metoder til at udnytte de fulde muligheder i de biologiske ressourcers kompleksitet og sundhedsfremmende egenskaber. Danmark har stærke forskningsmiljøer og virksomheder med knowhow til at gøre dette samt stærke industrier inden for sundhed og ingredienser.

Et eksempel er den danske startup FermBiotics, der udvikler fermenterede produkter til humant brug. Sammen med forskere fra DTU kører de sammen med Silkeborg Sygehus et lovende forsøg, hvor patienter med mave-tarmproblemer får et produkt med fermenteret raps og tang. Forsøget skal vise i hvor høj grad, fermenterede produkter kan ændre tarmfloraen hos mennesker. Produkterne tager udgangspunkt i søster-virksomheden Fermentation Experts' produkter, der har været anvendt til foder til grise i nogle år og har nedbragt antibiotikaforbruget i produktionen.

Danmark har ligeledes opbygget en kapacitet på bioenergiområdet, hvor gylle og industri- og husholdningsaffald omdannes til biogas og biodiesel. Produktionen af biogas i Danmark er i markant vækst med en forventet tredobling fra 2012 til 2020 efter energiaftalen fra 2012 og yderligere udbygning med energiforliget fra 2018. Nature Energy, E.ON Danmark og Daka Denmark er blandt frontløberne inden for produktion af henholdsvis biogas og biodiesel.

Store danske industrier som mejerier, bryggerier, slagterier, sukkerfabrikker samt producenter af fiskefoder og kartoffelmel har erfaringer med anvendelse af sidestrømme og salg af produkter på det europæiske eller globale marked. Samtidig er der et begyndende vækstlag af opstartsvirksomheder, der bruger nye teknologier til kaskadeanvendelse eller inden for nye områder som tang og mikroalger.

Den internationale tænketank Ellen MacArthur Foundation har i en rapport fra 2015 undersøgt potentialet for cirkulær økonomi i Danmark. Ifølge rapporten kan cirkulær økonomi øge det danske BNP i 2035 med op til 1,4 pct., fremme dansk eksport, skabe op til 13.000 job og reducere materialeforbruget markant i en række sektorer. En væsentlig del af dette potentiale skabes i cirkulær bioøkonomi. Det vurderes, at potentialet i øget kaskadeudnyttelse i bioraffinaderier er op til 3,8 mia. kr. årligt. Bioøkonomi beskæftiger ca. 18 mio. mennesker i EU-landene, og udgør en årlig omsætning på ca. 2.200 milliarder euro ifølge Europa Kommissionens Joint Research Center.



# Systemer og teknologier til bearbejdning af biologiske ressourcer

Et af de store områder for udvikling af ny teknologi angår forbehandling af biomassen, så det bliver muligt at anvende den i de senere trin i kaskaden af produkter. Navnlig er der et stort behov for forbehandling, når man ønsker at udnytte halm, træ, græs og andre produkter med et højt indhold af komponenter som cellulose og hemicellulose, hvor enzymatisk hydrolyse ofte er den bedste forbehandling.

Når det drejer sig om at udnytte industrielle sidestrømme, er kravene til forbehandling typisk mindre. Det skyldes, at den industrielle proces, der har udviklet det primære ønskede produkt, normalt har åbnet strukturen af sidestrømproduktet. Studier i de senere år har dog vist, at der også kan opstå nye problemer ved industriel forarbejdning. Derfor er der i høj grad brug for yderligere forskning i, hvordan man bedst forarbejder råvarerne, så man optimerer mulighederne både for sin hovedproduktion og for udnyttelsen af sidestrømme.

Moderne enzymkemi og mikrobiologi kan rigtig meget. Derfor er det i princippet muligt at nedbryde selv meget vanskelige og komplekse råmaterialer som halm og træ så godt som fuldstændigt. For eksempel til de mindste sukkerforbindelser - monomerer. Denne vej kan være rigtig - især i de tilfælde, hvor slutproduktet har en virkelig høj værdi. Imidlertid kan det være mere rationelt at forfølge en mere sammensat strategi, hvor man ikke nødvendigvis nedbryder råvaren til dens mindste bestanddele. Nogle af komponenterne skal måske kun forbehandles ganske let for at blive til nytte, andre vil kræve noget mere forarbejdning, mens nogle først bliver anvendelige i små dele som monomerer. Man anvender et kaskade-princip, hvor man samlet set opnår højst mulig værdi.

Industriel produktion af enzymer til fx bioraffinering sker overvejende ved brug af bakterier, gær og svampe. Danske bioteknologiske virksomheder og forskere, bl.a. på DTU, er internationalt førende inden for udvikling af metoder og teknologi, der kan optimere denne form for produktion. Blandt andet er det vigtigt at skræddersy mikroorganismernes metabolisme til det konkrete formål, så de omsætter så meget som muligt af biomassen til det ønskede produkt.

Ud over den biologiske behandling er en række termiske og termokemiske teknologier i spil. Det drejer sig bl.a. om termisk forgasning til produktion af syntese-gas, pyrolyse eller hydro-termisk konvertering (HTL) til produktion af bioolie og endelig tørring og forbrænding. Disse teknologier er især afgørende, når man ønsker at anvende våde eller forurenede typer af biomasse. Det gælder ikke mindst rensningsanlæggenes slam samt biogasfibre. Her er det typisk ikke muligt at starte en biologisk produktion af højværdiprodukter direkte, men med den rette behandling kan også slam og biogasfibre nyttiggøres. Eksempelvis kan man fremstille fosforholdig gødning, der indeholder færre problemstoffer end slam eller afgasset gylle, når de anvendes på markerne.

Endelig er der globalt set fortsat behov for at udvikle en række teknologier, der omsætter biomasse til brændstoffer eller direkte til energi i form af elektricitet eller varme ved afbrænding. Bioenergi er også en central del af regeringens strategi for Danmarks overgang til et energisystem uden brug af fossile brændsler. Bioenergi udgør i dag grundstammen i den danske grønne energiproduktion. I 2017 udgjorde bioenergien samlet set mere end halvdelen af den danske produktion af vedvarende energi. Biomasse i form af træ, halm og bionedbrydeligt affald udgjorde 54 pct., mens biogassens andel var 7 pct. af Danmarks produktion af vedvarende energi, ifølge Energistyrelsens energistatistik 2017. I bioøkonomi betragtes afbrænding som det laveste niveau af nyttiggørelse, fordi man primært udnytter biomassens energiindhold. Ikke desto mindre har både Danmark og resten af verden behov for bioenergien i den grønne energiomstilling for at nå Parisaftalens mål om at holde den globale temperaturstigning indenfor 1,5-2 grader af det førindustrielle niveau. Ved at kombinere de rette biologiske, kemiske og termiske teknologier er det muligt at optimere metoder og teknologier inden for bioenergi.

Et eksempel på en kaskadeprocess er, at proteinindholdet fjernes først, inden resten af biomassen via enzymbehandling omdannes til en sukkerplatform, hvorfra mikroorganismer kan producere brændsler, kemikalier eller materialer eller bruges som input i biogasproduktion.



# Fastlåste systemer vanskeliggør omstilling til bioøkonomi

Drøftelser med industrien og andre relevante aktører har afdækket, at der er behov for udvikling inden for flere områder, hvis potentialet i en ny bioøkonomi skal realiseres.

For det første er der behov for proces- og produktionsteknologier, som effektivt kan behandle råstofferne, så man opnår de rigtige mellemprodukter og slutprodukter.

Hvis teknologierne skal udvikles og forfines, og hvis virksomhederne skal kunne foretage de rette investeringer, skal de nye bioøkonomiske værdikæder de skal indgå i anerkendes og stabiliseres. De miljø- og klimamæssige bæredygtige løsninger skal også være økonomisk bæredygtige. Biologisk produktion er omfattet af en lang række regler, som bl.a. skal beskytte forbrugerne. Og der eksisterer en omfattende infrastruktur, som skal håndtere råvarerne, transportere dem, efterprøve kvaliteten mm. Desuden har de fleste lande, også Danmark, politiske strategier for udviklingen af landbrug, skovbrug, fiskeri, fødevarer- og ingrediensindustri mv. Derfor er der behov for at fokusere på bredere og mere omfattende politikker og tiltag, der kan regulere den nye bioøkonomis rolle i samfundet. Her oplever danske virksomheder og startups, at der kan ske forbedringer og forenklinger, som det fremgår af denne rapport cases og anbefalinger.

Det er vanskeligt at omstille samfundet til bioøkonomi, fordi de eksisterende systemer (for produktion, forbrug, logistik, affaldshåndtering, innovation osv.) har udviklet sig over lang tid og er fastlåst i specifikke kapaciteter, processer og relationer, der er svære at bryde. Stiafhængighed betyder, at beslutninger der skal træffes i dag, afhænger af den historiske udvikling af viden og af tidligere beslutninger om investeringer i infrastruktur, produktionsudstyr, marketing, uddannelse, mv. Omstillingen er på den måde begrænset af samfundets eksisterende viden, fysiske og økonomiske indretning og af aktørernes indbyrdes relationer, praksis, og måde at forstå verden på.

Det betyder, at virksomhedernes beslutninger om, hvordan de anvender og omsætter organiske restprodukter og sidestrømme, ikke kun afspejler de tekniske muligheder, men også påvirkes af socioøkonomiske og

lovgivningsmæssige faktorer, forholdene i etablerede værdikæder, samt forbrugernes værdier og vaner. Alt sammen skaber det inertie og besværliggør forandringer.

Omstillingen til bioøkonomi kræver derfor systemiske forandringer, der omfatter mange forskellige aktører og ressourcer og spænder over adskillige sektorer - fra sundhed og kemisk industri til primær produktion (fx landbrug og fiskeri), forarbejdning (fx mejeri og slagteri), og energi. En omstilling fra gamle til nye værdikæder, der går på tværs af sektorer og sammenvæver reststrømme på nye måder, kræver fundamentale ændringer. Ændringerne omfatter teknologi, produktionsformer, infrastruktur, logistik, forbrugsmønstre, regulering og politik.

Selvom de eksisterende kompetencer, værdier og praksisser i etablerede værdikæder bidrager til at forstærke stiafhængigheden i produktions- og forbrugssystemer, er det de samme kompetencer, værdier og praksisser, der kan bruges til at 'unlocke' udviklingen og etablere nye værdikæder i bioøkonomi. Det kan ske gennem teknologiske landvindinger, men oftest er omstillinger i denne størrelsesorden drevet af institutionelle forandringer på flere niveauer. Det vil sige ændringer i normer og værdier hos forbrugerne, i virksomheder, og i resten af samfundet. Og det kræver politiske instrumenter, der favner bredere end de traditionelle virkemidler, herunder en koordinering af indsatser på tværs af ministeriernes ressortområder.

Samlet set kan man sige, at teknologisk udvikling er nødvendig, men ikke tilstrækkelig for omstillingen til bioøkonomi. Systemiske forandringer i denne skala og kompleksitet kræver forandringer på mange niveauer. Især kræver det et mix af politiske instrumenter, der på den ene side kan guide vidensproduktion og vidensdeling i udviklingen af nye teknologier, produktionsformer og infrastruktur, og på den anden side skal instrumenterne understøtte nye værdier og forventninger til fremtiden, og skabe læring der bidrager til en bæredygtig omstilling.

# Seks vigtige tendenser

Sektorudviklingsprojektet har afdækket seks tendenser, som præsenterer muligheder og udfordringer, der er centrale for udviklingen af bioøkonomi over de kommende år. Tendenserne peger på betydningen af proces- og produktionsteknologier for løs-

ningen af store globale udfordringer og på de systemer, der skal skabes og vedligeholdes for at sikre løsningernes effektivitet. På de følgende sider præsenterer vi tendenserne og ledsager dem med cases fra danske virksomheder.









---

Tendens 1:

# Kaskadeanvendelse og flere produkter ud fra samme råvarer og processer



Tidligere var der tendens til, at bioøkonomi enten handlede om at producere biobrændsler eller om at producere fødevarer eller ingredienser, materialer og kemikalier. I dag satser stadig flere på kaskadeanvendelse for på den måde at forløse det fulde potentiale af bioressourcerne. Alt efter, hvilket materiale der er tale om, må produktionerne planlægges, så det teknisk er muligt at bevare værdien af sidestrømmene. I takt med, at vi identificerer flere og flere teknologier og metoder til at værdisoptimere sidestrømmene, vil der vise sig nye muligheder for at udvikle nye værdikæder og skabe vækst.

I mange lande, bl.a. USA og Kina, har motoren i udviklingen af bioøkonomi været energisektoren. Dette har fordret at biomasse er brugt til afbrænding fremfor andre anvendelser. Det samme er ikke tilfældet i Danmark, om end energisektoren har været en vigtig primus motor for bioøkonomi. Danske virksomheder har også konkurrencefordele på ikke-energi-relaterede nicheområder inden for bioøkonomi. Blandt andet har Det Nationale Bioøkonomipanel fremhævet mulighederne i kaskadeanvendelse og nye værdikæder. Der er dog stadig eksempler på silotænkning. For eksempel i forbindelse med finansiering af forskning og udvikling i energi og fødevarer, der er opdeltede forskningsområder. I EU tyder meget på, at der i det 9. rammeprogram Horizon Europe bliver lagt meget større vægt på tværsektorielle og tværvidevidenskabelige tilgange til forskning og udvikling, end tilfældet er i det nuværende Horizon 2020 program.

Silotænkning gør sig til en vis grad også gældende teknologisk. Et eksempel er størrelsen og karakteren af forarbejdningsanlæggene. Ordet "bioraffinaderi" er slået an, og det er også dækkende i den forstand, at der sker en lang række udviklede, indbyrdes forbundne processer, som munder ud i en vifte af slutprodukter - ligesom på et olieraffinaderi. Men desværre opfattes bioraffinaderi ofte som noget, der behandler meget store mængder af biomasse og producerer store mængder af den samme vare.

Hvis man udelukkende vil producere en bestemt type biobrændsel som fx bioethanol, og det skal være konkurrencedygtig i forhold til benzin og andre biobrændselsproducenter, er man nødt til at have en stor mængde biomasse, og dermed et meget stort bioraffinaderi, for at levere et overskud. I nogle sammenhænge kan det være fornuftigt med store anlæg, mens det i andre sammenhænge kan være en fordel med mindre anlæg. En pointe i den nye, bredere version af bioøkonomi er, at virksomhederne ikke bliver afhængig af et enkelt markedsparameter. Når den samme råvare forarbejdes til en vifte af forskellige produkter, bliver der mange flere muligheder for at trimme driftsøkonomien ud over at søge stordriftsfordele. Det betyder også behov for virksomhederne for at alliere sig med folk og virksomheder på nye ekspertiseområder. Det åbner for nye strategier for virksomheder og startups, der kan finde nichepositioner inden for produktion af energi, fødevarer, medicin og andre produkter. Der kan være fordele ved mellemstore og mindre anlæg, der fleksibelt kan producere forskellige typer af højværdiprodukter fra biomasse. Samtidig kan eventuelle sidestrømme fra anlæggene bruges til at producere for eksempel gødning, biogas og varme. I mange situationer vil det være muligt at ændre forholdet mellem mængderne af forskellige slutprodukter alt efter markedssituationen.

For at det kan være rentabelt for virksomheder og startups at investere i nye nicheproduktioner, skal det være muligt at få godkendt og afsat sine produkter, ligesom der skal være en infrastruktur for at kunne rekvirere teknologi og en stabil forsyning af bioressourcer.



## Novozymes:

# Kaskadeproduktion er nødvendigt i Danmark

Novozymes' hovedprodukt er industrielle enzymer. Enzymer er biologiens katalysatorer. Det vil sige stoffer, der fremmer bestemte reaktioner mellem andre stoffer uden selv at blive forbrugt. Der bliver benyttet en lang række enzymer, som er inspireret af naturen og videreudviklet, så de egner sig til at indgå i industrielle sammenhænge. De største anvendelser er inden for vaskepulver, foder og fødevarerforarbejdning samt erstatning af kemiske processer i tekstil-, læder- og papirindustrien.

Novozymes er indbegrebet af fremtidens bioøkonomi. Dels fordi virksomhedens egen produktionsmetode er bioteknologisk, og dels fordi netop enzymer bliver centrale for værdiskabende omdannelse af biomasse, fx i bioraffinaderier.

"I dansk sammenhæng er kaskadeproduktion ikke kun ønskeligt, men også nødvendigt," siger Claus Crone Fuglsang, Senior VP, Research & Technology, Novozymes. "I varmere lande, hvor forholdene egner sig til produktion af soja, er man bedre stillet. Olieafgrøder som sojaolie har så høj værdi, at det i sig selv dækker en stor del af omkostningen ved produktion og processering. Det vil sige, at hvis man kan finde måder at udnytte sidestrømmene, har man allerede fået betalt den grundlæggende processering, der har åbnet strukturerne. I Danmark er det nærmeste rapsolie, men også her vil man være nødt til at skabe sidestrømme af relativt høj værdi for at få økonomi i et bioraffinaderi."

Kaskadeanvendelse vil kræve, at man fraktionerer biomassen - lige som på et traditionelt raffinaderi, hvor råoliens forskellige bestanddele bliver udnyttet meget forskelligt.

"Vi er kun lige begyndt på arbejdet med at finde ud af, hvordan denne fraktionering bedst kan ske. I Novozymes har vi især været involveret i projekter inden for biobrændstoffer. Her har hovedfokus været at omdanne fiberdelen af biomassen til sukkerforbindelser, som det igen er muligt at omdanne til biobrændstoffer ved hjælp af fermente-

ring. Men denne strategi efterlader store fraktioner, som vi stadig ikke har fundet den rigtige opskrift på at udnytte. Her tænker jeg især på proteiner og lignin. Der har været udført meget store forskningsprogrammer med det formål at få værdi af lignin over hele verden. Man er lykkedes med rigtig meget forskningsmæssigt. Men samtidig er det en stående vittighed i branchen, at man kan alt med lignin - undtagen at tjene penge!"

Desværre er der ingen simpel opskrift på at gøre den nye form for bioøkonomi rentabel, erkender Claus Crone Fuglsang:

"En af årsagerne til, at man især har satset på biobrændstoffer, er, at energiområdet i forvejen er politisk reguleret. Forbrugerne betaler jo ikke den reelle markedspris for de forskellige former for energi. Derfor er der også et spillerum for, at man fremmer biobrændstoffer politisk. Det ser man for eksempel gennem krav i USA og i EU om, at der skal blandes en vis mængde biobrændstof i fossilt fremstillet brændstof. Men du vil aldrig kunne slippe afsted med at stille krav om, at en vis mængde af protein i foder eller fødevarer skal være fra bioraffinaderier. Her vil du være overladt til markedskræfterne. Det vil sige, at næringsværdien i dine proteiner skal være så høj relativt til prisen, at det kan betale sig for landmændene og forbrugerne at købe dem."

### Righoldig kilde til aromater

"Den eneste politiske måde, som jeg kan forestille mig, at nye former for proteiner kan fremmes på, er indirekte i form af klimaafgifter. Formentlig vil det være muligt at fremstille proteiner med lavt klimaftryk i bioraffinaderier. På den måde vil de nye proteiner få en konkurrencefordel. Men det har formentlig lange udsigter," siger Claus Crone Fuglsang med henvisning til de sparsomme fremskridt i de internationale forhandlinger om CO<sub>2</sub>-kvoter.

"Samtidig er det et praktisk problem at indrette den form for mekanismer på en måde, der er retfærdig i forhold til de forskellige typer af virksomheder og teknologier."

Større optimisme har Novozymes-direktøren med hensyn til teknologiske gennembrud:

”Det, som virkelig kan flytte området, vil være teknologiske gennembrud, som gør det muligt at øge værdien markant af især proteiner og lignin. Der foregår interessant forskning inden for nye afgrøder, blandt andet græsser, med særlig højt proteinindhold. Og man må ikke glemme, at lignin er en enestående righoldig kilde til aromatiske forbindelser – rigere end nogen anden kilde i naturen. Men vi mangler stadig at finde en rentabel måde at isolere enkelte aromater til videre processering.”

### **Vi kan ikke recirkulere os ud af alt**

Indtil det store teknologiske gennembrud er der dog mindre fremskridt at glæde sig over:

”Det er for eksempel udmærket, at man kan udnytte sidestrømme fra landbrugsproduktionen til at fremstille præbiotiske fibre, der er gode for fordøjelsen. Men det vil trods alt kun dreje sig om nyttiggørelse af mindre mængder af biologisk materiale. Hvis vi virkelig skal få bioøkonomi til at rykke, er vi nødt til at skabe gennembrud, hvor man giver bulk-mængder af materiale højere værdi. For eksempel ved at fremstille proteiner med højere foderværdi.”

Apropos bulk-mængder har Claus Crone Fuglsang et indspark til den offentlige debat:

”Nogle gange synes jeg, at bioøkonomi bliver klemt af diskussionen om cirkulær økonomi. Man får næsten det indtryk, at vi kan recirkulere os ud af alle problemer. Der skal nu engang være en input-strøm til vores forbrug. Her er det jo vigtigt, at denne input-strøm bliver baseret på biologiske råmaterialer. Det er den eneste måde at komme ud af vores afhængighed af ikke-fornybare ressourcer. Cirkulær økonomi er også vigtigt, men det er væsentligt, at den hviler på bioøkonomi.”



Novozymes og en række andre partners fælles anlæg til håndtering af rest-biomasse i Kalundborg. Kilde: Novozymes

## Fermentation Experts: Raps og tang får større foderværdi

Virksomheden Fermentation Experts fremstiller ingredienser, der øger næringsværdien af dyrefoder. Det sker ved hjælp af mælkesyrebakterier og enzymer. I sig selv har metoden, som kaldes fermentering, været brugt i mere end tusind år. Et af de kendte eksempler er fermenteret kål, sauerkraut. Det nye er, at Fermentation Experts er i stand til at få større værdi ud af råvarer som raps og tang.

"I takt med, at der bliver flere mennesker på kloden, vil vi se, at produkter som majs og soja i stadig højere grad skal indgå i fødevarer. Dermed bliver vi nødt til at opgradere andre proteinkilder til at indgå i foder, og det er her, vores teknologi kommer ind i billedet," siger adm. direktør Jens Legarth, Fermentation Experts.

For eksempel kan fermentering øge værdien af raps i svinefoder, så dyrene udnytter 85 pct. af proteinindholdet i rapsen mod traditionelt 75 pct. Også næringsstofferne kvælstof og fosfor bliver udnyttet bedre. Det er en dobbelt fordel. For når dyrene optager kvælstof og fosfor bedre, er der mindre mængder af de to næringsstoffer, som ryger ud i gyllen og dermed kan havne i vandmiljøet.

### Mindsker behovet for antibiotika

Forskere ved DTU har samarbejdet i flere projekter med Fermentation Experts om udvikling og afprøvning af metoder og produkter. Bl.a. er sundhedsegenskaberne af ingredienser til svinefoder undersøgt i forsøg i fuld skala. Det er vist, at de fermenterede ingredienser forbedrer grisenes tarmflora. Det giver en naturlig beskyttelse mod en række sygdomme. Derved kan landmændene spare forbruget af antibiotika.

"Filosofien er, at vores teknologi meget gerne skal gavne på mere end en enkelt måde. Hvis vi udelukkende skulle slå på den ekstra proteinværdi, havde vi måske ikke en forretning. Men når vi også udnytter kvælstof og fosfor bedre, opnår lavere miljøpåvirkning og endelig bidrager til at mindske forbruget af antibiotika, jamen så hænger det sammen. Det er mange bække små, der skaber den gode business case," siger Jens Legarth.

Det faktum, at virksomheden bidrager til bioøkonomien ved at tilføre upåagtede råvarer større værdi, har ikke den store betydning ifølge direktøren:

"Vores kunder er jo landmændene. De kigger ikke på, om vi udnytter de biologiske ressourcer bedre. De kigger på kr. og øre her og nu."

### Fermentering giver sundere tarmflora

For to år siden stiftede virksomheden datterselskabet FermBiotics, som i princippet benytter den samme teknologi, men blot sigter på produkter til mennesker frem for til dyr.

"Det giver en betydelig forskel i markedssituationen. I forhold til dyrefoderet har vi som sagt en stribe salgsargumenter. I forhold til produkter til mennesker er sundheden det eneste argument, der tæller," forklarer Jens Legarth.

Han forventer, at FermBiotics meget snart vil få et slagkraftigt salgsargument.

"Der tales en del om resistente bakterier. Alligevel er det som om, at danskerne ikke helt har fået øjnene op for, hvor alvorlig situationen er. Hvis man læser verdenssundhedsorganisationen WHO's rapporter, er det tilsyneladende kun et spørgsmål om kort tid, før vi vil få virkelig store problemer. Når det sker, vil mange indse, at der er behov for at bekæmpe de resistente bakterier på en ny måde."

Virkemåden af fermenterede ingredienser er helt anderledes i forhold til antibiotika. De fermenterede ingredienser angriber ikke bakterierne direkte, men ændrer tarmfloraen. Derved får andre typer af bakterier bedre betingelser og holder de sundhedsskadelige bakterier nede.

"I dag er forbrugerne ganske vist villige til at betale mere for kød, der er produceret uden brug af antibiotika, men det må kun være nogle få øre ekstra. Om fem år tror jeg, at der vil være langt større betalingsvillighed. Samtidig er jeg overbevist om, at folk vil være villige til at betale for produkter, der giver en sundere tarmflora hos os selv."



## Beyond Coffee:

# Svampen østershat gror godt i kaffegrums

Siden 2015 har den unge virksomhed Beyond Coffee indsamlet kaffegrums fra cafeer, restauranter og virksomheder i hovedstadsområdet. Kaffegrumset, der ellers blot ville være affald, indeholder næringsstoffer, som svampen østershat kan udnytte i sin vækst. Med den rette temperatur i de containere, der indeholder virksomhedens produktion, tager det blot fire-fem uger, før svampene er klar til høst.

Når svampene høstes, forbliver deres rodnet tilbage i kaffegrumset. Rodnettet er i stand til at producere proteiner. I samarbejde ved forskere med DTU Bio-engineering har Beyond Coffee undersøgt hvordan denne råvare kan udnyttes til nye produkter, og opdagede, at de kunne producere et proteinpulver med umami-smag, der kan bruges af fødevarerindustrien i udviklingen af nye velsmagende produkter.



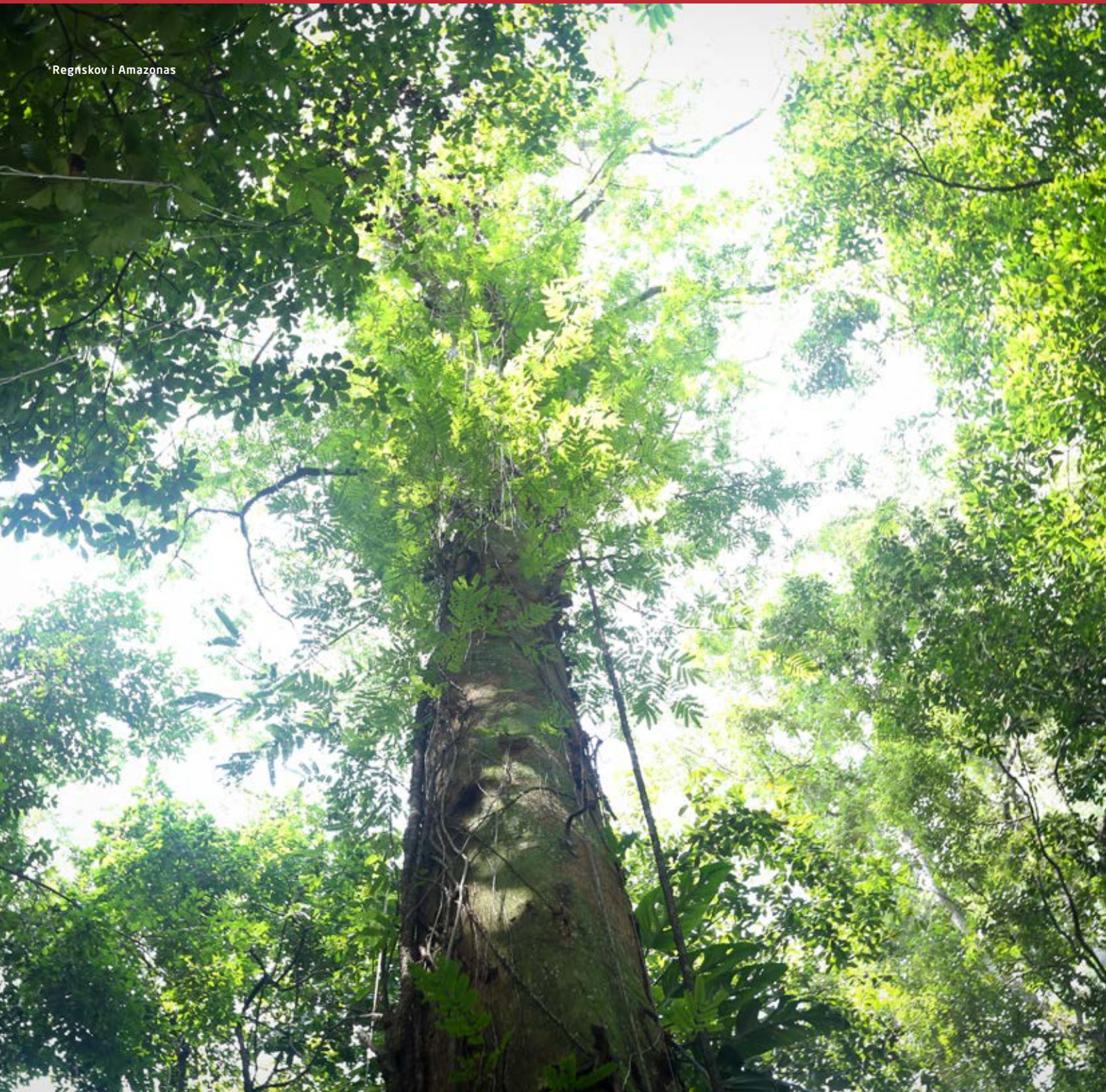


---

Tendens 2:

# Presset på Jordens arealer vokser

Regnskov i Amazonas





Vi bliver flere mennesker på kloden. Ifølge FN vil befolkningstallet i verden stige fra 7,7 milliarder i 2017 til mellem 9,4 og 10,2 milliarder i 2050 (UNDESA, 2017). For det første betyder befolkningstilvæksten, at byerne vokser og lægger beslag på nærtliggende arealer, der hidtil har været landbrugsjord eller skov. For det andet stiger den samlede efterspørgsel efter mad og andre biobaserede produkter. Det skaber både behov for mere dyrkning af korn, ris og andre afgrøder til mad samt græsningsarealer til kvæg, men i høj grad også til dyrkning af mere korn og soja og en lang række andre afgrøder, der skal bruges til foder for kvæg, svin, kyllinger mv.

Hidtil har landbruget imødekommet den stigende efterspørgsel dels ved at blive mere effektivt per arealenhed, dels ved simpelthen at opdyrke nye landområder. Nu begynder man imidlertid at nå grænsen for, hvor meget mere effektivt landbruget kan blive med de nuværende løsninger, og for, hvor meget landbrugsarealerne kan udvides. Det betyder, at der bliver stadig større behov for bioøkonomiske løsninger, der forebygger spild, så man opnår et højere udbytte af råvarer fra det areal, som er til rådighed.

Samtidig er der behov for råvarer, som ikke kræver landarealer. Det vil især sige tang-, fiske-, skaldyrsofdræt, bæredygtig fangst af nye fiskearter og hvirvelløse dyr samt indhøstning af alger, tang mv.

Endelig er der begyndt at komme interesse for løsninger, hvor man helt afkobler produktionen af biologiske råvarer fra traditionel dyrkning af jorden. I dag er det muligt at dyrke proteiner og andre vigtige elementer i vores kost i mikroorganismer som bakterier, svampe og mikroalger - fx ved fermentering. Dyrkningen sker typisk i tanke. Tilsvarende udvikling ses med akvatiske organismer - fisk, skaldyr og alger - som kan dyrkes i recirkuleringsanlæg og i photobioreaktorer for mikroalgers vedkommende. Det betyder, at en udvidelse af produktionen ikke nødvendigvis behøver at lægge beslag på større arealer, da man også kan udvide i højden. En afledt fordel vil i øvrigt være, at udbyttet af produktionen ikke vil blive påvirket negativt af hverken klimaforandringer eller tilfældige udsving i vejret. I mikroorganismer vil det formentlig være relevant i første omgang at producere bestemte typer af proteiner med henblik på at berige kosten eller foder. Senere kan det måske komme på tale at dække en del af selve grundbehovet for næring med produktion i mikroorganismer.

### FN's udviklingsmål

Mange virksomheder forholder sig aktivt til FN's udviklingsmål. Bioøkonomi kan bidrage til at løse mange af de globale udfordringer. For eksempel ved:

1 At udnytte Jordens sparsomme ressourcer og arealer bedre. Det kan gøres ved hjælp af bæredygtige dambrug, recirkulering af næringsstoffer samt udnyttelse af alle organiske sidestrømme, fx ved at udnytte proteiner fra sidestrømmene ved produktion af foder og fødevarer.

2 At mindske udslippene af drivhusgasser. Man kan mindske udslippene ved at skifte fra fossile til biobaserede råstoffer og biobrændsler, og man kan

få yderligere effekt ved at producere flere og bedre produkter af hvert ton produceret foder eller fødevarer samt mere energi per ton biomasse og biogas.

3 At brødføde den voksende befolkning. Det gælder fx når klimaforandringer mange steder i verden fører til usikkerhed med hensyn til høst-udbytte på grund af fx uregelmæssig nedbør og tørke.





## AquaGreen: Når slam bliver en ressource

AquaGreen udvikler og leverer anlæg, der kombinerer damptrøring med pyrolyse (spaltning af organiske forbindelser ved opvarmning under iltfrie forhold). Metoden gør slam, der normalt er et affaldsproblem, til en ressource. For det første recirkuleres indholdet af næringsstoffer i slammet. Det drejer sig især om fosfor, der er essentiel for planters vækst. Der er mangel på geologisk fosfor, som traditionelt har været udgangspunkt for fremstilling af fosforgødning. For det andet udnytter man energiindholdet i slammet og eliminerer i den forbindelse miljøfremmede stoffer samt fjerner tungmetaller som kviksølv, arsen og cadmium. Endelig er det en stor fordel, at man får tørret slammet undervejs. Slam består overvejende af vand, og det er et økonomisk og miljømæssigt problem at køre rundt på landevejene med store mængder vand, for eksempel når man kører gylle til biogasanlæggene.

Udviklingsarbejdet sker i samarbejde med DTU Kemiteknik. Samarbejdet har været så tæt hele vejen, at man kan betragte AquaGreen som en spinout virksomhed fra DTU.

I første omgang satsede virksomheden på Norge, hvor akvakulturindustrien producerer store mængder slam, som dels består af fiskenes afføring, dels overskydende foder. I mange år dryssede slammet bare ned på fjordbunden. Det blev efterhånden uholdbart. Fjordbunden døde simpelthen under burene.

### Proof-of-business i Norge

Miljøproblemerne førte til krav fra de norske myndigheder. Opdrætternes løsning blev at opdrætte laksene i længere tid på land, inden de sættes ud i fjordene eller havet. Målsætningen er, at laksene først sættes ud, når de har opnået en vægt på 1 kilo. På den måde har man mindsket miljøproblemerne i fjordene, men står til gengæld med store mængder slam på land. Det blev grundlaget for, at den danske virksomhed oprettede datterselskabet AquaGreen Norge.

”Vi havde allerede opnået proof-of-concept for vores teknologi, og da AquaGreen Norge giver overskud, har vi nu også proof-of-business. Det åbner for, at

vi kan gå ind i mange flere områder og markeder. Norsk akvakultur skaber betydelige mængder slam, men der er jo endnu større mængder slam mange andre steder,” siger Henning Schmidt-Petersen, partner, AquaGreen.

AquaGreen blev grundlagt i 2014 af Claus Thulstrup, der i dag er adm. direktør og driver virksomheden i partnerskab med Henning Schmidt-Petersen.

Trin to i virksomhedens udvikling er et nyt fuldskalaanlæg hos Vandcenter Syd i Odense, hvor man behandler almindeligt kommunalt spildevandsslam. Desuden er gylle og andre former for husdyrgødning oplagte ressourcer.

”Når man producerer biogas ud fra husdyrgødning, er der stadig 40-50 % af energiindholdet tilbage i det overskydende slam. Denne mængde energi kan man udnytte med vores teknologi, samtidig med, at man mindsker mængden af slam, der skal deponeres.”

### Håndsrækning til forgældede landmænd

Faktisk kan teknologien få meget stor betydning for landbruget, mener Henning Schmidt-Petersen. Han peger på, at reglerne i dag kobler landmandens produktion af gylle sammen med, hvor meget landbrugsareal, han skal eje. Har man mange svin, skal man også eje store arealer af landbrugsjord.

”Denne regel medvirker i høj grad til, at mange landmænd i dag er tynget af større investeringer i jord. Men hvis vi kan forvandle gyllen fra at være et problem til at være en ressource, vil det ikke længere give mening at stille krav om, at landmanden skal købe store arealer. Så kan han koncentrere sig om svineavl, som i øvrigt også har en langt højere afkastgrad. Løsningen forudsætter imidlertid politisk og lovgivningsmæssig vilje til at sikre, at arealkravet til landmanden ikke er relateret til antallet af dyr. I stedet må man fokusere på, at gyllen udnyttes optimalt, og at næringsstoffer som fosfor og kvælstof bringes hen, hvor der er behov for dem.”

Afhængigheden af politiske vedtagelser går igen mange steder inden for bioøkonomi, understreger Henning Schmidt-Petersen:

”Som nystartet virksomhed ville man normalt lægge en strategi, hvor man startede med et bestemt marked - i vores tilfælde norsk akvakultur - og derefter gik målrettet videre trin for trin. Men det politiske element gør det svært at forudsige, hvor mulighederne vil opstå. Derfor føler vi os nødt til at skyde med spredehagl både geografisk og med hensyn til de typer af slam, vi skal gå efter. Men alt andet lige håber vi da, at vi kan komme ind på markeder, der ligger i vores nærområde. Ud over Danmark og Norge har vi forhåbninger til såvel Sverige som Holland og Tyskland. Alle steder er der muligheder for at kombinere udnyttelse af spildevandsslam med produktion af biogas, hvor vores teknologi er ideel.”

#### Stort potentiale i bio-char

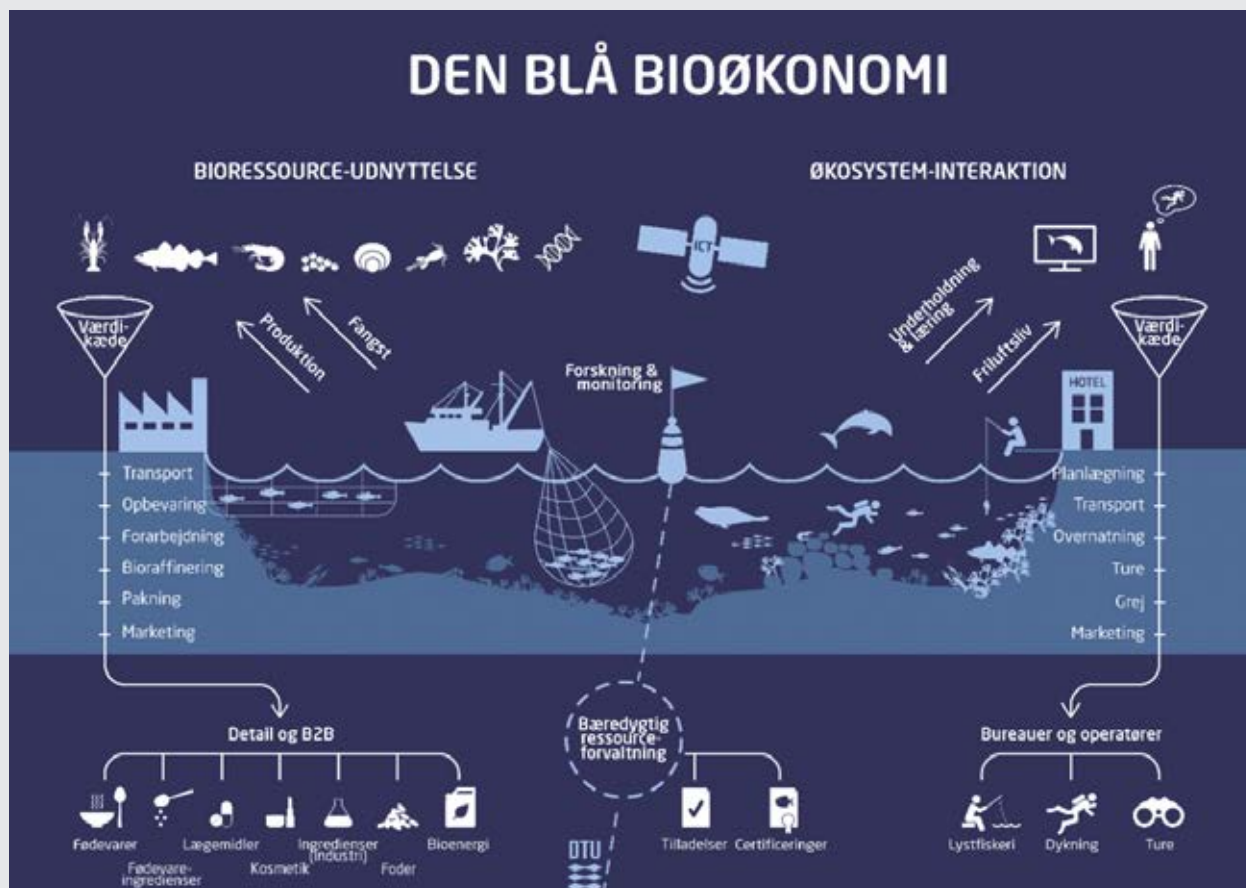
Også på en anden måde er AquaGreen afhængig af markedsforhold, der ligger uden for virksomhedens

kontrol. Ud over at udnytte næringsindholdet og energiindholdet i slammet producerer anlæggene nemlig et koncentreret kulstofprodukt, såkaldt bio-char. Da pyrolyse-processen har varmet materialet op til 650 °C undervejs, er der ingen forurenende stoffer eller sygdomsfremkaldende organismer tilbage.

”Men når du kommer med et nyt produkt, skal du først skabe et marked. Bio-char er en ren kulstof-kilde klar til at blive brugt i gødning. Men fordi udgangspunktet oprindeligt har været slam, er det i dag ikke tilladt for økologiske landmænd at benytte produktet. Det er ikke rationelt. Kul er jo et grundstof, og man kan ikke tale om, at kulstof kan være økologisk eller ikke-økologisk. Så vi arbejder på at få ændret reglerne. Men indtil videre er vi nødt til at sætte vores bio-char til værdien nul, når vi beregner tilbagebetalingstiden på anlæggene. En værdi på nul er trods alt bedre end situationen i dag, hvor man er nødt til at betale for at komme af med sit slam. Men i fremtiden forventer vi bestemt, at bio-char vil bidrage positivt til lønsomheden.”



Anlæg fra Aquagreen



Figur 4: Den blå bioøkonomi. Kilde: DTU Aqua, 2019

### Stort potentiale i den blå biomasse

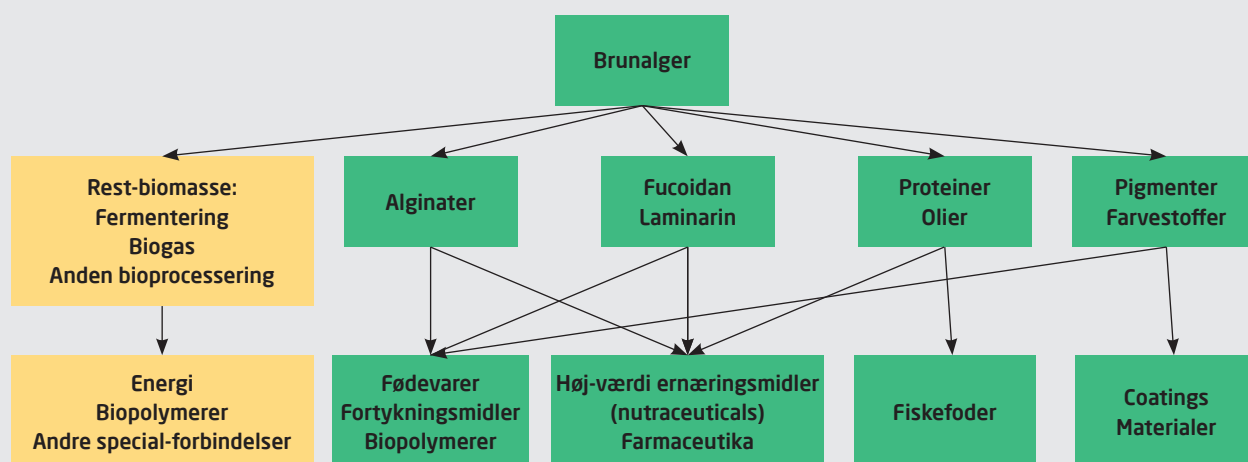
Havet udgør over 70 pct. af Jordens overflade og mere end 90 pct. af de områder, hvor der er liv og dermed biologiske ressourcer. Det er derfor naturligt, at udnyttelsen af havets levende ressourcer - den blå biomasse - i disse år ses som et særligt vigtigt indsatsområde både nationalt og i EU.

I Danmark udgør havet ca. 106.000 km<sup>2</sup>, det vil sige omkring 2,5 gange så meget som det danske landområde. Nogle områder er reserveret til råstofindvinding, havvindmøller m.m., men knap 70 pct. af det danske havareal er frit og kan potentielt bruges til produktion

af blå biomasse som tang, skaldyr, fisk og andre former for biologiske produkter, der kan høstes fra havet. På verdensplan er opdræt af fisk, skaldyr og tang i havet, søer og floder den hurtigst voksende fødevarereproducerende sektor med årlige vækstrater på 8-9 pct. Danmark er her en central aktør som en af verdens største eksportører af fisk og andre seafood-produkter med en eksportværdi på 26,1 mia. kr. i 2016. Denne eksport er drevet af såvel national fangst og opdræt samt en væsentlig import af råmaterialer, som forarbejdes i Danmark.

Den blå bioøkonomi dækker over to typer af anvendelse af akvatiske biologiske ressourcer. Den første type bygger på fangst og produktion af biomasse, mens den anden anvender levende akvatiske organismer som "trækplaster" i forbindelse med fx oplevelsesøkonomien. En intelligent forvaltning af det samlede økosystem er således grundlaget for begge værdikæders bæredygtighed.

Et eksempel på blå biomasse med stort potentiale for udnyttelse er brunalger som fx sukkertang. Tang indeholder mange interessante stoffer og flere bioaktive komponenter end nogen landbaseret plante og kan anvendes til en række produkter ved hjælp af forskellige raffineringsteknologier, fx inden for produktion af fødevarer, medicin og energi (se figur 5).



Figur 5: Blå biomasse — potentialer og udfordringer for opdræt af muslinger og tang.  
Kilde: DTU Aqua for Bioøkonomipanelet, 2016



Tanghøst på Limfjorden



---

Tendens 3:

# Bioøkonomi kan afbøde klimaforandringer



Efterhånden er det grundigt dokumenteret, at det bliver støt varmere på kloden. Det står også klart, at menneskeskabte klimaforandringer kan få ødelæggende konsekvenser i mange lande. Med COP-processen og FN's klimatopmøder i København i 2009 og i Paris i 2017 som to af milepælene har verdens lande gennem flere årtier forsøgt at finde fælles fodslag. Imidlertid har COP-processen fokuseret på at begrænse energisektorens udslip af CO<sub>2</sub>. Landbrug og fødevarereindustri er også et område, hvor der er muligheder for forbedringer i forhold til klimaregnskabet. Det gælder både selve produktionen og den efterfølgende håndtering af organisk affald. Sektorerne udleder dels store mængder CO<sub>2</sub>, dels andre drivhusgasser, ikke mindst metan. Derfor er det ved at gå op for mange, at bioøkonomi ikke blot er en måde at brødføde verdens befolkning, men også en central faktor for at verden skal kunne leve op til Parisaftalens målsætninger om at holde den globale opvarmning under 2 eller endog 1.5 grader.

Nærmere bestemt kan bioøkonomi bidrage til at beskytte klimaet ved:

- At erstatte fossile råvarer og brændsler med bæredygtige, vedvarende biobaserede løsninger.
- At minimere mængden af organisk affald, som i dag udgør 33 % af den samlede mængde affald på globalt plan. Det kan ske ved at udnytte det fulde potentiale i landbrugsproduktionen - både af dyr og planter - så en større andel af råvarerne bliver nyttiggjort og et mindre areal derved skal anvendes til primær produktion, som er kilde til store mængder drivhusgasser.
- At inddrage nye råvarer til produktion af mad og foder - for eksempel biomasse fra havet.
- At udnytte CO<sub>2</sub> og andre drivhusgasser som ressourcer i produktionen af foder, brændstoffer og kemikalier - i stedet for at gasserne slippes ud i atmosfæren.
- At mindske udslippene af metan ved produktionen af kød, fx ved forbedret foder.

## Unibio:

# Forvandler et klimaproblem til mad

Under varemærket UniProtein producerer Unibio protein ud fra metan. Det sker ved hjælp af den patenterede fermenteringsteknologi U-Loop, hvor bakterier med forkærlighed for metan (metanotrofe bakterier) spiser kulstof fra metan. Slutproduktet er et rødt pulver med god ernæringsværdi, der egner sig til foder. Produktet er testet til laks, kalve, svin og kyllinger med godt resultat. Med et proteinindhold på 72,9 pct. er UniProtein fuldt på højde med de bedste fiskemels- og sojabaserede proteintilsætninger til foder. UniProtein bidrager til at beskytte klimaet på to måder. For det første ved at erstatte produkter som forarbejdet soja, hvor sojaen transporteres til Europa fra primært Sydamerika og USA. For det andet fordi man omsætter metan, der er en væsentligt kraftigere drivhusgas end CO<sub>2</sub>, til dyrefoder og dermed indirekte til fødevarer. Mange steder i verden får man metan med op, når man udvinder olie, men for at slippe for omkostninger ved at håndtere metanen bliver den bare brændt af med det samme. Det kaldes "flaring". Den nigerianske regering annoncerede for nylig, at den har indgået en aftale om at undersøge nyttiggørelse af metan fra landets olieproduktion "i samarbejde med en virksomhed". Denne virksomhed er Unibio.

"Ifølge vores beregninger kan den metan, som hver dag bliver brændt af i Nigerias olieproduktion, omsættes til råvarer til proteinpulver til en markedsværdi af ca. 35 millioner USD, hvis man kunne indfange og behandle al metanen. Ud over den økonomiske værdi vil det være et stort bidrag til at skaffe mad nok i et land med 180 millioner indbyggere, hvoraf halvdelen er under 20 år. Samtidig vil man løse dels et flaring-problem, dels et klimaproblem," siger Henrik Busch-Larsen, CEO, Unibio Group.

### USA's olieproduktion kan ses fra rummet!

Unibio har dog kig på flere markeder.

"Vores teknologi er relevant alle steder, hvor der er tilgang til billig metan. Det har man for eksempel i USA i forbindelse med indvinding af tjæreholdig olie. For et par år siden rapporterede Financial Times, at USA's olieproduktion nu kan observeres fra rummet. Det man ser på satellitbillederne, er metan, som bliver "flaret", og det lyser lige så meget op som hele Chicago!"

UniProtein blev godkendt til brug i dyrefoder i EU i 1995 og kom i EU's foderkatalog i 2011. I 2016 åbnede Unibio sin første demonstrationsproduktion i semi-industriell skala i Kalundborg. Forud er gået en række år med drift på et pilotanlæg hos DTU i Lyngby. I 2018 idriftsatte selskabets første kunde det første fuldskala industrielle anlæg i Baltikum.

"Vi har været tæt relateret til DTU hele vejen. Ud over pilotanlægget, som står hos DTU Kemiteknik, har vi adgang til et laboratorium hos DTU Bioengineering, og vi har et samarbejde med DTU Compute om intelligent styring af produktionen. Det er min fornemmelse, at kun ganske få universiteter i Europa vil være i stand til at rumme et anlæg, der skal køre fermentering i et industrielt set-up. Anlægget skal have stabil forsyning af ilt, metan og damp, og det skal køre 24-7, som regel mange uger i træk. Stor ros til DTU Kemiteknik. Så vi har fået meget ud af samarbejdet - og vi håber da også, at DTU har fået meget ud af det i forhold til deres forskning og uddannelse."



## BWSC:

# Udnyttelse af halm og affaldstræ giver god mening

I 1990'erne gik Burmeister & Wain Scandinavian Contractor (BWSC) ind i udviklingen af kedler til effektiv forbrænding af biobrændsler, primært halm og affaldstræ, i Danmark. Virksomhedens arbejde med forbrænding af biomasse blev støttet af Energistyrelsen. Projekterne skete i samarbejde med forskergrupper ved DTU Kemiteknik og DTU Mekanik.

"Afbænding af affaldstræ er der også andre, som kan, men halm er en meget stor udfordring. Det er især her, vi kan levere noget, der er enestående også i international sammenhæng. Indien og andre lande oplever nemlig store problemer med luftforurening grundet ukontrolleret afbænding af halm på markerne," siger Martin Wittrup Hansen, direktør for BMSCs kedelafdeling.

Halm er på flere måder besværligt som brændsel. For det første er brændværdien beskeden. For det andet er der variationer i halmens sammensætning over året og fra sæson til sæson. For det tredje indeholder halm forskellige salte og alkalimetaller, som potentielt kan skabe korrosion eller belægninger i kedlerne.

### Hemmeligheden ligger i slaggelaget

Det stod hurtigt klart, at det ikke var muligt at benytte de samme kedler, som bruges til afbænding af kul.

"Der er udviklet og valgt særlige legeringer til de kedler, der benyttes til biomasse. Samtidig lykkedes det i samarbejde med forskerne på DTU at vise, hvordan man kan slippe for problemer med korrosion og belægninger. Når man designer processen rigtigt med hensyn til tryk, temperatur og en række andre forhold, dannes der et slaggelag på kedlens overflade. Vel at mærke et lag, som virker beskyttende i forhold til korrosion, men som samtidig ikke forstyrrer driften. Laget vokser sig nemlig ikke tykkere, hvis man har den korrekte ligevægtstemperatur. Så vil asken dryppe kontrolleret af, så slaggelaget hele tiden har den ideelle tykkelse," forklarer Martin Wittrup Hansen.

Kedlerne fra BWSC er en væsentlig del af omstillingen i den danske energisektor, hvor biomasse gradvist skal afløse kul. Desuden har virksomheden gennem det seneste årti overført erfaringerne til bl.a. Storbritannien, hvor der til dato er etableret 12 projekter. De nye britiske anlæg har kapacitet fra 20 til 40 MWe. Det svarer til, at et gennemsnitligt anlæg kan forsyne ca. 50.000 husstande med elektricitet. Dertil kommer varme.

### Bioenergi stabiliserer energisystemet

Med andre ord har udviklingsprojektet skabt en eksportsucces.

"Det er i høj grad det udviklingsarbejde, som blev grundlagt i 1990'erne, som vi stadig rider videre på. Jeg mener, at samarbejdet med DTU er et unikt eksempel på, hvor langt man kan nå gennem et samarbejde mellem forskere og en virksomhed."

Umiddelbart ser direktøren ingen forhindringer for fortsat vækst inden for udnyttelse af energi fremstillet ud fra biomasse:

"Bioenergi er jo allerede højt prioriteret i dansk energipolitik. Det giver god mening. El og varme produceret ud fra biomasse giver en grundlast, som der er brug for særligt i de perioder, hvor produktionen af vindkraft og solenergi falder."

---

Tendens 4:

# Bioøkonomi skaber forretning og lokal udvikling



Korskro Biogasanlæg. Kilde: Nature Energy

Mange danske landområder oplever stagnation. De unge flytter ind til byerne efter uddannelse eller arbejde og vender ikke nødvendigvis tilbage. Efterhånden er der for få børn til, at den lokale skole kan opretholdes, og købmanden kan ikke længere få økonomien til at løbe rundt.

I en række danske kommuner har man fået øjnene op for, at bioøkonomi tilbyder en chance for at vende den negative spiral til en positiv. Mens virksomhederne inden for andre væksterhverv har en klar tendens til at placere sig i de større byer, så er bioøkonomi i sagens natur afhængig af adgang til råvarer. Derfor vil bioøkonomiske virksomheder typisk foretrække at ligge, hvor der er gode forsyninger af biomasse, hvad enten den er animalsk eller vegetabilsk, land- eller vandbaseret.

Placeringen af bioraffinaderier og andre anlæg kan understøtte lokal erhvervsudvikling. En række danske kommuner, regioner og lokale producenter har allerede taget teten og skabt et godt fundament for at blive en del af omstillingen. Med i dette billede hører også, at bioøkonomi adskiller sig fra andre højteknologiske industrier ved sin efterspørgsel efter arbejdskraft. Der er bestemt brug for højtuddannede, men i høj grad også for medarbejdere med korte og mellemlange uddannelser.

Bioøkonomi inviterer til udvikling af nye forretningsmodeller og også til at genopfinde gamle forretningsmodeller. For eksempel kan der være inspiration at hente i andelsmodeller, hvor producenter af biomasse er medejere af anlæg til forarbejdning og distribution. Både i dag og historisk er der eksempler på, at kooperative forretningsmodeller har været med til at sikre de fornødne mængder af biomasse, der kan få bioøkonomi til at løbe rundt.

Der kan være behov for at justere på sammensætningen af produkter for at få en bedre driftsøkonomi og bedre udnyttelse af samfundets ressourcer. Men der kan også være store geografiske forskelle på for eksempel klima, jordbundsforhold eller nærhed til kyster, der betinger, hvilke typer biomasse der er tilstede. Mange andre typer af højteknologiske virksomheder kan i princippet placeres nærmest hvor som helst i Danmark, men bioøkonomi er særlig på den måde, at den fungerer bedst, når den er forankret og tilpasset bestemte steder og der er opbygget en værdikæde. Først og fremmest skal der være gode betingelser for at skaffe de rigtige råvarer. Desuden skal der opbygges en infrastruktur med god adgang til bioråvarer og faciliteter til raffinering. Endelig skal man undgå, at store mængder materiale skal transporteres langt.



## Guldborgsund Kommune:

# Kaskadeudnyttelse af quinoa i Guldborgsund

Guldborgsund Kommune er en af de danske kommuner, som satser på bioøkonomi.

“Vores vigtigste motiv er forventningen om, at bioøkonomi vil kaste arbejdspladser af sig. Vel at mærke går vi ikke kun efter arbejdspladser inden for dyrkning af biomasse, men også de følgende led med forarbejdning. På den måde kan vi tiltrække borgere med en vifte af kompetencer – både folk med kort, mellem- og lang uddannelse. Den form for mangfoldighed er interessant for os”, siger programkoordinator Mette Jørgensen, Bioøkonomi – Erhverv og Udvikling, Guldborgsund Kommune.

I samarbejde med bl.a. Center for cirkulær bioøkonomi/AU, Innovationscenter for Biomasse samt Business Lolland-Falster afholder Guldborgsund Kommune en årlig konference om bioøkonomi.

“Vi vil gerne inspirere erhvervsfolk, landmænd og andre fra vores område ved at sørge for, at førende eksperter i bioøkonomi kommer fysisk til stede. Men endnu bedre er det jo, når det ikke kun er os, som slår på tromme for bioøkonomi, men aktive borgere og virksomheder fra lokalområdet, som henvender sig til os. Det sker heldigvis jævnligt, og det er så vores opgave at knytte de relevante kontakter til forskning og vidensinstitutioner og projekter, hvor ideerne kan prøves af.”

### Quinoa som ny værdikæde

Et eksempel er dyrkning af quinoa. Planten, der stammer fra Sydamerika, har ikke tidligere været dyrket i Danmark, men nu er en række lokale landmænd i færd med at etablere en helt ny værdikæde i samarbejde med en mindre virksomhed. Business Lolland-Falster har faciliteret samarbejdet. Quinoa, som traditionelt dyrkes i Andesbjergene, har mange positive ernæringsmæssige egenskaber og dermed mange muligheder for anvendelse og raffinering.

“Ambitionen er, at værdikæden fra starten udvikles med kaskadeudnyttelse af hele planten for øje. Det vil være nyt,” siger Mette Jørgensen og understreger, at kommunen ikke har nogen begrænsninger med hensyn til, hvilke typer af biomasse, der kan være aktuelle for udvikling af nye værdikæder og produkter.

“Vi vil nødtigt risikere at overse noget, som er spændende. Har man en ide, vil vi typisk prøve at koble folk sammen med forskere eller andre eksperter, der kan give råd og eventuelt teste, om denne type biomasse eller restbiomasse har et uudnyttet potentiale. Vi sparrer bl.a. tæt med DTU, som er et vigtigt omdrejningspunkt inden for bioøkonomi.”

### Sukkerspildevand bliver til ravsyre

Et projekt inden for bioøkonomi med stærk involvering fra DTU foregår netop i Guldborgsund Kommune. En forskningsgruppe ledet af professor Irini Angelidaki, DTU Miljø, har udviklet en ny metode, der på en gang renser og udnytter spildevand fra sukkerfabrikker. Udviklingen sker i samarbejde med virksomheden Nordzucker, som har købt denne del af det tidligere Danisco. Ved at kombinere udnyttelse af det sukkerholdige spildevand med CO<sub>2</sub>, som man får som restprodukt ved opgradering af biogas, kan man fremstille ravsyre. Dette produkt er særdeles nyttigt og kan blandt andet bruges til fremstilling af bioplast. Metoden virker i laboratoriet, og snart skal den testes hos Nordzucker. Det bliver på sukkerfabrikken i Nykøbing Falster, Guldborgsund Kommune.

“Store virksomheder som sukkerfabrikken skaber selv de vigtige kontakter i forskningsverdenen. Man kan betragte sukkerfabrikken som et primært bioraffinaderi, og vi glæder os over, at virksomheden og DTU er med til at sætte yderligere “drive” i bioøkonomi hos os ved også at fokusere på udnyttelse af restsidrømme,” siger Mette Jørgensen.

## Nature Energy:

# Restprodukter og biogas skaber udvikling tilpasset lokale forhold og regler

Nature Energy opererer en række biogasanlæg. Råvarerne til produktionen af biogas er dels gylle og andre restprodukter fra landbruget, dels husholdningsaffald og restprodukter fra fødevarerindustri og lignende.

”Samtidig har vi selv restprodukter, når vi har produceret biogas. Det er restprodukter, som vi gerne vil nyttiggøre for eksempel i landbruget. Men det kan ikke altid lade sig gøre. Inden for bioøkonomi er der utroligt mange regler at tage hensyn til, og det hele bliver endnu mere kompliceret, fordi der er vidt forskellige regler alt efter, hvilke råvarer vi vil bruge, og hvilke restprodukter vi vil nyttiggøre. Desuden er der både national lovgivning og EU-direktiver, som vi skal overholde,” siger Jonas Svendsen, handelschef, Nature Energy.

Et kendt mundheld siger, at det bedste er det godes værste fjende.

”Jeg vil mene, at inden for vores område spænder reglerne tit ben ikke kun for den bedste løsning, men også for det, der bare ville være en god løsning,” siger Jonas Svendsen og giver et eksempel:

”Restproduktet efter afgasningen indeholder en ganske stor fraktion af langkædede kulhydrater. Dem kunne vi fint sortere fra, så man kunne udnytte brændværdien i dem for eksempel på kraftvarmeværkerne. Men det må vi ikke, fordi der er tale om affald. I stedet brænder man træpiller af. Træpiller betragtes officielt som bæredygtige og CO<sub>2</sub>-neutrale. Det mener jeg nu nok, at man kan sætte spørgsmålstegn ved. Under alle omstændigheder vil det da være væsentligt mere bæredygtigt at udnytte et restprodukt, som vi allerede står med, frem for at importere træpiller, der er fremstillet ved at fælde skov i Polen.”

### Uafhængig forskning kan fjerne barrierer

I den forbindelse kan forskning spille en vigtig rolle.

”Som virksomhed vil vi jo gerne dokumentere de positive effekter af vores teknologi og produkt, men i sagens natur vil det ikke være troværdigt, at vi selv kommer med nogle tal. Vi kan heller ikke finansiere

universitetsforskning, for så vil vi bare få skudt i skene, at vi har betalt os til nogle bestemte resultater. Derfor er det vigtigt, at universiteterne på eget initiativ skaffer den dokumentation, der er brug for, og at forskningen virkelig er uafhængig. Det er det, der skal til, for at vi kan få afskaffet nogle af de regler, som i dag bare fungerer som barrierer for fornuftige løsninger,” siger Jonas Svendsen.

### Stort er ikke altid billigere

For nylig har Nature Energy haft rejsegilde på et anlæg i Kors kro, som med en behandlingskapacitet på 1.050.000 tons biomasse og en effekt på 45,4 MW om året bliver verdens hidtil største biogasanlæg. Alligevel må man ikke tro, at virksomheden har en strategi om at bygge stadig større anlæg, understreger Jonas Svendsen:

”Ganske vist er der stordriftsfordele som inden for andre brancher, men omvendt er der en begrænsning i, at vi skal ud og hente vores råvarer hos landmændene. Jo større anlægget er, jo længere skal man køre med råvarerne, som overvejende er gylle. Desværre består gylle hovedsageligt af vand, som ikke har nogen værdi for os. Man når altså hurtigt en grænse, hvor man kører langt med store mængder vand og dermed ødelægger sine stordriftsfordele.”

”Størrelsen af anlægget i Kors kro er besluttet ud fra, at vi her havde mulighed for at hente store mængder gylle inden for en rimelig radius. Jeg kan ikke forestille mig, at der vil være økonomi i at bygge endnu større anlæg. Tværtimod vil jeg faktisk mene, at vi skal i gang med en langsigtet udviklingsindsats, hvor vi bestræber os på at krympe anlæggene. I modsætning til den fossile energi, hvor man har meget store raffinaderier, mener jeg, at bioøkonomi fungerer bedst i begrænset skala. Vi skal ikke opnå stordriftsfordele ved at bygge meget store anlæg, men ved at bygge mange standardiserede anlæg. Det bliver en udfordring for branchen over de næste måske 30 år.”

---

Tendens 5:

# Biologiske ressourcer skal kunne kvalitetssikres og spores

Forsøg med tang på DTU Fødevarerinstitutionen





Der er kommet stort globalt fokus på fødevarerikkerhed og sporbarhed. Især i udlandet har der været skandaler, hvor madvarer har vist sig at være noget andet end det, der stod på emballagen. Produkter er markedsført som økologiske uden at være det. Kød har været fra andre racer end oplyst. Mælkepulver har været tilsat underlødige - og tilmed farlige - stoffer. Danmark har stærke traditioner for fødevarerikkerhed og -kontrol samt velfungerende sporbarhedssystemer og samarbejder mellem virksomheder og myndigheder.

Ønsket om at udnytte bioressourcerne fuldt ud vil gøre det endnu vigtigere med sikker viden om, hvilken råvare man står med, og hvor den stammer fra. Det gælder både for de virksomheder, der bliver bioøkonomiens motorer ved at raffinere sidestrømme, for detailhandlen og i sidste ende forbrugerne.

Bioraffinering vil føre til mangfoldige produkter som fx proteiner, sukker, lignin, metan, fedtsyrer og antioxidanter. Produkterne kan igen indgå i mange nye slutprodukter som medicin, fødevarer, foder, materialer, gødning og energi. Forskningen fokuserer meget på at udvikle teknologi, der gør optimal udnyttelse af biomasse mulig, men det skal nødvendigvis ske med øje for sikkerhed og sporbarhed. Og det kræver en særlig terminologi, som deles af de involverede parter.

Heldigvis sker der også en rivende udvikling inden for discipliner, som kan bruges til dette formål. Blandt andet udvikles der stadig bedre og billigere sensorer, som integreres med fleksible datalogiske værktøjer. Også udviklingen inden for blockchain-teknologi og Big Data giver nye muligheder for at overvåge en situation og spore uheldige episoder tilbage til kilden, så man kan stoppe useriøse leverandører.

## Arla Foods Ingredients: Nye værdikæder vil udfordre sporbarheden og infrastrukturen

Arla Foods Ingredients står bl.a. for produktionen af ostevalle, der tidligere var en sidestrøm med lav værdi fra osteproduktionen, men i dag kan forarbejdes til værdifulde ingredienser til fødevarer.

”Kombinationen af, at vi er del af en andelsvirksomhed med mælkeproducenterne som ejere, at der inden for vores forretningsområde i dag er veletablerede lovkrav, samt vores egne interne procedurer sikrer, at vi kan følge produkterne hele vejen gennem værdikæden”, siger Henrik Jørgen Andersen, Senior Executive R&D Advisor, Arla Foods Ingredients.

Uanset om koen fodres konventionelt eller økologisk kan Arla Foods følge med hele vejen fra malkningen samt efterfølgende transport af mælken, produktionen af osten og endelig produktion og forædling af vallen.

”Dette er et ønskescenarie inden for cirkulær bioøkonomi”, bemærker Henrik Jørgen Andersen, men tilføjer, at det ikke nødvendigvis vil være muligt at opretholde så god sporbarhed i fremtiden:

”Såfremt det fulde potentiale for bioøkonomi skal udnyttes, vil krav om tilstrækkelig tilgang af råvarer kræve introduktion af flere nye værdikæder. Det vil sige, at der genanvendes sidestrømme og restprodukter fra flere forskellige typer produktion og ofte fra forskellige lande. Spørgsmålet er, om processen kan følges lige så tæt i sådanne set-ups?”

### **Sporbarhed er en dansk chance**

Lidt forsimplet bliver sidestrømme normalt håndteret i seks trin. I første trin bliver sidestrømmene opsamlet i beholdere af virksomheder, der køber råmaterialer og biprodukter. I andet trin samler transportøren, der har ansvaret for indsamlingen, sidestrømmene og bringer dem til et samlings- og udvælgelses anlæg. I tredje trin udfører operatøren af opsamlingsanlægget en sortering af, hvad der kan værdiforædles, og hvad der er bestemt til deponeringsanlæg eller biogasforbrændingsanlæg. I fjerde trin køber sidestrømshandlere gennem internationale kanaler partier af biprodukter. Ved handlerne udveksles oplysninger om leverancer-

nes oprindelse, sted, kvalitet og pålidelighed. I femte trin sendes det købte parti til køber med skib, lastbil eller tog, der ankommer til det bestemmelsessted, hvor der udføres en kontrol af partiet. I sjette og sidste trin accepterer bestemmelsesvirksomheden, der har foretaget kontrollen, materialet med henblik på at distribuere eller behandle det.

”I virkeligheden er processen ofte endnu mere kompliceret, så det er klart, at sporbarhed bliver en udfordring. Derfor mener jeg, at sporbarhed ofte er overset i diskussionerne omkring potentialet i bioøkonomi. Fra dansk side bør vi tage spørgsmålet alvorligt. På mange måder står vi med stærke kort på hånden. Vi har adgang til mange egnede sidestrømme, har gode kompetencer på området samt infrastrukturen til at udvikle de nødvendige teknologier”, siger Henrik Jørgen Andersen og understreger, at det er vigtigt at tænke praktisk:

”Rigtig mange ting kan lade sig gøre, hvis man ikke behøver at tænke på omkostninger. Men bioøkonomi skal ofte kæmpe sig ind på markedet, så der er ikke store marginaler at gøre med. Det nytter jo ikke, hvis systemerne til håndtering af sporbarheden bliver så dyre, at forretningspotentialet går fløjten!”

### **Infrastruktur, økonomi og kvalitetssikring**

”Vi bør fra dansk side satse på at verificere kvalitet, mængde af materiale og oprindelse for at genskabe hele forsyningskædens historie. Desuden bør vi sikre, at dette bygges på internationale standarder, der gør det muligt at agere globalt. Udvikling af blockchains eller lignende systemer samt udvikling og implementering af billige kvalitetsmålesystemer vil blive essentielt for at sikre en konkurrencedygtig bioøkonomi.”

Ud over sporbarheden mener Henrik Jørgen Andersen, at udfordringerne inden for infrastruktur generelt får for lidt opmærksomhed.

”Det er fint nok, at forskere arbejder med at udnytte forskellige reststrømme. Men jeg kunne godt ønske mig, at man satte sig ned på et tidligt tidspunkt og

---

regnede på tingene. Hvor store mængder af det pågældende restprodukt er der egentlig til rådighed? Og over hvor store afstande vil det være nødvendigt at transportere det? Hvad vil det koste at etablere en infrastruktur for indsamling og oplagring samt for distribution af slutproduktet? Uden den type beregninger risikerer man at udvikle skrivebordsløsninger.”

Der er dog også en positiv vinkel på denne udfordring, tilføjer Henrik Jørgen Andersen:

“Der ligger et stort potentiale for innovation inden for infrastruktur rettet mod cirkulær økonomi. Det gælder også forretningsmæssig innovation, hvor der bliver et spillerum for nystartede virksomheder, der er i stand til at indrette en logistik for transport af nye typer af råvarer på nye måder. Det gælder også distributionen af de nye produkter, herunder etablering af infrastruktur til lokalt produceret gas og elektricitet.”

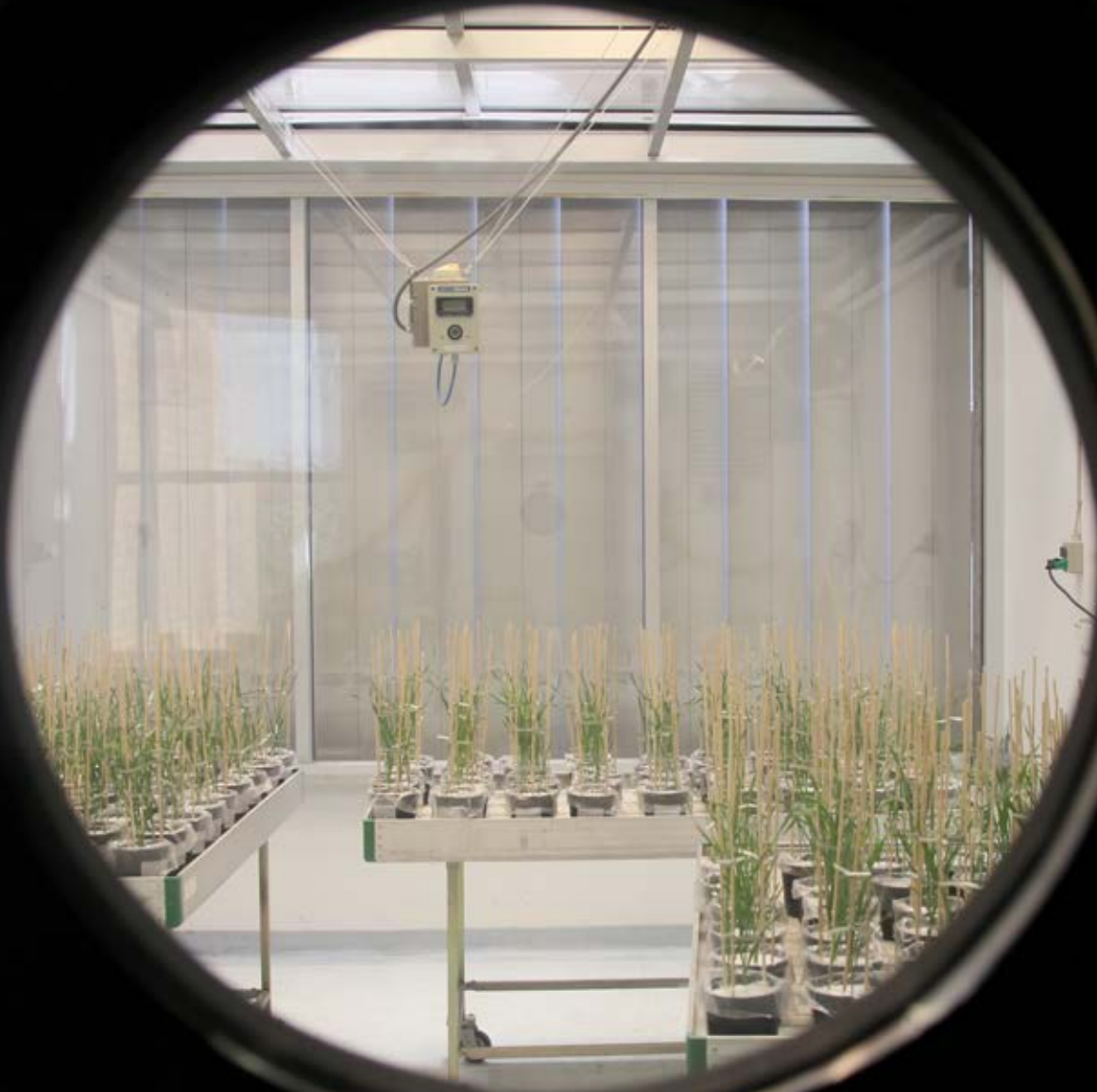




---

Tendens 6:

# Teknologiudviklingen stiller stigende krav til offentlig regulering



Råvarer, der skal indgå i produktion af medicin, fødevarer og foder, er allerede underlagt betydelig regulering. Formålet er naturligvis at sikre sundhed for mennesker, dyr og miljø. Men reguleringen tager ikke nødvendigvis hensyn til den positive effekt, som bioøkonomi og udnyttelsen af sidestrømme overordnet set kan have for bæredygtighed. Desuden er den teknologiske virkelighed inden for bioøkonomi ofte en anden i dag, end dengang lovgivningen blev skrevet.

Et eksempel er produktion af metan til naturgasnettet. I dag opnås kun støtte ved brug af biogasteknologi. Imidlertid er der andre mulige teknologier, som fx kan udnytte biogasfibre, gylle eller CO<sub>2</sub> fra biogas til produktion af yderligere metan. Reglerne bør i stedet fokusere på teknologiens samlede klimapåvirkning samt potentialet for erstatning af fossil naturgas samt en høj udnyttelse af kulstoffet fra biomasse.

Lovgivning kan også føre til ny innovation i anvendelse af biomasser. I Storbritannien såvel som hele EU var det tidligere almindelig praksis at fodre kvæg med restprodukter fra slagterier. Dette var en medvirkende

årsag til udbruddet af sygdommen kogalskab i Storbritannien, og snart blev det forbudt at fodre slagtedy, der skulle indgå i fødekæden, med alle typer animalske proteiner. I Danmark førte dette imidlertid til innovation, idet man hos Daka Denmark indledte en produktion af biodiesel baseret på slagteriaffald. Eksemplet viser, at regulering ikke nødvendigvis spænder ben for bioøkonomi. Hvis reglerne indrettes fornuftigt, kan såvel landbrug som industri, klima og miljø vinde.

Derfor er der behov for en ny type af kombinerede sikkerheds- og teknologivurderinger, der giver en afbalanceret vurdering af såvel muligheder som risici ved processer og produkter. Sådanne vurderinger vil være væsentlige bidrag til arbejdet med at justere lovgivningen i takt med udvikling af nye bioøkonomiske teknologier. For eksempel arbejdes der i Den Europæiske Fødevarer sikkerhedsautoritet på at udvikle teknologier til at kunne måle dyrearten i foder med processeret animalsk protein (PAP), så man kan tillade en fodring på tværs af dyrearter, dvs. kylling til grise og grise til kyllinger. Det er tilladt i akvakultur i dag.

## Daka Denmark:

# Politisk afhængighed er et rammevilkår

Daka Denmark udnytter slagteriaffald som råvare til produktion af biodiesel, der tilsættes konventionel diesel. Området er reguleret af EU. Det gældende direktiv, der løber frem til udgangen af 2020, pålægger branchen at benytte 7 pct. biodiesel. Det kommende direktiv, der skal gælde fra 2020 til 2030, ventes at hæve andelen til 14 pct. Heraf vil det være tilladt at lade halvdelen - altså 7 pct. af den samlede mængde diesel - fremstille ved hjælp af såkaldt 1. generations-teknologi. Det vil sige ud fra råvarer, der kunne være anvendt som fødevarer. I praksis vil det langt overvejende være rapsolie. En yderligere bestemmelse ventes at blive, at 3,2 pct. af den samlede mængde diesel i 2030 skal være såkaldt avanceret biobrændstof. Desværre - set fra Daka Denmark's synspunkt - betragtes diesel produceret ud fra slagteriaffald ikke som "avanceret". Virksomheden skal altså især angribe den del af markedet, der ligger mellem det avancerede biobrændstof og biobrændstof fremstillet ud fra rapsolie.

"Det er forståeligt, at EU gerne vil fremme avancerede løsninger som produktion af diesel ud fra halm eller andre råvarer, der er helt nye i denne sammenhæng, og at man giver den slags nye teknologier en hånds-rækning. Vi har for nylig haft 10-års jubilæum, så på den baggrund er der ikke noget at sige til, at vores teknologi betragtes som kendt," siger Erik Mansig, Business Unit Manager, Daka Denmark.

### Ros til EU for lang tidshorisont

"Omkostningerne ved vores produktion er fortsat for store til, at vi kan konkurrere direkte med fossil diesel på rene markedsvilkår. Derfor accepterer vi det naturligvis som et vilkår, at vi er meget afhængige af de politiske beslutninger i EU. Andre virksomheder har det jo almindeligvis sådan, at de ser sig om efter de råvarer, de helst vil have. I vores tilfælde er vi nødt til at se på, hvilke råvarer vi kan få lov til at benytte - og så få det bedste ud af dem."

Med reglerne i det justerede direktiv for vedvarende energi, mener Erik Mansig, at virksomheden har grund til at være tilfreds:

"Der vil fortsat være rammebetingelser, som giver os en plads på markedet. I sig selv er det også en fordel, at man planlægger med ganske lang tidshorisont og anviser, hvilke råvarer og teknologier man ønsker at fremme."

### Når insekter defineres som husdyr

Erik Mansig vil dog ikke udelukke, at Daka Denmark i fremtiden kan få et bredere forretningsgrundlag. For eksempel kunne det være en mulighed at udnytte virksomhedens infrastruktur til også at indsamle organisk husholdningsaffald.

"Vi medvirker faktisk i et projekt i samarbejde med forskere fra DTU, hvor vi indsamler husholdningsaffald. Tanken er at bruge affaldet som føde for insekter, der igen kan være foder til mink."

Projektet er dog løbet ind i regler, der spænder ben. Når man opdrætter insekter, bliver de lovgivningsmæssigt betragtet som husdyr. Det udelukker at bruge husholdningsaffald som foder. Reglerne er bl.a. en udløber af erfaringerne med kogalskab, hvor man i en række lande fodrede kvæg med slagteriaffald, der eventuelt kunne stamme fra samme dyreart.

"Det betyder faktisk, at vi ikke umiddelbart må fodre insekterne med husholdningsaffald. I samarbejde med DTU-forskerne forbereder vi imidlertid at ansøge om godkendelse af metoden."







# Anbefalinger for en styrket bioøkonomi

Danske virksomheder har i stort omfang allerede taget mulighederne i bioøkonomi til sig, som denne rapport tydeligt viser. På baggrund af de indsigter, som sektorudviklingsprojektet har skabt, har vi udarbejdet fire anbefalinger til, hvordan vi kan skabe endnu bedre rammer for virksomheder inden for det bioøkonomiske område og bæredygtig teknologisk udvikling fremover.

Der er gennem 2017 og 2018 skabt en stærk, fælles indsats fra interesseorganisationer og offentlige myndigheders side for at løfte bioøkonomidagsordenen. Således er regeringen kommet med en strategi for cirkulær økonomi i september 2018, og EU kom med en opdatering af deres bioøkonomistrategi i oktober 2018.

I 2017 nedsatte regeringen et nyt bioøkonomipanel, der kom med deres første

anbefalinger i sommeren 2018 med fokus på proteinværdikæder. Panelet sætter fokus på biopolymerer og biobaserede materialer som byggematerialer, plast og tekstiler i deres arbejde for 2018-2019. DI og Landbrug & Fødevarer har også sat markant fokus på bioøkonomi med det fælles udspil "World-Class Food Innovation 2030" og Landbrug & Fødevarers anbefalinger til "Cirkulær bioøkonomi i den danske fødevarereklynge". Danmark har dog ikke en egentlig strategi for bioøkonomi.

Anbefalingerne i denne rapport skal ses som input til den strategiske retning som Danmark er ved at sætte. Fælles for anbefalingerne er budskabet om, at teknologier, kaskadeanvendelse og helhedsforståelse af bioøkonomiske systemer er essentielle for at udvikle en dynamisk og bæredygtig bioøkonomisk dansk sektor.



## Anbefaling 1: Nationalt samarbejde og strategiske satsninger

Denne rapport viser med al tydelighed, at danske virksomheder er i verdensklasse inden for fermentering, ingredienser, højværdiproduktion og anvendelse af sidestrømme. Flere virksomheder kan fremvise reelle eksempler på kaskadeanvendelse.

Dialogen med de bioøkonomiske aktører viser, at mulighederne i bioøkonomi ofte er svære at realisere i større skala. De enkelte aktører kan ikke gøre det alene. Rapporten viser eksempler på virksomheder og forskere, der har skabt konkrete resultater. Men, der er behov for større strategiske satsninger med fokus på tværgående værdikæder og kaskadeanvendelse, hvis vi skal rykke os yderligere. Det kræver systemintegration og tværgående samarbejde.

Det skyldes, at bioøkonomiske værdikæder er komplekse, da adgang til biomasse, sidestrømme, teknologi og marked omfatter mange systemer og aktører. Bl.a. inden for primærproduktion, logistik, forarbejdning, afsætning og kapitalforvaltning. Hvis projekter skal være succesfulde og robuste, bør udvikling og drift derfor være tæt forbundne.

Offentlige støtteprogrammer er imidlertid ofte opdelt i klassiske domæner som energi, fødevarer, sundhed og miljø. Den fulde værdi i bioøkonomi skabes dog ofte på tværs af de sædvanlige opdelinger. Hvis der skal sikres et effektivt innovationssystem, skal der være støtteprogrammer og finansieringskilder, der belønner partnerskaber, værdikæder og synergi mellem domæner.

På den baggrund bør man:

- Skabe incitament i støtteprogrammerne for at fremme forsknings- og udviklingsprojekter om kaskadeanvendelse på tværs af fagligheder og bioøkonomiske domæner som sundhed, fødevarer, foder, materialer, biobrændsler og bioenergi, herunder biogas.
- Etablere fyrtårnsprojekter, der udvikler bioøkonomiens værdikæder og forretningspotentialer og sikrer investeringer i den nødvendige infrastruktur.
- Udvikle nye funding- og investeringsmuligheder, der kan være med til at lukke hullet mellem laboratorie- og pilotskala og kommerciel skala og fremme langsigtede indsatser. Det gælder fx støtte til proof-of-concept projekter, der kobler traditionelle præ-processeringsmetoder med avancerede bioteknologiske løsninger og forbinder disse metoder til opgradering af biomasser og sidestrømme.
- Fremme sammenkoblingen af infrastrukturprojekter og mere specifikke teknologiudviklingsprojekter. Det kan ske med partnerskaber, hvor nye teknologier og systemløsninger demonstreres i sammenhæng for at vise synergien mellem dem.
- Fremme forskning og udvikling, der kan gå på tværs af fagligheder, og kombinere teknologier for at fremme systemintegration og kaskadeanvendelse. Livscyklusanalyser, digitalisering, teknologivurderinger samt økonomiske, regulatoriske og institutionelle analyser er vigtige elementer.



## Anbefaling 2: Danmark som testcenter for cirkulær bioøkonomi

Danske strategier og mindset skal helt grundlæggende bevæge sig mod at sikre, at det er muligt at skabe bioøkonomiske løsninger på verdens problemer. Med en ambitiøs national indsats kan Danmark blive et testcenter, en pionér og vise at vi kan gå forrest og blive det første land i verden med en reel cirkulær bioøkonomi, hvor alle bioressourcer anvendes og genanvendes bæredygtigt og effektivt. Dialogen med aktørerne i denne rapport viser, at der er en stor interesse for at anvende nye teknologier, men at der er behov for bredere netværk, viden og knowhow på tværs af sektorerne. Der skabes mange bioressourcer og sidestrømme lokalt, som kan bearbejdes til produkter af højere værdi. Rapporten viser også, at der skal et finmasket system til for at sørge for, at alle involverede fra lovgivere til den lokale producent er informerede og involverede.

Det er vigtigt, at der skabes et bedre flow af viden, teknologier og indsats fra projekt til projekt, og at aktørerne har en fælles forståelse af forretningsmuligheder, mål og midler. Arbejdet kan understøttes af bl.a. igangværende initiativer som innovationsnetværket for Biomasse (INBIOM) og GTS'er og universiteter.

For at skabe velfungerende innovationssystemer er det også vigtigt at fokusere på efterspørgselsiden og ikke kun på udbud af teknologi og viden. Gennem politisk regulering og deregulering kan der skabes nichemarkeder, hvor de nye bioøkonomiske produkter i første omgang kan få fodfæste.

Derfor er der behov for:

- En virtuel platform for bioøkonomi, der kan give små og store aktører let adgang til nye teknologier, viden og netværk. Platformen kan lette adgangen til samarbejde og finansiering, så forskellige segmenter og partnere kan finde sammen og derved bevæge sig hurtigere og mere effektivt.
- Forskning i og anvendelse af proces- og produktionsteknologier til kaskadeudnyttelse af biomasse og sidestrømme til højværdiprodukter samt incitamenter til fremme af bioøkonomi, herunder for iværksættere.
- Lokale initiativer, hvor proces- og produktionsteknologi er med til at skabe højere værdi af de lokale bioressourcer og sidestrømme, og hvor øget

forskning, udvikling og etablering af samarbejde mellem universiteter, uddannelsesinstitutioner, kommuner, erhvervsliv m.fl. kan accelerere og opskalere demonstrationsprojekter. Initiativerne kan være i land- og kystområder, men også basere sig på biomasser fra byer med bl.a. genanvendelse af biologisk husholdningsaffald og sidestrømme fra lokale produktionsvirksomheder.

- Større fokus på efterspørgslen af bioøkonomiske teknologier, produkter og ydelser, fx gennem offentlig indkøbspolitik, incitamentskabende regulering, certificering og standarder på både nationalt og internationalt niveau. For eksempel er europæiske og internationale bæredygtighedskriterier for biomasse vigtige for udviklingen af et fælles og efficient marked for bæredygtig biomasse.

## Anbefaling 3: Byg bioøkonomi på de danske styrker: Sundhed og klima

Danmark har særlige forudsætninger for at spille en rolle i de mest værdifulde dele af bioøkonomiens værdipyramide på tværs af store virksomheder og primærproduktioner. Vi har gode systemer til håndtering og sporbarhed af bioressourcer, hvilket er en nødvendighed for at opnå høj kvalitet. Sidestrømme fra slagteri- og mejeriproduktion, kartoffelmel og akvatiske bioressourcer er eksempler på biomasser, som der produceres meget af i Danmark, og som har potentiale til at blive raffineret til ingredienser og produkter med sundhedsmæssige egenskaber. Ydermere kan sidestrømme fra denne produktion bruges i andre dele af bioøkonomiens værdipyramide. Samtidig har Danmark stærke virksomheder, der udvikler teknologier som fermentering til den øverste del af værdipyramiden.

Sundhedsområdet har hidtil ikke været en større del af bioøkonomien. Der er et stort potentiale i sundhed og sundhedsfremmende ingredienser, hvis man anvender og udvikler teknologier og metoder til at udnytte de fulde muligheder i de biologiske ressourcers kompleksitet. Danmark har stærke forskningsmiljøer og virksomheder med knowhow til at gøre dette og stærke industrier inden for sundhed og ingredienser.

Bioøkonomi kan bidrage til at beskytte klimaet fx ved at erstatte fossile råvarer med bæredygtige, vedvarende biobaserede løsninger, nedbringe mængden af affald, og få flere dele af råvarerne nyttiggjort. Det kan også ske ved at inddrage nye råvarer fra fx havet samt udnytte CO<sub>2</sub> og andre drivhusgasser som ressourcer i produktion.

Derfor bør Danmark sammen med de øvrige EU-lande også arbejde for, at bioøkonomi står stærk i klimadagsordenen, herunder at udvikle gode analysemetoder til at vise bioøkonomiens bidrag og betydning for klimaet.

#### **Anbefaling 4: Udbred danske bioøkonomiske løsninger internationalt og skab nye globale forretningsmuligheder**

De globale udfordringer med ressourceknaphed, fattigdom og bæredygtighed gør det oplagt at bruge de danske kompetencer til at skabe bæredygtig økonomisk vækst. I den forbindelse vil det være oplagt at kunne demonstrere løsninger ved at tænke dansk bioøkonomi som testcenter for en global cirkulær bioøkonomi. Mange danske virksomheder og organisationer arbejder allerede aktivt med FN's verdensmål. Det vil kræve en målrettet indsats at omsætte bioøkonomiens potentiale til handling for at nå målene. Bioøkonomi adresserer globale udfordringer, og Danmark kan spille en vigtig rolle via sin position inden for forskning og produktion.

Bioøkonomien kan være med til skabe næste generation globale virksomheder, der leverer nye løsninger indenfor eksempelvis ingredienser, foder, materialer mm. Danske virksomheder vil kunne vokse bæredygtigt på det internationale marked med udgangspunkt i de teknologier, produkter og fokusområder, der er nævnt i denne rapport. I takt med teknologiske fremskridt vil udnyttelsen af sidestrømme blive mere

effektiv og mangesidet, og der vil skabes gode muligheder for start-ups. Særligt hvis der samarbejdes og satses strategisk, jf. anbefaling 1.

Et af virkemidlerne er det europæiske program Bio-based Industries (BBI) der har et samlet budget på omkring 3,7 mia. euro for perioden 2014-2020. BBI havde i starten fokus på biobrændsler, men er de senere år blevet et meget nuanceret program, der understøtter stort set alle anvendelser i bioøkonomiens værdipyramide, inklusive kombinerede bioraffinaderier og hjælpeteknologier. Udviklingen understøttes af de europæiske COFUND initiativer, som er koncentreret om bioteknologi-værktøjer eller værdikæderne i landbrug, skovbrug og akvatiske miljøer. Det betyder, at der på europæisk niveau er markante investeringer i forskning, demonstration og implementering af biobaserede løsninger. Danske virksomheder og forskningsinstitutioner har gode forudsætninger for at blive en større del af disse programmer end de er i dag.

Derfor bør Danmark prioritere øget dansk deltagelse i de europæiske rammeprogrammer som Horizon Europe (FP9) og alle dets samarbejdsinitiativer (offentlige-offentlige og offentlige-private partnerskaber) som fx COFUNDs og BBI. Derudover bør vi have en ambitiøs indsats for dansk videns- og teknologisamarbejde i udviklingslandene samt arbejde aktivt med FN's mål for at bringe dansk viden og teknologi i spil for "people, profit and planet".

Proteingranulat fra Unibio og DTU



# Eksempler på projekter, hvor DTU-forskere er med til at udvikle den nye bioøkonomi

I forbindelse med sektorudviklingsprojektet har en række af DTU's forskere bidraget med beskrivelser af forskningsprojekter, der på vidt forskellige måder er med til at skabe grundlaget for mere bioøkonomi i Danmark. Nogle af projekterne er på et tidligt stadie, mens andre er på vej til at blive realiseret i fuld skala i samarbejde med virksomheder.

## DTU case: Biologisk plage bliver til efterspurgt økofoder

Søstjerner har indtil for nylig været en uudnyttet ressource i det danske fiskeri og er i stigende grad en plage for muslingefiskere og -opdrættere. Søstjerner har muslinger som deres foretrukne føde og kan gøre store indhug i muslingehøsten. De har ikke mange fjender og kan derfor optræde i store mængder, når føden er rigelig, som den er omkring muslingebanker og -opdrætsanlæg. For at løse dette problem har DTU Aqua og en række partnere taget initiativ til projektet STARPRO, der går ud på at høste og nyttiggøre søstjerner som en ny ingrediens i dyrefoder. Efter indsamling tørres og formales søstjernerne til mel, som har et højt proteinindhold og samtidig lever op til økologikravene. Melet har foreløbigt vist sig egnet som proteintilskud til både hønse- og grise-foder, hvor der er stor efterspørgsel på økologiske ingredienser. På længere sigt bør det undersøges, om denne nye værdikæde kan udvides, eksempelvis ved at opgradere melet gennem bioraffinering, så det får endnu højere værdi, og DTU Fødevareinstituttet har bl.a. modtaget midler i samarbejde med to partnere for at undersøge mulighederne for at udvinde olie, der er rig på omega-3 fedtsyrer fra søstjernerne, som bruges til proteinproduktion.

Kontakt: Lene Friis Møller, Dansk Skaldyrscenter, DTU Aqua og Dennis Lisbjerg, DTU Aqua

## DTU case: Mikroalger kan slutte næringsstofcirklen i akvakultur

Mikroalger dyrket i tanke benyttes allerede som mini-fabrikker til fremstilling af produkter med høj værdi, fx pigmenter, vitaminer, proteiner og omega-3-fedtsyrer. Forskere ved DTU Aqua forsøger, at overføre

denne teknologi til lukkede akvakultur-systemer, hvor der opdrættes fisk. Produktion af fisk i akvakultur skaber affaldsstoffer og frigiver næringsstoffer - NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, N, P - som skal fjernes af hensyn til fiskenes sundhed. Ved at kombinere akvakultur med dyrkning af mikroalger, der kan udnytte og vokse på næringsstofferne i vandet, fjernes næringsstofferne. Og hvis man vælger de rette typer af mikroalger, kan man tilmed opnå produkter, der egner sig til fiskefoder. På den måde kan man nærme sig en øget cirkularitet i produktionen af fisk. Det vil kræve udviklingsarbejde, men perspektiverne er store, fordi man vil løse en væsentlig udfordring inden for akvakultur og samtidig åbne for bæredygtig produktion af proteinrige fødevarer, som der er en stor og stigende efterspørgsel efter.

Kontakt: Ivar Lund, Sektion for Akvakultur, DTU Aqua og Dennis Lisbjerg, DTU Aqua

## DTU case: Enzymer dyrket i svampe øger værdien af biomasse

Svampe har længe været benyttet som fabrikker til at fremstille industrielle enzymer. Imidlertid er det ret nyt at benytte svampe til at fremstille enzymer, der kan nedbryde biomasse og dermed skabe udgangspunktet for produkter med større værdi. For nylig har bl.a. Novozymes introduceret såkaldte lytiske polysaccharid monoxygenaser (LPMO'er), der fremmer nedbrydningen af genstridige biomasse-komponenter som cellulose, kitin og stivelse. For at LPMO'erne kan virke, skal der tilføres elektroner. Det kan man opnå ved at tilsætte oxiderende enzymer som "partnere" sammen med LPMO. På DTU Bioengineering arbejder man på at finde de rette partnerenzymer og opnå optimal produktion i svampe med henblik på at sikre effektiv nedbrydning og værdiskabelse ud fra genstridig biomasse. Som model-molekyle er valgt stivelse, bl.a. fordi Danmark har en betydelig produktion af stivelse ud fra kartofler og korn. Forskningen er endnu på et tidligt stadie. I første omgang er der behov for pilotanlæg.

Kontakt: Maher Abou Hachem, DTU Bioengineering



## DTU case: Bakterier får appetit på mikroplast

Forurening af havene med plastik er et stort problem. Flere steder i oceanerne samler plastaffald sig til enorme "øer", hvor plasten langsomt nedbrydes til såkaldt mikroplast. En anden kilde er rensningsanlæggene, som i dag er ude af stand til at rense vandet for mikroplast. I de senere år er der kommet stor fokus på skadelige effekter, når dyr og mikroorganismer i havet optager mikroplast, som derefter indgår i fødekæderne - og i sidste ende når frem til vores middagsborde. Derfor interesserer forskere ved DTU Bioengineering sig for at finde løsninger, hvor mikroorganismer anbringes i filtre på rensningsanlæggene. Tanken er, at man dels skal rense mikroplasten fra, inden vandet ledes ud, dels udnytte plasten som råvare til produktion af byggesten til nye råmaterialer, der kan udnyttes i fremtidens bioraffinaderier. Forskningen er endnu på et tidligt stadie, hvor man undersøger, hvilke mikroorganismer som vil være bedst egnede til opgaven. Samtidig skal der identificeres enzymer og processer, der sætter mikroorganismene i stand til at løse deres opgave under betingelserne i et rensningsanlæg.

Kontakt: Eva Sonnenschein, DTU Bioengineering

## DTU case: Nyttige bakterier holder fiskelarver sunde

Der er for få fisk i havene til at tilfredsstille den stadig voksende efterspørgsel. Svaret er opdræt i dambrug og havbrug. Det er imidlertid ikke uden problemer. Et af dem er, at forekomsten af infektioner er større end hos fritlevende fisk. Især er fiskelarver udsatte. En mulighed er at benytte antibiotika, men det vil gradvist føre til problemer med udvikling af resistens. Forskere ved DTU Bioengineering udvikler derfor alternative måder til at beskytte fisk og fiskelarver. Nærmere bestemt finder man "gode bakterier", eller i fagsproget probiotiske bakterier. Forsøg har påvist den ønskede effekt, vel at mærke helt uden problemer med resistens. Forskerne er i gang med at sætte samarbejder op med internationale virksomheder i branchen med henblik på at indføre metoden i fiskeopdræt. På den måde yder forskningen et stort bidrag til bæredygtig produktion af en betydningsfuld kilde til protein og andre vigtige næringsstoffer i vores kost. Tilmed får klimaet en håndsrækning, da udledningen af drivhusgasser er 50 % mindre end ved produktion af kød.

Kontakt: Lone Gram, DTU Bioengineering

## DTU case: Kvindelige hormoner erstatter insektgifte

Den velkendte historie om bierne og blomsterne har taget en helt ny drejning gennem forskning ved DTU Biosustain. Der er en række problemer ved traditionelle insektmidler. De skaber et dårligt arbejdsmiljø for landmænd og gartnere, ligesom de kan ende i forbrugernes kost som restprodukter fx i frugt. Endelig er der uheldige effekter i miljøet. Et bæredygtigt alternativ er at sprøjte små mængder af kvindelige kønshormoner - feromoner - fra de insektarter, man ønsker at begrænse, ud på markerne. Feromonerne forvirrer han-insekterne, så de ikke finder frem til hunnerne. Dermed bliver insekternes forplantning forpurret. Selve metoden har været kendt i en del år, men prisen på feromonerne har hidtil været for høj til at gøre den alment udbredt. Det nye i den danske forskning er, at gærceller dresseres til at fungere som fabrikker for feromonerne. Det betyder en væsentligt billigere og mere bæredygtig produktion. Udviklingsarbejdet sker i virksomheden BioPhero, som er spundet ud fra DTU Biosustain.

Kontakt: Irina Borodina, DTU Biosustain

## DTU case: Slam omdannes til værdifuld gødning

Naboerne er sjældent glade, når slam fra rensningsanlæg bliver spredt ud på markerne. Ud over lugten er det problematisk, at slammet på vej til marken afgiver drivhusgasser i op til 9 måneder inden spredningen. Desuden indeholder slammet det giftige tungmetal cadmium samt mikroplast, som også kan være en potentiel sundhedsrisiko. Et forskerhold på DTU Kemiteknik har udviklet en metode baseret på termisk forgasning, hvor man omdanner slammet til to værdifulde produkter. Gassen, der dannes, kan enten udnyttes direkte til produktion af kraftvarme eller opgraderes til metan, der svarer til naturgas. Tilbage bliver et askesubstrat, som er rigt på fosfor, kalium, kulstof og en række andre nyttige næringsstoffer samtidig med, at det er rensset for sygdomsfremkaldende mikroorganismer, cadmium, plast og andre problemstoffer. Asken har et meget højt indhold af fosfor, hvilken er en stor gevinst. Fosfor er absolut nødvendigt for væksten af korn og andre planter, og verdens reserver af geologisk fosfor er stærkt begrænsede. Forgasningen sker ved en lav temperatur for at sikre, at næringsstofferne bevares i asken i en form, der er tilgængelig for planter. Askens gødningsegenskaber og renhed kan tilmed forbedres yderligere ved at benytte en

blanding af slam og halm. Dette kan samtidig overflødig gøre tørring af slammet inden forgasningen.

Kontakt: Jesper Ahrenfeldt, Tobias Pape Thomsen og Ulrik Birk Henriksen, DTU Kemiteknik

### DTU case: Raffinaderiet der udnytter bio-affald

I stadig flere kommuner sorterer borgerne affaldet, så man får det organiske affald udskilt for sig. Forskere ved DTU Miljø designer fremtidens bioraffinaderi, der udnytter det organiske husholdningsaffald sammen med organisk affald fra landbruget og fødevarerindustrien. Det skal ske i fire trin. Først slemmes bioaffaldet op i vand, hvilket udløser en række kemiske processer samlet kaldet hydrolyse, hvor molekyler i biomassen reagerer med vand og opløses i mindre molekyler. I dette tilfælde bliver resultatet dannelse af sukkerforbindelser. I næste trin fermenteres sukkerforbindelserne. Resultatet bliver ravsyre, som er et nyttigt mellemprodukt, der fx kan bruges til at producere bio-plast, medicin og meget andet. Det resterende bioaffald, som ikke er omdannet til sukkerforbindelser, sendes videre til et tredje trin. Her sker en forgasning ved hjælp af bakterier under iltfrie forhold. Resultatet bliver biogas. Når man fjerner CO<sub>2</sub> fra biogas, får man metan, der svarer til naturgas. Det sker i et fjerde trin. Desuden vil det være muligt at udnytte næringsstoffer, som hverken er omsat til sukkerforbindelser eller til biogas, til såkaldt en-celle-protein, der for eksempel kan bruges som kilde til protein i foder. Endelig vil det være muligt at udvinde energi i form af enten varme eller elektricitet undervejs i processen. Forskerne er i kontakt med en række virksomheder, som er interesserede i at være med til at skabe fremtidens bioraffinaderi.

Kontakt: Irimi Angelidaki, DTU Miljø

### DTU case: Bedre bioøkonomi med livscyklusanalyser

Livscyklusanalyser (LCA) har etableret sig som det bedste værktøj til at vurdere miljøeffekterne af teknologier og systemer. LCA adskiller sig fra tidligere former for miljøvurderinger ved ikke kun at inddrage miljøeffekten af en given produktion, men også effekterne under brugen og den senere bortskaffelse og eventuel genanvendelse. Der er i høj grad behov for LCA, når man skal vurdere bæredygtigheden af de mange forskellige muligheder og koncepter, der tegner sig inden for bioøkonomi. Gennem de seneste

15 år har forskere ved DTU Miljø udviklet LCA-modellen EASETECH. Modellen er benyttet af flere end 100 forskere fra mere end 15 forskellige lande, og den har dannet grundlag for flere end 100 videnskabelige artikler. Der er tale om en af de mest avancerede LCA-modeller i verden. Blandt fordelene er en høj detaljeringsgrad med inddragelse af procesudformning og tekniske parametre som eksempelvis konverteringsgraden, når man omdanner et udgangsstof til et ønsket, andet produkt. DTU Miljø vil arbejde for at udbrede EASETECH yderligere inden for bioøkonomi. Modellen egner sig både til at hjælpe ejere af bioraffinaderier og tilsvarende anlæg med at finde de mest bæredygtige løsninger og til at understøtte politiske beslutninger på området.

Kontakt: Thomas F. Astrup, DTU Miljø

### DTU case: Mere værdi til ostevalle og mask

Produktion af ost og øl skaber restprodukter, som man tidligere betragtede som affald, der i bedste fald kunne bruges som foder til husdyr. I dag er såvel ostevalle som bygrester (mask) fra ølbrygning nyttige sidestrømme, og projekter med deltagelse af DTU Food er nu med til at øge værdien af dem yderligere. Gennem nogle år har bl.a. Arla Foods udnyttet ostevalle som udgangspunktet for proteinrige produkter af høj værdi. Et samarbejde med DTU Food har vist, at vallen også kan forarbejdes videre med bioteknologiske metoder og blive til alkohol - ethanol - af drikke kvalitet og dermed opnå endnu højere værdi. Projektet føres videre af spinout-virksomheden Alcowhey. Efter ølbrygning bliver der en såkaldt mask, som består af bygrester, tilbage. En anden spinout virksomhed, Dacofi, arbejder med at udnytte mask som udgangspunkt for en række værdifulde produkter som proteiner, kemikalier, aminosyrer og fødevaringredienser. Ud over at mejerier og bryggerier får mulighed for at skabe mere værdi i deres produktion, er processerne med til at øge bæredygtigheden, især fordi mængderne af restprodukter, der ender som affald, minimeres.

Kontakt: Timothy Hobley, Shruti Dantoft, og Peter Ruhdal Jensen, DTU Fødevarerinstitutionen

### DTU case: Græs på menukortet

Verdens hastigt voksende befolkning hungrer efter protein, og danske forskere er i gang med at skabe en ny proteinkilde - nemlig græs.

Det har længe været kendt, at græs indeholder betydelige mængder protein, men i modsætning til koens mave er menneskets mave dårligt egnet til at fordøje græs. Forskere fra DTU Fødevareinstituttet og Aarhus Universitet Foulum udvinder imidlertid proteiner direkte fra græsset. Derefter kan proteinerne tilsættes fødevarer - fx proteinbarer.

Græsset køres først gennem en skruepresse, der deler det i en fiberrig tørstofdel, som kan bruges til kvægfoder, og en proteinrig væske. Den videre behandling udvinder protein fra væsken.

Det er lykkedes forskerholdet på DTU Fødevareinstituttet ledet af professor Peter Ruhdal Jensen at fremstille proteinbarer med op til 10 pct. indhold af græsprotein med acceptabel smag. En del af løsningen går ud på at kamuflere smagen af græs ved at bruge aromatiske ingredienser som honning, ingefær eller lakrids.

Arbejdet indgår i innovationsprojektet BioValue, hvor DTU, Københavns Universitet, Aarhus Universitet og Aalborg Universitet samarbejder med en række virksomheder om at udnytte grøn biomasse.

Kontakt: Peter Ruhdal Jensen, DTU Fødevareinstituttet

### DTU case: Alger og kartoffelskræller leverer ingredienser

Antioxidanter er stoffer, som hindrer iltning af andre stoffer. På denne måde er antioxidant med til at øge holdbarheden af en række madvarer. Imidlertid er fødevareindustrien på vej væk fra at tilsætte industrielt fremstillede syntetiske antioxidant til maden. Det skyldes dels nye regler på området, dels krav fra forbrugerne om, at maden så vidt muligt skal være "fri for kemi". Derfor er det godt nyt, at forskere ved DTU Fødevareinstituttet er i stand til at udvinde naturligt forekommende antioxidant fra upåagtede råvarer som alger og kartoffelskræller. Forskningen omfatter både selve udtrækningen af stofferne og den videre oparbejdning til ingredienser, der er klar til at fungere i mad. Desuden testes produkterne dels i laboratorieforsøg, dels som ingredienser i fødevarer. Ud over at være til nytte som antioxidant kan nogle af stofferne fungere som naturlige alternativer til ingredienser, der tilsættes maden for at give den rette konsistens og tekstur. Endelig er der mulige anvendelser i solcreme.

Kontakt: Charlotte Jacobsen, DTU Fødevareinstituttet

### DTU case: En fremtid med grøn gas

Biogas og andre former for gas, der er produceret ud fra fornybare ressourcer, er centrale i Danmarks energipolitik. Imidlertid er det vigtigt at udvikle den grønne gas i et samspil med den øvrige energisektor, så man fx opnår synergi med fjernvarmesystemet og transportsektoren. Desuden må man tænke på, at de samme ressourcer i form af biomasse mv., som kan udnyttes til at producere gas, også kan udnyttes til andre formål i bioøkonomi som produktion af fødevarer ingredienser og kemikalier. Derfor skal den grønne gas tænkes ind i et større perspektiv. Det er netop formålet med projektet FutureGas, hvor DTU Management spiller en nøglerolle sammen med en række partnere inden for energisektoren. DTU-forskerne har kombineret to modeller, hvoraf den ene er udviklet til energisektoren generelt, mens den anden er udviklet specielt til modellering af konvertering af biomasse til biobrændstoffer og grøn gas. Den kombinerede model udgør et stærkt værktøj for virksomheder, myndigheder og politikere, som skal forholde sig til, hvordan grøn gas kan indgå i fremtidens energisystem.

Kontakt: Marie Münster, DTU Management

### DTU case: Gylle får et skud matematik

Der er en rivende udvikling i gang inden for dansk biogas, men der er betydelig usikkerhed med hensyn til, hvordan man skaber størst værdi i produktionen. Det skal nye matematiske modeller fra DTU Management bidrage til at afklare. Ud over gylle kan også halm og en række andre typer biomasse bruges som udgangspunkt for at producere biogas. Samtidig er der udviklet forskellige anlæg til forbehandling, lige som der eksisterer forskellige anlægstyper til selve forgasningen og til efterfølgende behandling af gassen og restprodukterne. Tilmed er der ikke et etableret system for handel med biogas endnu. Det samme gælder for halm-briketter, der er et andet muligt produkt. Derfor eksisterer der ikke en markedspris, som ejerne af et biogasanlæg kan basere deres beregninger på. I stedet tilbyder DTU-forskerne matematiske modeller baseret på spilteori, som viser, hvordan den økonomiske risiko og den tilknyttede mulighed for indtjening kan fordeles mellem de potentielle partnere i et projekt.

Kontakt: Ida Græsted Jensen, DTU Management



## DTU case: Potentialer og barrierer i nordisk bioøkonomi

En række virksomheder er godt i gang med at nyttiggøre deres sidestrømme, men potentialet er uden tvivl langt større. Et projekt hos DTU Management forsøger at afdække de mulige guldgruber for bioøkonomi i Norden. Nærmere bestemt er der fokus på akvakultur, bryggerierne, mejerisektoren, skovbrug, slagterier samt husholdningsaffald. Samtidig ser forskerne på de barrierer, som skal overvindes. Et af casestudierne angår udnyttelsen af mask (bygrest) fra ølbrygning. Et andet studie ser på akvakultur, hvor man kombinerer opdræt af fisk i dambrug med såkaldt hydroponisk dyrkning af grønsager – det vil sige dyrkning, hvor planterne ikke vokser i jord eller muld, men i en vandig opløsning, der indeholder de nødvendige næringsstoffer. I princippet kan opdræt af fisk og hydroponisk dyrkning samlet set udgøre et næsten cirkulært system. Det overordnede mål med forskningen er at forsyne virksomheder, myndigheder og politikere med værktøjer, der kan hjælpe med at afdække nye bio-baserede værdikæder og forretningsmodeller. Samtidig er det ambitionen at vise, hvordan dels virksomhederne selv kan komme videre, dels hvordan myndigheder og lovgivere kan fremme udviklingen af bioøkonomi fx ved at justere regler og støtteordninger.

Kontakt: Simon Bolwig, Anne Nygaard Tanner og Jay Sterling Gregg, DTU Management

## DTU case: CO<sub>2</sub> + elektricitet = protein

På grund af bidraget til global opvarmning er CO<sub>2</sub> et uglestet molekyle. Ikke desto mindre kan CO<sub>2</sub> være en nyttig råvare. DTU Energi og DTU Mekanik har en vision om at kombinere to kendte teknologier, så man ender med at få et værdifuldt produkt, protein, ud fra CO<sub>2</sub>. Virksomheden Unibio har udviklet fermenteringsteknologien U-Loop, som er i stand til at fremstille protein ud fra metan. Samtidig har virksomheden Topsøe udviklet elektrolyseceller af typen SOEC (Solid Oxide Electrolysis Cells), som kan omdanne CO<sub>2</sub> til metan og ilt ved tilførsel af elektricitet og vand til SOEC-cellen. Ved at kombinere de to teknologier opnår man altså samlet at starte med CO<sub>2</sub> og ende med protein. På denne måde er det muligt, at alt kulstoffet fra CO<sub>2</sub> ender i proteinproduktet. Der bliver altså ingen udledning af CO<sub>2</sub>. En yderligere fordel er, at systemet ikke nødvendigvis behøver at have et konstant elforbrug. Ved at bruge gaslagre kan elektrolysen nøjes med at køre, når der er billig el – for eksempel når vindmøllerne har høj produktion – mens

proteinproduktionen kører uafbrudt. Tilmed kan systemet indrettes så fleksibelt, at det kan levere strøm til elnettet eller metan til naturgasnettet i situationer, hvor dette er profitabelt.

Kontakt: Lasse Røngaard Clausen, DTU Mekanik

## DTU case: Lad jysk fosfor gøde Sjælland

Gylle er den råvare, der bruges i størst mængde til produktion af metan i form af biogas. Efter produktionen af biogas bliver der et restprodukt tilbage. Typisk bliver restproduktet spredt på markerne for at udnytte gødningsværdien. Restproduktet har et stort indhold af vand. Det er et problem. Vandet bidrager ikke til værdien af produktet, men gør det bare tungt og dermed dyrt at transportere. Derfor ender man ofte med at sprede restproduktet på marker tæt ved biogasanlægget, selvom det havde gjort større nytte på andre marker længere væk. DTU Kemiteknik og DTU Mekanik arbejder på at konvertere restproduktet ved hjælp af termisk forgasning koblet med elektrolyse for at øge produktionen af metan. Samtidig ender man med et tørt restprodukt, hvor næringsstoffer, der er gavnlige for dyrkning af planter, er bevaret. Dermed slipper man for at køre rundt med store mængder vand og kan transportere gødningsproduktet hen, hvor det gør mest gavn. Faktisk vil det tilmed være relevant at transportere produktet mellem landsdelene i Danmark. Særligt for fosfor, som er helt afgørende for planters vækst, er der i dag en stor ubalance med overskud af fosfor i Jylland og underskud på Sjælland. Produktet fra processen har et højt indhold af fosfor. Teknologien bidrager også til at passe på klimaet, idet alt kulstof fra biomassen ender i den producerede metan, som kan sendes ud på naturgasnettet, så der ikke bliver et udslip af CO<sub>2</sub>.

Kontakt: Lasse Røngaard Clausen, DTU Kemiteknik og Jesper Ahrenfeldt, DTU Mekanik

## DTU case: Smart proces giver bio-olie af høj værdi

Den mest markante forskel på bio-baserede og fossile råstoffer er, at bio-råstofferne har et stort indhold af ilt. Det giver en helt anderledes opførsel i de fleste kemiske processer og betyder normalt, at man ikke skal forsøge at benytte bio-produkter på samme måde som fossile produkter. En smart proces, som forskere ved DTU Kemiteknik og DTU Mekanik har været med til at udvikle og analysere, gør det imidlertid mu-

ligt at fremstille ilt-fri bio-olie. Processen bygger på pyrolyse - det vil sige kemisk spaltning af et materiale ved hjælp af varme, men uden tilførsel af ilt. I processen varmes biomasse meget hurtigt op til ca. 500 °C under iltfrie forhold. Derved producerer man dels gas, dels et fast koks-restprodukt. Hovedparten af gassen kan kondenseres til en energitæt bio-olie. Ved at gennemføre pyrolysen med anvendelse af en katalysator og i en atmosfære af brint under tryk kan det lade sig

gøre at fremstille ilt-fri bio-olie. Bio-olien kan separeres i forskellige fraktioner - diesel, benzin og aromatiske bestanddele - helt som det sker med fossil olie på et traditionelt raffinaderi. Derved kan man både få bio-brændstoffer til transport samt udgangspunkt for fremstilling af forskellige værdifulde kemikalier.

Kontakt. Lasse Røngaard Clausen, DTU Mekanik og Anker Degn Jensen, DTU Kemiteknik



Peeballs. Studenter-opfindelse på DTU's Grøn Dyst, hvor bionedbrydelige kapsler kan opsuge urin, så den kan komme til gavn som gødning.

# DTU's institutter og kompetencer inden for bioøkonomi

Nedenfor er en oversigt over kompetencerne på DTU med relevans for bioøkonomi. Listen er ikke udtømmende.

Department	Competencies (Research, technologies and methods)	Application	Market and societal potentials
DTU Aqua	<p>DTU Aqua's research competencies are related to all aspects of aquatic biomass production, harvest and utilization. This includes a strong focus on research and innovation which can benefit fisheries and aquaculture as well as provide state of the art scientific advice on sustainable management of aquatic ecosystems and their ability to produce a range of goods and services.</p> <p>To carry out its research the institute uses a number of cutting edge methods and technologies ranging from robots tracking DNA in the environment, to mathematical ecosystem modelling and observational technologies used in e.g. oceanography.</p> <p>Additionally DTU offers a master's programme in Aquatic Science and Technology and currently has ap. 40 PhD students. These activities are made possible by first class infrastructure, which includes molecular laboratories, large scale experimental aquariums and a fleet of research vessels including one large ocean going polar vessel.</p>	<p>Public sector consultancy is a key area of activity for the institute. DTU's contract with Danish ministries on research-based public sector consultancy constitutes, together with a number of contracts with other Danish and international authorities, a significant part of DTU Aqua's work.</p> <p>DTU Aqua also collaborates with the fisheries and varies parts of the aquaculture industries' value chain on projects of a more innovative character. Finally, DTU Aqua uses its competencies and influence in several key international organizations and EU instruments to represent Danish interests.</p> <p>This allows DTU Aqua to handle even very complex tasks with stakeholders on many levels.</p>	<p>DTU Aqua's ambition is to deliver the solutions to meet one of this century's key societal challenges: how to ensure the optimum utilization of living aquatic resources in the sea, coastal waters, and lakes and rivers, while at the same time maintaining a healthy aquatic environment.</p> <p>To address this challenge, DTU Aqua works with all kinds of aquatic resources and stakeholders ranging from local and foreign communities to large industry leading companies in Denmark.</p> <p>All markets and societies that aims to sustainably exploit the aquatic environment or its biomass are therefore potentially of interest for the institute.</p>



Department	Competencies (Research, technologies and methods)	Application	Market and societal potentials
<b>DTU Bioengineering</b>	<p>The Department addresses challenges of societal and scientific importance through basic and applied research in the areas of microbiology, cell biology, biotechnology, small molecule and protein chemistry, food technology, biomedicine and human health.</p> <p>These challenges are met by employing biochemistry, biophysics, molecular, structural and cellular biology, immunology, microbial ecology and physiology, bioinformatics and bioengineering tools.</p> <p>DTU Bioengineering hosts technology platforms providing state-of-the-art capabilities in fermentation and high-throughput screening, mass spectrometry based metabolomics and proteomics.</p>	<p>Based on in depth understanding of many different biological systems and microorganisms the department contributes to new technological solutions benefitting the entire bioeconomy value triangle.</p> <p>The technologies enable design of small molecules, enzymes, organisms or even microbial communities for e.g.: New biomedical drug targets, pre/probiotics, antibiotics, antibodies, biomarkers, cosmetics / Biocontrol, ingredients (e.g. pigments), fermented foods / Biomaterials, Bioremediation, conversion of biowaste, polymers etc / Biomaterials, Bioremediation, conversion of biowaste, polymers etc</p>	<p>DTU Bioengineering serves the interests of society by contributing to the strategically important biotechnology and pharmaceutical sectors, not only through advances in science, technology and innovation, but, vitally, through the training and education of first-class BScs, MScs and PhDs in biotechnology and biomedicine.</p>
<b>DTU Biosustain</b>	<p>Industrial biotechnology and microbiology; network reconstruction; enzyme and protein chemistry; cell-factories design, construction and deployment; bioinformatics; molecular biology; big data; novel bioactive compounds; infection microbiology; biomass pretreatment, hydrolysis and fermentation; bioprocess development and optimization; biorefineries; biosensors</p> <p>Techniques: metabolic engineering; proteomics; genomics; flow-cytometry; metagenomics; systems and synthetic biology; metabolomics; fermentation; analytics; high-throughput molecular bioscience; automated adaptive laboratory evolution; pretreatment and hydrolysis of biomass; techno-economic assessment; genome mining</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Industrial relevant cell factory development, with special emphasis on identifying commercially interesting compounds and to speed-up the strain design process.</li> <li>- Development of new, efficient and sustainable process technologies to convert biomass into valuable products.</li> </ul>	<p>The development of sustainable lifestyles requires efficient bio-manufacturing methods for chemical compounds and protein-based products. DTU Biosustain aims at developing new knowledge and technologies to help facilitate the transformation from the existing oil-based chemical industry to a more sustainable bio-based society, in which chemicals are produced biologically.</p>

Department	Competencies (Research, technologies and methods)	Application	Market and societal potentials
<p><b>DTU Chemical Engineering</b></p>	<p>The research covers separation processes, reaction engineering, dynamics and process regulations, process and facility planning, unit operations, heat transmission, fluid mechanics and applied thermodynamics. The Department includes a number of groups and centers including the CHEC research center with the Biomass Gasification Group and the PROSYS research center.</p> <p>The competences and methods include but are not limited to: High temperature processes for conversion of biomass and recycling of waste, including combustion for heat and power, gasification, pyrolysis, and catalytic processes for conversion of gasification and pyrolysis primary products to higher value, liquid fuels and chemicals. Thermal conversion of biomass, organic residues and waste resources, all aspects of the technological development from tentative assessments and preliminary theoretical modeling and process simulation, through process design, proof-of concept testing, pilot plant construction, process validation, product qualification, life cycle assessment and process commercialization. Decision support tools for identifying resource recovery opportunities from waste/process streams of bio-based production processes.</p> <p>Model-based techno-economic-societal sustainability analyses of resource recovery technologies and evaluating development challenges across technology readiness levels. Model-based approaches to manage the complexity associated with pharmaceutical, bio-based, food and chemical production processes. Computer-aided methods and tools developed in-house. Experimental work to validate our computational efforts.</p>	<p>Close collaboration with industry to obtain research results that are applicable to industry and society. Specialized chemical and biochemical engineering research through field experiments, experiments in lab scale, pilot facilities and in industrial scale. Main activities are in the areas of product design, process design and production in the chemical, biotechnological, pharmaceutical, food - and energy technological industries.</p> <p>Application in on-going research projects with academic and industrial partners to address societal challenges e.g. related to supply of energy services, climate change mitigation, reduction of anthropogenic pollution and resource depletion. R&amp;D support for governmental institutions, organizations and private companies in all phases of technology development and characterization of fuels, products and processes.</p> <p>Research from the department has been instrumental for the ongoing conversion of power plants from coal to biomass combustion. The continued focus on thermochemical and catalytic conversion of biomass and waste in ongoing R&amp;D projects with industrial and academic partners aims at replacing fossil fuels in energy intensive industries like cement production, the power sector including central and decentralized heat and power plants and the transportation sector. In addition, the efforts aim at replacing chemicals made from fossil feedstock with sustainably produced chemicals from biomass and CO<sub>2</sub>.</p>	<p>The work conducted reveals and fulfills potentials in the market and in society in a number of ways:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Decreasing the dependency on fossil fuels and decreasing the emission of harmful species</li> <li>• Decreasing the environmental and climate change impact of sectors and industries such as energy, agriculture, heavy industries, waste management and transportation</li> <li>• Increasing domestic energy supply and security and increase recycling and utilization of different wastes</li> <li>• Valorizing low quality resources and improving soil and ground water quality</li> <li>• Development of globally competitive green technologies, products and processes together with industrial partners</li> <li>• Educating engineers and scientists for academia and industry</li> <li>• Creating spin-out and start-up companies</li> </ul>

Department	Competencies (Research, technologies and methods)	Application	Market and societal potentials
<b>DTU Compute</b>	DTU Compute is an internationally unique academic environment spanning the science disciplines mathematics, statistics and computer science. At the same time, we are an engineering department covering informatics and communication technologies (ICT) in their broadest sense including areas such as blockchain technologies and artificial intelligence..	We play a major role in addressing the societal challenges of the digital society where ICT is a part of every industry, service, and human endeavour.	
<b>DTU Environment</b>	<p>Technology development: environmental biotechnologies, bioenergy technologies, water treatment, biorefinery, high added value products, waste valorization, resource recovery, urban water systems, microbial protein</p> <p>Methods and tools: process design, modeling and control, life cycle assessment, life cycle cost assessment, mass flow analysis, bioreactors/fermenters, bio-electrochemical platforms, microbial ecology, water supply, waste management, sensor development, monitoring and mitigation of greenhouse gas emissions, material analysis and characterization</p>	<p>We work in different areas:</p> <p>a) Development of bio-based technologies for treatment of residual streams and valorization into high-value products, which can potentially substitute products generated with fossil fuels and primary materials. We follow an integrated approach, using experimental work (at lab and pilot scale), process modeling and control, and advanced molecular tools for microbial characterization.</p> <p>b) Development of tools and methods for environmental and feasibility analysis of processes and technologies. The development links to experimental work and includes modelling of uncertainties.</p>	<p>Proposed biotechnologies can be combined with any industrial activity or service which produces residual streams that can be valorized to bio-based products and energy. This includes, e.g., management of waste from urban areas, agriculture, food industry, or wastewater remediation.</p> <p>Environmental biotechnologies can support food and energy supply security, local employment in rural areas, use of marginal lands and a solution for pollution generated by society.</p>
<b>DTU Food</b>	<p>Cultivation of algae for production of bioactive compounds (omega-3 fatty acids, pigments, proteins, antioxidants). Multiextraction of bioactive compounds from seaweed and microalgae.</p> <p>Downstream processing of microalgae. Analysis of bioactive compounds, minerals and contaminants.</p> <p>Enrichment of foods with omega-3 PUFA and vitamins.</p> <p>Valorisation of sidestreams from the seafood and brewery industry to produce food ingredients.</p> <p>Biorefinery using cell factories to produce proteins, sugars, lignins, potable alcohol etc from waste materials (e.g. discarded fruits and vegetables, whey from dairy production).</p> <p>Sustainable food production through the development of microbial processes for the production of high quality protein / Development of new biological processes for downstream processing and recovery of selected components of the food value chain (beer and dairy waste) /Sustainable production of biochemicals through engineered microorganisms (lactic acid bacteria) / Recirculation of water / Growing protein rich mealworms on waste from bakeries and breweries/ Organic muscles turning into feed / Laboratory to pilot scale studies in-house / Food safety, risk analysis, biorefining, analytical methods</p>	Food, feed and cosmetic industry especially brewing and beverage industry, ingredients for a wide range of foods.	<p>Food, feed and cosmetic markets</p> <p>Potential to increase utilization of raw materials and decrease waste.</p> <p>Feed market/ Potential to increase utilization of side streams.</p>



Department	Competencies (Research, technologies and methods)	Application	Market and societal potentials
<b>DTU Management</b>	<p>a) Least-cost optimization of bioenergy plants and their value chains including analysis of potential placement, sizes and role in future integrated energy systems including the electricity, heat, gas and transport sectors. Bioeconomy market and policy designs.</p> <p>b) Analysis of systemic innovation processes, corporate strategies and value chain dynamics in biobased industries.</p> <p>c) Life cycle assessment of food and biorefinery systems</p>	<p>a) Analysis of robust and feasible investments from a socioeconomic and private economic point of view that takes into account competing technologies and potential future developments.</p> <p>b) Analysis of valorization options and transition pathways for organic residues in the urban, brewing, dairy, aquaculture, and slaughterhouse sectors. Analysis of policies and value chains for transport biofuels.</p> <p>c) Environmental performance assessment of agricultural production, food items, consumer profiles and nutritional strategies as well as strategies for altered/new (refined) utilization of crop and residual resources from agriculture and food industry.</p>	<p>a) Sustainable, flexible and energy efficient utilization of biomass resources. Robust investment decisions for the society and for investors.</p> <p>b) Companies can increase their sustainable competitive advantage through a circular bioeconomy approach. Societies can reduce GHG emissions and alleviate pressures on land resources and biodiversity through a more efficient use of biomass.</p> <p>c) Decision support on various scales from corporate level targeting individual companies producing specific food items to national policy decision support on recommended diets and utilization of agricultural resources.</p>
<b>DTU Mechanical Engineering</b>	Design, analysis and optimization of biorefineries using thermodynamic modelling. Process integration, energy/exergy analysis, plant cost estimation, polygeneration, thermal gasification, solid oxide cells (SOFC/SOEC), catalytic hydrolysis, steam drying, power cycles, heat pumps.	Development of flexible and energy efficient biorefineries with low/zero CO <sub>2</sub> emissions. Integrating electricity storage with biorefineries.	Sustainable, flexible and energy efficient production of biofuels, chemicals, feed, electricity and heat. High efficiency electricity storage. Minimizing energy consumption of industrial processes.

## Appendiks

# Rapporter og litteratur

- Bugge, M.M., S. Bolwig, S., T. Hansen, A.N. Tanner. Innovation for waste valorization in the bioeconomy. Chapter 3 in: Klitkou, A., A. Fevolden, M. Capasso. (2019). *From waste to value - a study of valorisation pathways for organic waste streams in Nordic bioeconomies*. London: Routledge.
- Damvad Analytics. (2018). *Fødevareingrediensbranchens betydning for Danmark*.
- DI & Landbrug & Fødevarer (2017) *World-class food innovation towards 2030. Bringing Danish Research Solutions to the Global, Sustainable Food Production*.
- Ellen MacArthur Foundation. (2015). *Potential for Denmark as a Circular Economy, A Case Study From: Delivering The Circular Economy - A Toolkit for Policy Makers*.
- European Commission, & Directorate-General for Research and Innovation. (2013). *A bioeconomy strategy for Europe: working with nature for a more sustainable way of living*.
- European Commission, & Directorate-General for Research and Innovation. (2018). *A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment : updated bioeconomy strategy*.
- Jørgensen, B. H.; Andersen, K. A., Wilson E. J. (2018) *Accelerating the clean energy revolution - perspectives on innovation challenges: DTU International Energy Report 2018*
- Landbrug & Fødevarer (2017) *Cirkulær bioøkonomi i den danske fødevareklynge. Fra spild til ressource og nye forretningsmuligheder*.
- Lange, L., & Lindedam, J. (2016). *Fagligt Fælles Forbund 3F: Bioøkonomiens Grundbegreber - Det Biobaserede Samfund*
- Lange, L., Skiadas, I., Gavala, H., Jensen, A., Sárossy, Z., Thomsen, T. P, Dam-Johansen, K., Meyer, A. S. (2018) *Sustainable Bioenergy and Biofuels Innovation Challenge*. Chapter 8 in Jørgensen, B. H.; Andersen, K. A., Wilson E. J. (2018) *Accelerating the clean energy revolution - perspectives on innovation challenges: DTU International Energy Report 2018*
- Miljø- og Fødevareministeriet, Erhvervsministeriet, & Regeringen. (2018). *Strategi for cirkulær økonomi: mere værdi og bedre miljø gennem design, forbrug og genanvendelse*.
- Miljø- og Fødevareministeriet, Erhvervsministeriet, & Regeringen. (2017). *Advisory Board for cirkulær økonomi. Anbefalinger til Regeringen. om cirkulær økonomi*.
- Miljø- og Fødevareministeriet, Bioøkonomipanelet (2018) *Anbefalinger fra Bioøkonomipanelet. Proteiner for fremtiden*.
- Olsson, O., Bruce, A., B. Hektor, R. G., P. Lamers, D. Hartley, J. Ponitka, ... D. Thrän. (2016). *Cascading of woody biomass: definitions, policies and effects on international trade | Bioenergy*.
- Petersen, J. K., Bjerre, A.-B., Hasler, B., Thomsen, M., Nielsen, M. M., & Nielsen, P. (2016). *Blå biomasse - potentialer og udfordringer for opdræt af muslinger og tang*. (DTU Aqua-rapport No. nr. 312-2016). Danmarks Tekniske Universitet.
- Ronzon, T., & M'Barek, R. (2018). Socioeconomic Indicators to Monitor the EU's Bioeconomy in Transition. *Sustainability*, 10(6), 1745.
- Sirkin, T., & ten Houten, M. (1994). The cascade chain: A theory and tool for achieving resource sustainability with applications for product design. *Resources, Conservation and Recycling*, 10, 213-276.
- United Nations. (2015). *Paris Agreement*.
- United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2017). *World Population Prospects: The 2017 Revision*.
- Vækstteam for Ingrediensbranchen, & Miljø- og Fødevareministeriet. (2018). *Anbefalinger til regeringen. Foodshakers: anbefalinger til regeringen*. Miljø- og Fødevareministeriet.

## Appendiks: Interviewpersoner fra virksomheder og medlemmer af arbejdsgruppen

# Arbejds- og redaktionsgruppe:

Jesper Ahrenfeldt, seniorforsker, DTU Kemiteknik  
Morten Andersen, forskningsjournalist, manjourn.dk  
Irimi Angelidaki, professor, DTU Miljø  
Pernille Bengtzen, specialkonsulent, DTU, Afdeling for Innovation og Sektorudvikling  
Simon Bolwig, afdelingsleder, DTU Management (initiativtager og styregruppe)  
Lasse Røngaard Clausen, lektor, DTU Mekanik  
Bjarke Bak Christensen, professor, Institutleder, DTU Bioengineering  
Lisa Maria Hansen, DTU, Afdeling for Forskning og Relationer  
Timothy John Hobley, lektor, DTU Fødevareinstituttet og  
Charlotte Jacobsen, professor, DTU Fødevareinstituttet  
Sheila Ingemann Jensen, forsker, DTU Biosustain  
Thomas Kledal, leder af Life Science og Bioengineering Innovation, DTU Veterinærinstituttet  
Lars Kolind, chefkonsulent, DTU, Afdeling for Forskning og Relationer  
Lene Lange, professor, DTU Kemiteknik (initiativtager og styregruppe)  
Dennis Lisbjerg, sektionsleder, DTU Aqua  
Jan Madsen, professor, vicedirektør, DTU Compute  
Anne Line Mikkelsen, chefkonsulent, DTU, Afdeling for Forskning og Relationer  
Jan E. Molzen, kontorchef, DTU Afdeling for Innovation og Sektorudvikling  
Solange I. Mussatto, gruppeleder, DTU Biosustain  
Borja Valverde Pérez, postdoc, DTU Miljø  
Christian Riisager-Pedersen, forskningsassistent, DTU Aqua  
Anders Pall Skött, senior forretningsudvikler, DTU, Afdeling for Innovation og Sektorudvikling (Projektleder)  
Anne Nygaard Tanner, gruppeleder, DTU Management (initiativtager og styregruppe)  
Marianne Thellersen, koncerndirektør, DTU (direktionsansvarlig)  
Tobias Pape Thomsen, postdoc, DTU Kemiteknik (grafik i figur 1,2 og 3)

### Grafik og billeder

Grafikken på forsiden og figur 1, 2 og 3 i rapporten er udført for arbejdsgruppen af Tobias Pape Thomsen, DTU Kemiteknik. Figuren på forsiden og Figur 1 om den cirkulære bioøkonomi er udarbejdet i forbindelse med sektorudviklingsprojektet. Figur 2 og 3 om værdipyramide og kaskadeprikkippet er baseret på figurer fra henholdsvis *Olsson, O., Bruce, L., Hektor, B., Roos, A., Guisson, R., Lamers, P., & Thrän, D. (2016). Cascading of woody biomass: definitions, policies and effects on international trade. IEA Bioenergy: Task 40: April 2016* og *Sirkin, T., & Houten, M. T. (1994). The cascade chain: A theory and tool for achieving resource sustainability with applications for product design. Resources, Conservation and Recycling, 10(3), 213-276.*

Billederne side 27, 45 og 49 er fra Colourbox. Øvrige billeder uden kildehenvisning er fra DTU's billededatabase.



## Interviewpersoner fra virksomheder og organisationer:

DI: Peter Bernt Jensen, Anne Lund Wilhelmsen, Trine Ringkjær og Louise Bünemann

Landbrug & Fødevarer: Morten Andersen Linnet, Annette Christiansen, Jens Astrup Madsen og Henrik Bang Jensen

AquaGreen: Henning Schmidt-Petersen

Arla: Kristian Eriknauer og Henrik Jørgen Andersen

Beyond Coffee: Tobias Lau

Biomar: Ole Christensen

Capnova: Mogens Riber

Daka Denmark: Erik Fabricius Mansig

Den Grønne Investeringsfond: Mette Skøt

Fermentation Experts: Jens Legarth

Guldborgsund Kommune: Mette Jørgensen

INBIOM / Agro Business Park: Jacob Mogensen

KMC: Nicolai Hansen og Gitte Graverholt

Miljø- og Fødevareministeriet / Bioøkonomipanelet: Asbjørn Børsting, Lasse Juul-Olsen og Espen Tind-Nordberg

Nature Energy: Jonas C. Svendsen og Martin Jeppesen

Nordic Sugar: John Jensen

NIRAS: Thomas B. Olsen

Novozymes: Claus Crone Fuglsang, Thomas Schrøder og Anne Stenbæk

SEGES: Lars Villadsen Toft

Unibio: Henrik Busch-Larsen og Michael Jensen

Ørsted: Hanne Risbjerg Sørensen

Disclaimer: Ovenstående personer i virksomheder, universiteter og offentlige institutioner og myndigheder er interviewet eller har givet oplæg i forbindelse med projektet, men kan ikke nødvendigvis tages til indtægt for indholdet af rapporten. Det kan alene DTU. Henvendelser vedr. rapporten kan rettes til projektleder Anders Pall Skött, [anps@dtu.dk](mailto:anps@dtu.dk).



**Danmarks Tekniske Universitet**  
Anker Engelundsvej 1  
2800 Kgs. Lyngby