



Anbefalinger fra Det Nationale Bioøkonomipanel

# Avanceret bioraffinering og kaskadeudnyttelse

Oktober 2024



**Anbefalinger fra Det Nationale Bioøkonomipanel  
– Avanceret bioraffinering og kaskadeudnyttelse**

**Oktober 2024**

**Ministeriet for Grøn Trepert  
Vester Voldgade 123, 1552 København**

**ISBN: 97887-85315-00-7**

**Fotos: Colourbox**

**Layout: Maj Iversen Grafisk Studio**

**Publikationen kan downloades på  
[mgtp.dk](http://mgtp.dk)**



# Indhold

<b>Forord</b> . . . . .	<b>4</b>
<b>Anbefalingerne i overskrifter</b> . . . . .	<b>6</b>
<b>Indledning</b> . . . . .	<b>7</b>
<b>Bioøkonomi som en del af løsningen på udfordringer med klima, miljø og biodiversitet</b> . .	<b>11</b>
Behov for nytænkning for brug af bioressourcer . . . . .	13
Kulstof i bioøkonomien: ressource og udfordring . . . . .	15
<b>Reguleringsmæssige rammer</b> . . . . .	<b>16</b>
Grøn bioraffinering og arealregulering . . . . .	18
Godkendelsesprocesser i EU. . . . .	19
Regulatoriske sandkasser . . . . .	20
Flagskibs- og demonstrationsprojekter. . . . .	21
Dansk EU-formandskab og internationale samarbejder . . . . .	22
<b>Anbefalinger om reguleringsmæssige rammer</b> . .	<b>23</b>
<b>Bio-industriel symbiose</b> . . . . .	<b>25</b>
Samlokalisering i biosektoren . . . . .	27
Symbiose-potentialet . . . . .	28
<b>Anbefalinger om bio-industrielle symbioser</b> . . .	<b>29</b>
<b>Bioressourcer og teknologi</b> . . . . .	<b>30</b>
Fremtidens biobaserede løsninger . . . . .	32
Potentialet fra skov og skovbrug. . . . .	33
Byggematerialer og CO <sub>2</sub> -lagring. . . . .	34
Teknologiens kort- og langsigtede potentiale . . . . .	35
Bioraffinerings middelfraktion og emballage. . . . .	36
Kunstig intelligens og biosektoren . . . . .	37
<b>Anbefalinger om bioressourcer og teknologi</b> . . .	<b>38</b>
<b>Kvantificering af bioøkonomien</b> . . . . .	<b>40</b>
<b>Anbefalinger om kvantificering af bioøkonomien</b>	<b>42</b>
<b>2. afgrøde (supplerende afgrøde)</b> . . . . .	<b>43</b>
<b>Anbefalinger for 2. afgrøde (supplerende afgrøde)</b> . .	<b>45</b>



# Forord

Danmarks arealer og bioressourcer er knappe, og efterspørgslen på plads og ressourcer forventes kun at stige i fremtiden. Det giver incitament til at optimere ressourceudnyttelsen, fordi det både vil skabe øget effektivitet og understøtte arealbehovet til blandt andet mere skov, natur, biodiversitet og vedvarende energi på land. Et helt centralt spørgsmål i fremtiden bliver derfor, hvordan vi håndterer bioressourcerne mest effektivt og økonomisk rentabelt.

Det Nationale Bioøkonomipanel har ad flere omgange arbejdet med temaer inden for effektiv udnyttelse af bioressourcer. Blandt andet i 2016 med anbefalinger til håndtering af organisk affald<sup>1</sup> og havets bioressourcer<sup>2</sup> og senest i 2022 med anbefalingerne til bioressourcer i den grønne omstilling.<sup>3</sup> Arbejdet med bioressourcer er komplekst og skal betragtes fra mange forskellige perspektiver for at sikre, at potentialet i ressourcerne håndteres bedst muligt. Panelet fokuserer denne gang på anbefalinger til avanceret bioraffinering og kaskadeudnyttelse.

Kaskadeudnyttelse handler om at udnytte ressourcens potentiale ved at bruge den i flere trin for at få mest ud af den. For at kunne gøre det, bliver separering og raffinering relevant. I processen kan der bruges både mekaniske, biologiske, kemiske og termiske teknologier. Samlet set kan processen frembringe vigtige byggeklodser, der kan bruges i en række forskellige sektorer.

Danmarks Tekniske Universitet (DTU) har i en analyse for Det Nationale Bioøkonomipanel kortlagt 65 virksomheder i Danmark, der arbejder med forskellige typer af bioraffinering. Nogle af virksomhederne har markedsklare produkter, mens andre er på et tidligere stadie.<sup>4</sup> Der er dertil et stort udviklingspotentiale for de teknologier, der ikke er markedsklare endnu, men som vil kunne bidrage til at realisere det grønne og erhvervmæssige potentiale ved bioraffinering og kaskadeudnyttelse.

Det er panelets hovedbudskab, at der er stort potentiale i at fremme og effektivisere kaskadeudnyttelse. Optimeret kaskadeudnyttelse ved hjælp af avancerede bioraffineringsteknologier kan bidrage til, at bioressourcerne anvendes effektivt og optager et mindre areal, så de store potentialer for den grønne omstilling kan realiseres.

## Ophæng og baggrundsanalyser

Det Nationale Bioøkonomipanel blev relanceret som en del af *Aftale om grøn omstilling af dansk landbrug* (landbrugsaftalen) af 4. oktober 2021. Panelet skal i perioden 2021-24 levere flere runder af anbefalinger, til ét afgrænset tema ad gangen. Dette er panelets anden runde af anbefalinger i perioden. Ministeren for fødevarer, landbrug og fiskeri har bedt Det Nationale Bioøkonomipanel om at udarbejde anbefalinger til, hvordan avanceret bioraffinering og andre modeller baseret på cirkulær opgradering af biomasse understøttes og anvendes bedst muligt, knyttet til princippet om kaskadeudnyttelse af bioressourcer. Med 18 anbefalinger stiller panelet skarpt på dette tema.

Anbefalingerne bygger primært videre på panelets tidligere anbefalinger fra 2022, der udpegede udfordringer og overordnede løsningsmetoder vedrørende udnyttelsen af bioressourcer. Panelet går denne gang i dybden med specifikke tiltag, som regeringen kan anvende for at understøtte en effektiv udnyttelse af landets bioressourcer.

Med anbefalingerne leverer Det Nationale Bioøkonomipanel et væsentligt bidrag til regeringens fortsatte arbejde med at implementere landbrugsaftalen og til det kommende arbejde med at implementere en politisk aftale med udgangspunkt i *Aftale om et grønt Danmark* (trepartsaftalen) af 24. juni 2024. Anbefalingerne adresserer de store udfordringer, der knytter sig til landbrugets grønne omstilling. Målet er at skabe betingelserne for en win-win-situation, hvor den biobaserede erhvervssektors konkurrenceevne og eksportmuligheder øges og får beskæftigelsen til at stige samtidig med, at det klima- og miljømæssige aftryk mindskes, biodiversiteten understøttes og de planetære grænser respekteres.

Til at understøtte arbejdet i Det Nationale Bioøkonomipanel er der udarbejdet to analyser. Aarhus Universitet (AU) har i samarbejde med Københavns Universitet (KU) leveret en kortlægning af potentialer og effekter ved omlægning til afgrøder til grøn bioraffinering og DTU har leveret en analyse af fremspirende bioraffinerings-teknologier. Universiteternes analyser opsummeres kort i faktabokse henholdsvis under kapitlerne "Reguleringsmæssige rammer" og "Bioressourcer og teknologi".

Panelet bemærker, at det ikke er undersøgt, om implementeringen af visse af anbefalingerne vil kræve statsstøttegodkendelse i henhold til EU's statsstøtteregler. Dette vil i givet fald være en nødvendig overvejelse i den videre proces.

# Anbefalingerne i overskrifter

Der er 18 anbefalinger samlet i fem kategorier, som svarer til kapitler i dokumentet. Anbefalingerne udfoldes i kapitlerne.

## Reguleringsmæssige rammer

- 1 Fremme af grøn bioraffinering i ny kvælstofreguleringsmodel
- 2 Innovationsvenlig regulering og optimering af godkendelsesprocesser i EU
- 3 Etablering af regulatoriske sandkasser for bioøkonomi og biosolutions
- 4 Facilitering af dansk deltagelse i Circular Biobased Europe Joint Undertaking (CBE-JU) projekter
- 5 Prioritering af bioøkonomi og biosolutions under dansk EU-formandskab 2025
- 6 Internationalt samarbejde: styrkelse af bæredygtig udvikling og innovation

## Bio-industrielle symbioser

- 7 Fjernelse af barrierer for samlokalisering af bioraffineringsanlæg og partnerskaber
- 8 Innovationsnetværk og symbiosepotentiale

## Bioressourcer og teknologi

- 9 Prioritering af biobaserede teknologier og forskning
- 10 Strategisk udnyttelse af bioressourcer og håndtering af uensartet biomasse
- 11 Skovbrug og skovrejsning
- 12 Øget brug af biogene materialer i byggeriet
- 13 Uddannelse, forskning og innovation i anvendelsen af træ
- 14 Kulstofbinding i byggematerialer
- 15 Udnyttelse af middel-fraktioner og undersøgelse af emballageafgift
- 16 Etablering af dialogforum for AI i bioøkonomien

## Kvantificering af bioøkonomien

- 17 Styrkelse af beslutningsgrundlaget for indsatser inden for bioøkonomien

## 2. afgrøde (supplerende afgrøde)

- 18 Udnyttelse af efterafgrøder i bioøkonomien



# Indledning

Vi står i dag over for en række globale udfordringer og kriser, som blandt andet omfatter klimaforandringer, ressourceknaphed og tab af biodiversitet. Kriserne har tendens til at forstærke hinanden i komplekse sammenhænge og dermed kræve nye tilgange og innovative løsninger. Bioøkonomien og de store, uudnyttede potentialer i bioressourcerne kan spille en vigtig rolle i at tackle denne kompleksitet, fordi bioøkonomien integrerer forskellige metoder, sektorer og aspekter af samfundet og naturen.

Det Nationale Bioøkonomipanel påpegede i sine seneste anbefalinger fra 2022, at biogent kulstof i fremtiden bliver en mangelvare. Panelet påpegede samtidigt, at der for at standse tabet af biodiversitet og økosystemfunktioner er behov for at afsætte flere arealer med stort biodiversitetspotentiale til natur- og biodiversitetsformål. Dertil understregede panelet behovet for, at produktionen og udnyttelsen af bioressourcer på øvrige arealer øges. Dette er fortsat en prioritet for panelet.

I sin tilbagemelding af 20. november 2023 på Det Nationale Bioøkonomipanel's anbefalinger fra 28. september 2022 har regeringen understreget, at disse giver et godt afsæt for den videre udvikling af den grønne omstilling. Regeringen fremhæver, at 2022-anbefalingerne understøtter mange af de initiativer, som gennemføres på baggrund af landbrugsaftalen, herunder handlingsplaner og strategier om blandt andet grønne proteiner, plantebaserede fødevarer, ny reguleringsmodel for kvælstof samt strategi for grønne jobs i landbruget og følgeerhverv. Endvidere berører 2022-anbefalingerne en række regeringsinitiativer vedrørende natur og biodiversitet, skovrejsning og udbygning af vedvarende energi. Endelig anfører regeringen med henvisning til panelets anbefaling om en national bioøkonomistrategi, at regeringen vil vurdere behovet for en sådan på bagkant af igangværende og kommende større processer med betydning for landbrugspolitikken. Dette giver mulighed for, at kommende anbefalinger fra Det Nationale Bioøkonomipanel's også kan indgå i vurderingen.

Med en holistisk tilgang til bioøkonomien fokuserer Det Nationale Bioøkonomipanel ikke kun på enkeltstående aspekter, såsom produktion af biobaserede materialer, dyrkning af biomasse eller bioenergi, men på at få hele den bioøkonomiske værdikæde til at hænge sammen. Herunder med fokus på høj værditilvækst og lavt spild og arealforbrug. Derfor er der brug for en tværfaglig håndtering af blandt andet ressourceforvaltning, klimahensyn, fødevareforsyningssikkerhed og udvikling, alt imens økonomi, beskæftigelse, biodiversitet samt sociale- og miljømæssige aspekter integreres i de biobaserede løsninger.

Panelets tilgang vil give erhvervslivet mulighed for at gribe nye innovationspotentialer og eksportmuligheder. Bioøkonomien er et område i stor vækst globalt, og Danmark har et stærkt fundament for at høste erhvervsmæssige potentialer inden for bioøkonomien med et stærkt forskningsmiljø, gode traditioner for samarbejde mellem universiteter og erhvervsliv, verdensledende virksomheder samt en underskov af dygtige iværksættere.<sup>5,6</sup>

Kaskadeudnyttelse og avanceret bioraffinering er to centrale elementer i panelets tilgang til bioøkonomien. Ved kaskadeudnyttelse af biomasse ses der på ressourcer og bioraffinering som en del af en proces, hvor hvert trin maksimerer værdi og reducerer spild. En rettidig og strategisk brug af kaskadeudnyttelse og avanceret bioraffinering i bioøkonomien kan skabe arbejdspladser, øge vækst og eksport samt fremme den grønne omstilling ved at forlænge ressourcernes brug. Dette vil også frigøre arealer til klima, natur og biodiversitet. Ved at lægge fokus på *avanceret* bioraffinering prioriteres, hvordan biomasse kan udnyttes så højt oppe i kaskadeudnyttelsens led som muligt.

### *Princippet om kaskadeudnyttelse*

I en kaskadeudnyttelse initieres processen med udvinning af højværdiprodukter som sundhedsfremmende produkter, fødevarer og farmaceutika fra biomassen og foder. Efterfølgende udnyttes restprodukter herfra til produktion af f.eks. materialer og kemikalier, og det sidste restprodukt anvendes til f.eks. energiproduktion og kulstof opfanges, anvendes eller lagres. Ved at prioritere brugen af bioressourcer til produkter med højere værdi først og derefter udnytte restprodukter til produkter med lavere værdi, kan der opnås maksimal ressourceeffektivitet. Produkter i toppen af kaskadeleddene kan samtidig skabes fra bunden af leddene ved brug af biomasse-byggesten, f.eks. ved produktion af proteiner.

### *Avanceret bioraffinering*

Mens kaskadeudnyttelse lægger fundamentet for en systematisk udnyttelse af biomasse, omdanner bioraffinering biomasse til en række produkter. Avanceret bioraffinering benytter hertil avancerede teknologier og processer til at omdanne biomasse til højværdiprodukter. Avanceret bioraffinering kan maksimere ressourceudbytte og anvendelse ved at udnytte hele biomassen så effektivt som muligt og minimere spild. Avanceret bioraffinering styrker processen i kaskadeudnyttelse ved at inkorporere teknologier, der muliggør en mere alsidig og effektiv brug af biomassen herunder f.eks. cellulose, hemicellulose, lignin og proteiner, i produktionen m.m.

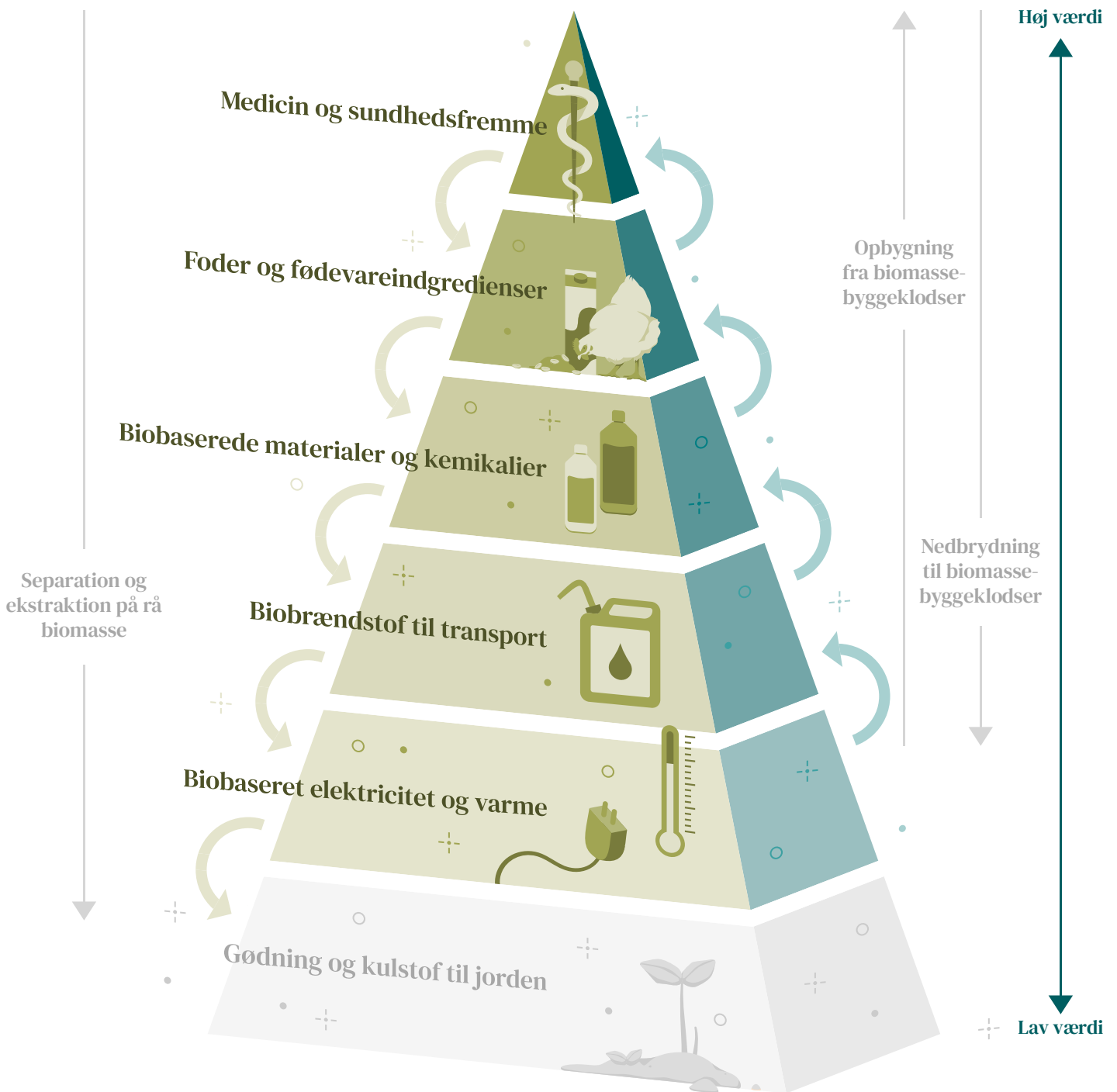




# Visualisering af princippet om kaskadeudnyttelse

Anm.: Princippet om kaskadeudnyttelse kan beskrives gennem værdiled. På venstre side viser pilene, hvordan hvert trin i kaskaden producerer et restprodukt, der kan udnyttes i det næste trin. På højre side illustrerer pilene, hvordan biomassen, der består af biomasse-byggesten, ændrer struktur og form gennem de forskellige trin i.

Kilde: Adapteret fra M Ambye-Jensen 2021.<sup>7</sup>  
En given proces kan omfatte alle led i kaskaden. Der er dog også mulighed for, at sidestrømme fra andre forarbejdningsprocesser kan indgå undervejs i kæden.



# Kaskadeudnyttelse i praksis

## BioRefine og Vestjyllands Andel:

Biorefine producerer årligt 1500 ton græsprotein af kløvergræs og lucerne fra i alt 1000 ha lokale græsarealer. Efter høst af det friske græs på marken transporteres det til BioRefines anlæg, hvorefter græsset presses til en grønsaft og en grøn fiber. Fra grønsaften udvindes græsprotein, som kan erstatte importeret protein til dyrefoder. Restproduktet fra proteinudvinding er en brunsaft, hvilken sammen med den grønne fiber kan bruges til input i biogasanlæg. Parallelt med dette arbejdes der på udvikling af humant protein samt udnyttelse af fiber til emballage og byggematerialer. BioRefine er dermed et godt eksempel på en virksomhed, der udnytter bioraffinering til at udvinde højværdiprodukter af biomassen, hvorefter resten af biomassen udnyttes længere nede i kaskaden.<sup>8</sup>

Vestjyllands Andel fokuserer på kaskadeudnyttelse af biogen CO<sub>2</sub> som er en af de indsatsområder, hvor den grønne omstilling af dansk landbrug kan bidrage til at fremme både bæredygtighed og økonomisk effektivitet. Virksomheden støtter og investerer bl.a. i biogasproduktion i kraft af deres samarbejde med Danish Bio Commodities. Samtidig har virksomheden iværksat en række indsatser inden for udvinding af græsprotein til anvendelse i dyrefoder, hvor restprodukterne herfra netop kan anvendes som biomasse til biogas. Ved at udnytte biomasse effektivt og anvende restprodukter fra fødevarer stræber Vestjyllands Andel efter at optimere ressourceudnyttelsen.<sup>9</sup>

## Arla Foods Ingredients:

Arla Foods Ingredients udnytter deres råvarer gennem principper for kaskadeudnyttelse, hvor sidestrømme fra nye produkter konstant forsøges værdiforøget. Senest har Arla Foods Ingredients i samarbejde med virksomheden ENORM, som producerer insektprotein fra soldaterfluelarver, set et potentiale i at højne værdien af en af deres flerafledte sidestrømme. Denne sidestrøm, delaktoseret permeat (DLP) dannes under adskillelsen af forkrystalliseret laktose fra vallepermeater (mælk/valle → vallepermeat → laktose → DLP), og har hidtil været brugt i biogasanlæg. Arla Foods Ingredients leverer nu DLP som foder til ENORMs soldaterfluelarver, og formår på den måde at højne værdien af endnu en af deres sidestrømme til et produkt højere oppe i kaskaden. Dette er et eksempel på, hvordan en sidestrøm kan opgraderes via en biosolutiontilgang til anvendelse højere oppe i kaskadeudnyttelsespyramiden, der både øger den samlede værdi og bæredygtigheden i produktionen.<sup>10</sup>

## Emmelev:

Emmelev raffinerer raps til forskellige produkter og aftager imellem en tredjedel og halvdelen af den raps, der dyrkes på op til 200.000 hektar dansk landbrugsjord. Virksomheden producerer rapsolie, biodiesel, foderkager, protein og glycerin til fødevarerindustrien. Rapsprodukterne anvendes af fødevarerproducenter, lægemiddelindustrien, landmænd og transportsektoren. I marts 2024 har Emmelev A/S investeret i fermenteringsvirksomheden Ferm Food for at optimere udnyttelsen af "pressekagen", som er restproduktet efter udvindingen af olie. Ved at anvende kaskadeudnyttelse kan Emmelev maksimere værdien af hver del af rapsen: først udvindes olie til højværdi-produkter, og derefter bliver restproduktet, pressekagen, optimeret ved fermentering med mælkesyrebakterier, som gør pressekagen spiselig for mennesker.<sup>11</sup>



# Bioøkonomi som en del af løsningen på udfordringer med klima, miljø og biodiversitet



Bioøkonomien rummer flere løsninger, der reducerer og binder kulstof og fremmer biodiversitet. Drivhusgasser kan reduceres gennem f.eks. øget kulstofbinding i planter og jord og ved fremme af cirkulære økonomiske tiltag. Mere effektiv og helhedsorienteret udnyttelse af bioressourcerne kan frigøre produktionsarealer til natur, hvilket understøtter biodiversiteten.



# Behov for nytænkning for brug af bioressourcer

En ansvarlig prioritering af bioressourcer har betydning for klimapåvirkningen og samtidig vil fremtidens forventede klima gøre Danmarks ressourceprioritering relevant, fordi nordeuropæiske lande i fremtiden forventes at have gode vækstforhold for bioressourcer sammenlignet med andre lande i Europa.<sup>12</sup> Oven i det, ligger også et stort erhvervsmæssigt potentiale i at udnytte nye muligheder med bioressourcer.

Det Nationale Bioøkonomipanel noterer sig, at der er behov for nytænkning af vores brug af bioressourcer herunder ved at indtænke avanceret bioraffinering og cirkulær opgradering af biomasse i produktionen. Optimalt bliver hele ressourcen benyttet til højværdi gennem f.eks. fermenteringsforædling. Hvis ikke det er muligt, bør princippet om kaskadeudnyttelse følges, så bioressourcer først benyttes til energiformål, når øvrig værdi er trukket ud i de andre led i kaskadeudnyttelsen.

Lovgivningsmæssige ændringer kan hertil ændre rammebetingelser for brug af bioressourcer og være med til at forme, hvilket formål bioressourcer benyttes til. Dansk brug af bioressourcer kan f.eks. blive påvirket af ændringer i EU's energifgiftsstruktur. Med "Fit for 55" præsenterede Europa-Kommissionen i 2021 et revideret energibeskatningsdirektiv som stadig forhandles. I den reviderede afgiftsstruktur er der blevet foreslået minimumssatser på afgifter på visse biobrændsler.<sup>13</sup>



## Biosolutions

En underkategori af bioøkonomien, der kan være med til at tackle klimaudfordringer, er biosolutions. Biosolutions er, trods den engelske ordlyd, et begreb fra Danmark, som dækker over bioteknologiske klima- og miljøløsninger. Biosolutions repræsenterer bæredygtige løsninger, der anvender biobaseret materiale som enzymer og mikroorganismer til fermenteringsprocesser og som slutprodukter. Med andre ord er biosolutions udviklingen af tekniske løsninger og produkter, der forudsætter en bæredygtig udnyttelse af biologiske ressourcer, som bioøkonomien søger at fremme.

Biosolutionsvirksomheder kan bl.a. fremstille proteiner til tarmsunde fødevarer og foder som alternativ til kød og importeret soja, erstatte kemiske plantebeskyttelsesmidler og gødning med grønne alternativer, forbedre næringsindhold, smag og tekstur i plantebaseret kost samt forlænge holdbarheden af fødevarer. Derudover kan biosolutionsvirksomheder også producere produkter såsom tekstiler, emballage og byggematerialer.

Europa-Kommissionen fremhævede i oktober 2023, at biobaserede produkter kan erstatte fossilintensive produkter og spare op til 2,5 mia. tons CO<sub>2</sub>e hvert år i EU, når vi når 2030.<sup>14</sup> Dette understreger potentialet for biosolutions.

Danske virksomheder er førende inden for biosolutions, som bl.a. er særligt udbredt inden for avancerede fødevarer, hvor vi har styrkepositioner inden for biobaserede ingredienser og fermenteringsteknologi. Her anvendes biosolutions bl.a. i fremstillingen af øl og ost.<sup>15</sup> Den danske biosolutionssektor baserer sig på stærke forskningsmiljøer og en stærk international forankring med både verdensledende virksomheder og dygtige iværksættervirksomheder. Danmark har dermed et stærkt fundament for at skabe en ny dansk styrkeposition ved at bringe danske løsninger i spil i Danmark og i udlandet.



Teknologisk Instituts Biosolutions Technology Center skal støtte op om udviklingen af bæredygtige teknologier og processer i landbrugs- og fødevarersektoren.

Ifølge en rapport fra Copenhagen Economics fra 2022, vurderes markedet for danske biosolutions at kunne tredobles frem mod 2030, hvor Danmark kunne opnå en vækst til mere end 105 mia. kr. i globalt salg, hvis virksomhederne formår at holde fast i deres markedsandel. Sektoren bidrager med 13 mia. kr. til BNP og sælger for 35 mia. kr. årligt, hvoraf 27 mia. kr. er eksport. Biosolutions beskæftiger i dag ca. 6.800 personer i Danmark.<sup>16</sup> Fødevarerindustrien og den industrielle bioteknologi udgør 90 pct. heraf, store virksomheder (over 250 årsværk) står for 85 pct. af de beskæftigede. Beskæftigelsen hos underleverandører til biosolutionssektoren ligger på et tilsvarende niveau. Med udgangspunkt i ovennævnte forventninger til markedsvæksten vurderes det, at biosolutionssektoren frem mod 2030 kan skabe omkring 7.000 nye arbejdspladser frem mod 2030.<sup>17,18</sup> Heraf forventes de fleste nye jobs at ligge indenfor fødevarerindustrien (f.eks. fermentering, fødevarer kulturer, ingredienser og alternative proteiner) samt industriel biotek (f.eks. industrielle enzymer).

# Kulstof i bio- økonomien: ressource og udfordring

Jordens økosystemer har til alle tider fungeret som en cirkulær bioøkonomi, hvor fotosyntese omdanner solens energi til de nødvendige ressourcer for livets opretholdelse. Moderne bioøkonomiske tiltag bygger på disse naturlige processer ved at anvende fotosyntetiske produkter så effektivt som muligt. Selvom bioøkonomi ikke er et nyt koncept biologisk, har vores afhængighed af den fossile økonomi betydet, at der ikke har været tilstrækkeligt fokus på bioøkonomiens potentiale. Vi står over for udfordringen at balancere behovet for energi og ressourcer med den begrænsede mængde biomasse, der produceres gennem fotosyntese. Dette gør det nødvendigt at optimere udnyttelsen af disse ressourcer - f.eks. ved optimeret udnyttelse af alle biologiske rest- og sidestrømme og recirkulering af kulstof - også selvom der ikke er mangel på kulstof endnu.

Bioøkonomien og panelets anbefalinger fokuserer på effektiv anvendelse af det kulstof, der findes i biomassen - men kulstof er både en vigtig ressource og udgør samtidigt en udfordring. For der skal findes måder at reducere kulstof i atmosfæren på, samtidig med at vi har brug for kulstoffressourcen til forskellige formål på jorden, såsom materialer, byggeri og energi. F.eks. må fly- og skibstrafik i en lang årrække forventes at være afhængig af flydende brændstof. Biobaserede brændstoffer vil her kunne medvirke til at fortrænge fossil energi.

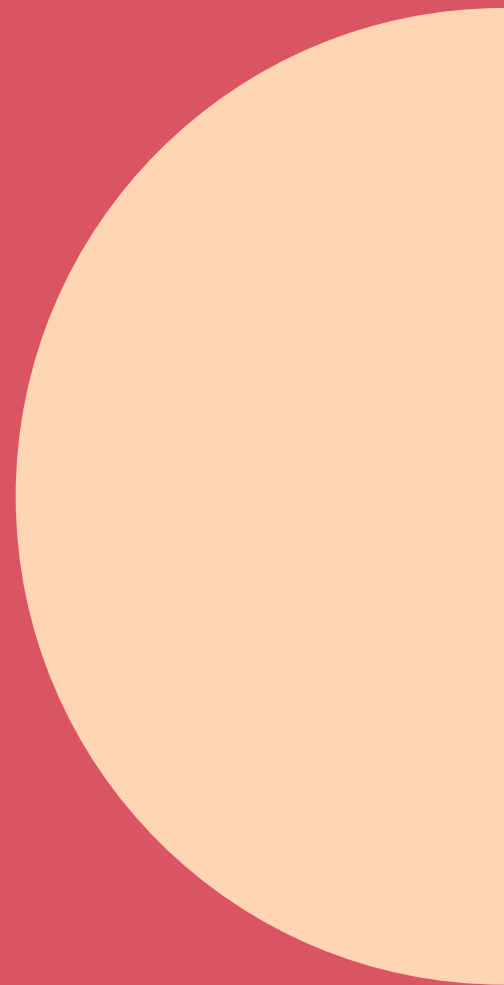
Før den fossile tidsalder og det industrialiserede landbrug var der en ligevægt mellem mængden af kulstof i jorden og fluxen af kulstof i luften. Denne ligevægt er i dag blevet forskudt til en større flux af kulstof i luften, som følge af menneskets aktivitet. Fangst og lagring af kulstof fra luften samt lagring ved omdannelse af biomasse ved f.eks. pyrolyse, kan være et effektivt skridt i retning af at sænke CO<sub>2</sub>-indholdet i atmosfæren. I landbrugsaftalen indgår pyrolyse og lagring af biokul i f.eks. landbrugsjord som en teknologi til at reducere landbrugets klimaaftryk. I dag findes der eksempler på, at biokul anvendes i andre lande som et gødningsprodukt og middel til jordforbedring. Ved produktion af biokul dannes stoffer i pyrolyseprocessen, som er miljø- og sundhedsskadelige og kan have betydning for anvendelsen af biokul, hvis koncentrationen er for høj. Samtidig er der ikke kendskab til de miljømæssige og agronomiske effekter af langvarig og udbredt anvendelse af biokul som klimavirkemiddel i landbrugssektoren. Derfor er der behov for yderligere forskning samt forsøg, der skal afklare indholdsstoffer i biokul og langtidsforsøg med anvendelse af biokul under praksisnære forhold.

Samtidig med fangst og lagring af CO<sub>2</sub> fra biogent kulstof er der et ønske om yderligere at erstatte noget af den fossile energi med biogent kulstof i form af biobrændstoffer og bioressourcer – materiale, som først og fremmest kommer fra land- og skovbrug. Erstatningen med biobrændstoffer og bioressourcer er en mulighed, hvis de enkelte stoffer er tilgængelige, uden at man skal bruge store mængder energi i at få dem mobiliseret.

For at bekæmpe klimaforandringerne er det nødvendigt at reducere kulstofniveauet i atmosfæren. Med en forventet mangel på kulstof i fremtiden, kan man ved hjælp af teknologi både nyttiggøre det biologiske materiale fra f.eks. landbruget samt kulstoffet i luften til at reducere landbrugets udledninger af CO<sub>2</sub>e og få en helt ny og økonomisk gavnlig udnyttelse.



# Reguleringsmæssige rammer







Inden for rammerne af bioøkonomien spiller incitamenter en afgørende rolle i at forme aktiviteter og fremme bæredygtig udvikling. Økonomiske og reguleringsmæssige incitamenter styrer aktiviteter inden for bioøkonomien, og motiverer aktører til at træffe ansvarlige valg og investere i innovative løsninger. Innovativ udnyttelse af biologiske ressourcer kræver en veldefineret ramme for at sikre både økonomisk vækst og ansvarlig praksis med positiv indvirkning på biodiversiteten, klima, miljø og beskæftigelsen.

# Grøn bioraffinering og areal- regulering

I forhold til f.eks. grøn bioraffinering er både arealreguleringen af landbruget sammen med incitamenter i form af afregningsprisen på græs til bioraffinering afgørende for landbrugets omlægning af landbrugsarealer til dyrkning af afgrøder til afsætning til bioraffinering. Det Nationale Bioøkonomipanel noterer sig, at der i henhold til landbrugsaftalen skal udarbejdes en ny kvælstofreguleringsmodel, og at denne kan få væsentlig betydning for det fremtidige afgrødevalg og arealanvendelse. Panelet finder det endvidere væsentligt, at produktion af grøn biomasse prioriteres på de forventede kommende ekstensiverede landbrugsarealer og henviser til indsatsen: "støtte til øvrig arealomlægning, herunder vådområder og ekstensivering" under Danmarks Grønne Arealfond i *Aftale om et Grønt Danmark*.



## *Muligheder for at øge landbrugets produktion af biomasse til grøn bioraffinering under hensyntagen til miljø og klima*

Københavns Universitet (KU) og Århus Universitet (AU) har sammen leveret en udredning til Det Nationale Bioøkonomipanel, der kortlægger produktionspotentialerne og effekterne ved en omlægning til dyrkning af afgrøder til grøn bioraffinering.

En omlægning til græsdyrkning medfører flere positive effekter ifølge kortlægningen. Udover større input til bioraffineringsanlæg medfører græsdyrkning en reduktion af både kvælstofudvaskningen og klimabelastningen fra dyrkningen af jorden, fordi der sker en opbygning af kulstof i jorden.

I udredningen fra AU og KU leveres der konkrete bud på, hvor mange hektar landbrugsareal der kan omlægges til græs til bioraffinering ved forskellige afregningspriser for græs og under forskelligt reguleringstryk på kvælstof. I udredningen angives i flere scenarier antal tons produceret tørstof i biomasse for konventionelt drevne arealer og den geografiske placering af produktionen af græs til bioraffinering for fire udvalgte kystvandoplande med udgangspunkt i vandområdeplanerne for perioden 2021-27. Effekten i reduceret kvælstofudledning og drivhusgasudledningen opgjort som CO<sub>2</sub>-ækvivalenter (CO<sub>2</sub>e) opgøres.

Rapporten fremhæver særligt, at arealandelen med græs til bioraffinering vil være størst i kystvandoplande, hvor der bliver dyrket en del græs til grovfoder i forvejen. Ved en græspris på omkring 1.400 kr. pr. ton tørstof viser resultaterne, at det kan forventes, at 20-25 pct. af arealet vil blive anvendt til græs til bioraffinering. Universiteterne fremhæver også, at der på mere lerede jorde ikke vil være den samme tilbøjelighed til at dyrke græs til de samme priser. Her er konkurrencen fra kornafgrøder større. Universiteterne anfører, at det oftest er marginaljorde, der er mest relevante i forhold til omlægning til græs. Derfor udgør tilskudsordninger til ekstensivering og braklægning en konkurrence til omlægning til græs.

# Godkendelsesprocesser i EU

Biosolutionsvirksomheder og andre virksomheder der arbejder med produkter baseret på cirkulær opgradering, møder i dag regulatoriske barrierer i arbejdet med deres projekter. Det gør sig gældende både i demonstrationsfasen, og når produkter skal commercialiseres. Udfordringer kan eksempelvis opstå, når rammerne er uklare, komplekse eller ikke tilpasset nye teknologiske muligheder.

Biosolutionssektoren i Danmark og EU er udfordret af, at de europæiske rammevilkår i flere sammenhænge ikke giver ligeså attraktive muligheder som i eksempelvis USA og Kina. Der er f.eks. langt kortere sagsbehandlingstider på godkendelse af nye biosolutionsløsninger i USA, hvor man også tilbyder udenlandske biosolutionsvirksomheder attraktive vilkår og hjælp til at etablere sig. USA understøtter også virksomheder gennem initiativer som bl.a. at udvide den nationale biomanufacturing infrastruktur til at producere alle bioteknologiprodukter internt i USA, at støtte en robust forsyningskæde, samt ved opkvalificering af arbejdskraften inden for bioteknologi og biomanufacturing.<sup>19</sup> I Danmark oplever sektoren, at komplekse og lange processer medfører en stor økonomisk og administrativ byrde for virksomhederne og hæmmer innovationen.

Godkendelse af bioteknologiske løsninger er i visse tilfælde tilrettelagt i forhold til mere konventionelle teknologier og dermed forældede. Særligt i de øverste led af kaskaden er der udfordringer med regulering i EU, når det omhandler produkter til human konsum, der er underlagt både ressource- og tidskrævende godkendelsesprocedurer. Det gælder eksempelvis genmodificering af planter og mikroorganismer, hvori der indsættes fremmed DNA, som er underlagt GMO-direktivet.

Siden direktivets vedtagelse i 2001 er der sket store teknologiske og videnskabelige fremskridt inden for genmodificering, som nu kan gøres langt mere effektivt og sikkert end førhen og ofte uden indsættelse af fremmed DNA. Derfor fremsatte Kommissionen i juli 2023 forslag til ny EU-regulering af planter frembragt ved hjælp af visse nye genomteknikker. Forslaget forventes at optimere planteproduktion til fødevarer og foder og indebærer derfor store potentialer for bioøkonomien samlet set. Der er desuden varslet et nyt forslag på EU-regulering af mikroorganismer frembragt med visse nye genomteknikker.

Der er også tydelige udfordringer med godkendelsen af nye fødevarer gennem den såkaldte novel food-forordning fra 2015. Det tager typisk to år at få godkendt en ny fødevarer, og det kan også tage betydeligt længere tid.<sup>20</sup> Der kan nævnes flere eksempler på procedurer i forbindelse med novel food-forordningen, der vurderes at være både usammenhængende og unødigt tidskrævende. Et eksempel er klassifikationen af svampe, hvor produkter udvundet fra myceliet fra en svamp, der er blevet indtaget i mange år og dermed allerede er novel food-godkendt, kan være genstand for en ny godkendelse efter forordningen. Et andet eksempel er planteprotein fra rapskager og fermenteret raps. Selvom raps har været anvendt som fødevarer mange år, bliver planteproteinet fra rapskager og fermenteret raps produceret ved hjælp af nye teknologier og produktionsprocesser. Planteproteinet bliver derfor ramt af et forsigtighedsprincip og skal godkendes på ny under forordningen.

Erhvervet fremhæver ligeledes den væsentlig længere sagsbehandlingstid i EU på godkendelsen af biopesticider, som kan tage op til 8 år, mens det i f.eks. USA kun tager 2-3 år.

# Regulatoriske sandkasser

I en række sektorer har man, for at understøtte udvikling og test af fremtidens nye løsninger, etableret organisatoriske rammer for fast dialog, såkaldte regulatoriske sandkasser, mellem virksomheder og myndigheder om udfordringer omkring den eksisterende regulering. For virksomhederne eller organisationen bag projektet skaber regulatoriske sandkasser gode vilkår for at teste og demonstrere nye produkter og teknologier, uden at komme på kant med reguleringen. For myndigheden indebærer regulatoriske sandkasser en anledning til at blive klogere på de reguleringsmæssige implikationer og forstå, hvilke udfordringer virksomhederne oplever. Det giver på den måde myndigheder en mulighed for at justere rammebetingelserne efter behov og understøtte en mere tidssvarende regulering for de nye løsninger i fremtiden.

Regeringen har med iværksætteraftalen *Et iværksætterland i verdensklasse* fra juni 2024, afsat midler til etablering af regulatoriske sandkasser inden for danske styrkepositioner, f.eks. biosolutions.

Der findes ikke en egentlig definition af, hvad en regulatorisk sandkasse er, men Erhvervsstyrelsen har lavet en kortlægning, der identificerer to hovedtyper:

**Sandkasser til samarbejde mellem virksomheder og myndigheder:** Disse sandkasser giver virksomheder mulighed for at udvikle, teste og validere nye teknologier og produkter i tæt samspil med myndigheder, som vejleder dem i relevant lovgivning. Et typisk forløb varer op til seks måneder og indeholder møder, workshops og hjælp til at identificere reguleringsudfordringer.

**Sandkasser til teknologier, der kræver lokal test og demonstration:** Disse sandkasser giver virksomheder mulighed for at teste og demonstrere teknologier på en konkret lokalitet i en begrænset periode, hvor eksisterende regulering ellers ville stå i vejen. Dette kan kræve midlertidig dispensation fra regulering, ofte via innovationshjemler eller testzoner i lovgivningen.

Etableringen af regulatoriske sandkasser og grønne teknologier kan blive understøttet af Europa-Kommis-sionens Net-Zero Industry Act (NZIA). Med vedtagelsen af forordningen, i juni 2024, skal alle EU-medlemslande kunne oprette regulatoriske sandkasser for innovative grønne teknologier, når en virksomhed anmoder om det. Hertil skal der senest ni måneder efter NZIA træder i kraft etableres et nationalt kontaktpunkt til at håndtere anmodningerne. Virksomheder får samtidig mulighed for midlertidigt og efter behov at få dispensation fra udvalgte regler, såfremt der er hjemmel i den relevante nationale sektorlovgivning. Medlemslandene kan desuden af egen drift vælge at etablere regulatoriske sandkasser. Et eksempel på en teknologi på bioøkonomi-området, som NZIA støtter, er bioteknologiske klima- og energiløsninger.

# Flagskibs- og demonstrationsprojekter

Innovationskraften i Danmark er generelt betydelig for nye projekter i den biobaserede sektor, og er i høj grad drivende for de små og mellemstore virksomheder (SMV'er), som har et stort erhvervspotentiale i for at skabe vækst og arbejdspladser i Danmark. Virksomheder i den biobaserede sektor har typisk behov for at demonstrere nye løsninger i større skala på et tidligt tidspunkt, hvilket forudsætter adgang til test-, demonstrations- og udviklingsfaciliteter (TDU). Disse faciliteter er dog meget omkostningsfulde at anskaffe for virksomhederne og er i utilstrækkeligt omfang tilgængelige i regi af universiteter og lignende, hvilket skaber en barriere for særligt SMV'erne. Danske virksomheder har været nødsaget til at opøge test- og demonstrationsfaciliteter i udlandet, hvilket fordyrer og forlænger processen frem mod markedsintroduktion. På den baggrund er der i regi af Erhvervsfyrårnet for Biosolutions med finansiering fra bl.a. Danmarks Erhvervsfremmebestyrelse etableret fem nye faciliteter til test og demonstration af biosolutions (biofermentering og bioraffinering) hos FermHub Zealand, Teknologisk Institut, DTU, RUC og 21stBio. Innovations- og erhvervspotentialet for bioprojekterne kan understøttes yderligere ved at arbejde for at få flere af disse anlæg bygget i Danmark og anlæg i større skala. Bioraffineringsanlæg i form af demonstrationsanlæg og flagskibs-anlæg er i den sammenhæng afgørende trin i udviklingen og implementeringen af bioraffinerings-teknologier. Demonstrationsanlæg har typisk til formål at demonstrere opskalering fra prototype til markedsklart produkt og har et lavere technology readiness level (TRL) end flagskibsprojekter, der fungerer som first-of-its-kind bioraffineringsanlæg. Et eksempel på et dansk demonstrationsanlæg for bioraffinering, findes hos Teknologisk Institut, som oplever stor interesse fra virksomheder til at teste produktion og processer. Bioraffineringsanlæggene kan fungere som et samlingssted for bioøkonomisk innovation, herunder sikre de nødvendige kompetencer i arbejdet.

Nye danske demonstrationsanlæg og flagskibsprojekter kan medfinansieres under EU-programmet Circular Biobased Europe Joint Undertaking (CBE-JU). CBE-JU opererer under Horizon Europe's regler fra 2021-2031. Ansøgningsprocessen for projekterne under CBE-JU er omfattende og tidskrævende. Uddannelses- og Forskningsministeriet har derfor i dag en ordning kaldet EU-opStart, der yder støtte til at skrive ansøgninger til Horizon Europe, herunder CBE-JU. Ordningen dækker 75.000-100.000 kr. til bl.a. konsulenttydelser, som er noget af det, der efterspørges af virksomhederne selv. Ordningen differentierer dog ikke mellem store og små projekter, hvilket er problematisk i forhold til den processtunge ansøgning til de store CBE-JU projekter, hvor 100.000 kr. er langt fra nok.

Det Nationale Bioøkonomipanel noterer sig, at Danmark er blandt de lande, der ikke har et flagskibsprojekt, og dermed et medfinansieret flagskibs-anlæg under ordningen i CBE-JU, men at Danmarks tre første CBE-JU-demonstrationsprojekter er i proces. Et demonstrationsprojekt gennemfører evalueringer af processer i demoskala, så man kan vurdere en forretningsplan for et egentligt anlæg. Demonstrationsprojekterne bliver gennemført under projekterne Rural BioReFarmeries, BRILIAN og Zest. Det førstnævnte anvender og udvikler en demoplatform for grøn bioraffinering på AU Viborg, som har været i brug siden 2019, mens de to sidstnævnte projekter vil få gennemført demonstrationsforsøg i Taastrup på Teknologisk Institut, som leder den danske indsats i begge projekter.

Den omfattende ansøgningsproces til Horizon Europe anses for at være årsagen til, at danske aktører ikke søger flagskibsprojekterne. En højere mulig bevilling fra EUopStart til danskledede projekter, vurderes at kunne øge incitamentet for danske aktører til at søge flagskibsprojekterne i CBE-JU.

# Dansk EU- formandskab og internationale samarbejder

I andet halvår af 2025 har Danmark formandskabet i EU. Det er samme år, som EU's bioøkonomistrategi skal revideres, og Europa-Kommissionen har tilkendegivet, at strategien med fordel kan præsenteres på en international konference under dansk formandskab. På konferencen kan man samtidig markere 20-året for EU's første strategi. Ligeledes forventes det, at en ny Biotech Act skal fremsættes i 2025. Danmark er førende inden for bioøkonomi og biosolutions og det danske formandskab er en enestående mulighed for at sætte styrket fokus på området og adressere de barrierer, som fremhæves af erhvervet, herunder f.eks. behovet for mere innovationsvenlig regulering og hurtigere godkendelser. I arbejdet med EU's Bioøkonomistrategi er der særskilt behov for at fokusere på muligheden for at harmonisere datagrundlaget og standarder på tværs af EU-landene. Danmark står stærkt i forhold til den datakvalitet, der ligger til grund for angivelse af effekten af bioøkonomi og biosolutions. Danmark kan derfor med fordel spille ind med, hvordan bioøkonomien og harmonisering af datagrundlaget for bioøkonomitiltag kan bidrage til udvikling, konkurrencekraft og vækst i den grønne omstilling og sætte fokus på vigtigheden af europæisk vidensdeling og videns-udvikling inden for bedre brug af de biologiske ressourcer.

Ud over en central rolle i det europæiske bioøkonomiske landskab, er der et behov for at styrke Danmarks internationale samarbejde i form af en mere struktureret og strategisk tilgang. Mange lande med store landbrugsarealer og biologiske ressourcer står over for udfordringer, hvilket skaber en mulighed for at dele løsninger og teknologier til håndtering af bl.a. effektiv udnyttelse af rest- og sidestrømme, der kan være til fordel for alle involverede parter. En styrkelse af det internationale bioøkonomiske samarbejde kan sigte mod at adressere klimaforandringer, der truer landbrugsproduktion, fødevareforsyning og indkomstgrundlag for parterne og som samtidig kan bidrage til løsninger, der har global frem for lokal effekt. Der er i regi af Erhvervsfyrårnet for Biosolutions fokus på at styrke internationalisering og synliggøre erhvervsfyrårnet som et globalt knudepunkt for biosolutions, der kan tiltrække iværksættere, virksomheder, investeringer og arbejdskraft fra hele verden. Herunder er der bl.a. igangsat en markedsføringsindsats i samarbejde med Invest in Denmark, hvor der f.eks. udarbejdes en fælles kernefortælling for biosolutions og det danske innovations- og iværksætterøkosystem.

Det Nationale Bioøkonomipanel noterer sig, at der i *Aftale om et Grønt Danmark* indgår nedsættelse af et ekspertudvalg, der skal udkomme med en rapport, der beskriver en mulig dansk overordnet vision for kaskadeudnyttelse af kulstof opsamlet i landbrugsafgrøder og opsamling af det biogene CO<sub>2</sub> fra biogas samt komme med konkrete anbefalinger til initiativer, der kan bidrage til at styrke Danmarks position på området. Resultatet af ekspertudvalgets arbejde vil kunne danne baggrund for arbejde med bioøkonomi under dansk formandskab og i internationale samarbejder.

# Anbefalinger om reguleringsmæssige rammer

1

## Fremme af grøn bioraffinering i ny kvælstofreguleringsmodel

Det Nationale Bioøkonomipanel anbefaler, at en kommende ny reguleringsmodel for kvælstof understøtter multifunktionel arealanvendelse til vedvarende energi, og omlægning til flerårige afgrøder til grøn bioraffinering, herunder at klimaeffekter ved omlægning indregnes. Disse arealer kan fastholdes i landbrugsdrift, men med et langt lavere tab af næringsstoffer og forbrug af pesticider samtidig med, at der bygges kulstof op i jorden. De lavbundsarealer, der udtages til bl.a. ekstensivering kan blandt andet anvendes til vedvarende energi, samtidig med at de understøtter dobbelt formål: Dels naturpleje, der understøtter højere biodiversitet og mindsker risiko for f.eks. brændenælder over hele området; dels at øge mængden af råvarer til enten grønne bioraffinaderier eller til biogas (afhængig af kvaliteten).

2

## Innovationsvenlig regulering og optimering af godkendelsesprocesser i EU

Det Nationale Bioøkonomipanel anbefaler, at Danmark arbejder for en innovationsvenlig regulering samt hurtigere og tidssvarende godkendelsesproces for eksempelvis nye fødevarer, biopesticider animalske biprodukter og lignende i EU. Herunder arbejde for at novel food-godkendelse af en fødevarer i ét land samtidig indebærer godkendelse i nabolande. Endvidere bør det afsøges, om der er potentiale for at optimere godkendelsesprocesserne for biosolutions på nationalt niveau, evt. i en fast-track ordning for særligt definerede og afgrænsede produkter. Herunder kan der arbejdes for bedre vejledning og smidigere veje gennem det samlede ansøgnings- og godkendelsesforløb.

3

## Etablering af regulatoriske sandkasser for bioøkonomi og biosolutions

Det Nationale Bioøkonomipanel anbefaler, at etableringen af et kontaktpunkt for regulatoriske sandkasser i medfør af EU-forpligtelsen under Net-Zero Industry Act (NZIA) prioriteres højt og administreres i tæt tværministerielt samarbejde, hvor virksomhederne har adgang til relevante kompetencer inden for bioøkonomi eksempelvis fødevarer sikkerhed. Panelet noterer sig, at regeringen med iværksætteraftalen *Et iværksætterland* i verdensklasse har afsat midler til etableringen af sandkasser inden for styrkepositioner og anbefaler i forlængelse heraf, at der igangsættes regulatoriske sandkasser inden for bioøkonomi og biosolutions i tæt samarbejde med ressortmyndighederne.

4

## Facilitering af dansk deltagelse i Circular Biobased Europe Joint Undertaking (CBE-JU) projekter

Det er Det Nationale Bioøkonomipanelts ønske, at der stræbes efter at få et CBE-JU flagskib placeret på dansk jord. Panelet anbefaler derfor, at det mulige tilskud i ordningen EUop-Start til at skrive ansøgninger til store projekter såsom CBE-JU, sættes op fra det nuværende beløb på 75.000-100.000 kr. til 500.000 kr. for danskledede projekter.

## 5

**Prioritering af bioøkonomi og biosolutions under dansk EU-formandskab 2025**

Det Nationale Bioøkonomipanel anbefaler, at Danmark under dansk EU-formandskab i andet halvår 2025 prioriterer biosolutions og bioøkonomi højt. Danmark bør engagere sig i udmøntningen af EU-Kommissionens Biotech og Biomanufacturing Initiativ og sikre ambitiøs fremdrift i den annoncerede Biotech Act samt arbejdet med EU-Kommissionens revidering af den europæiske bioøkonomi-strategi. Danmarks samarbejdefortidlig danskinteressentinddragelse i arbejdet med EU's bioøkonomi-strategi, der bør indeholde en konkret implementeringsplan samt de nødvendige harmoniseringsstiltag omkring datagrundlaget for udvikling og implementering af de mest optimale bioøkonomitiltag.

## 6

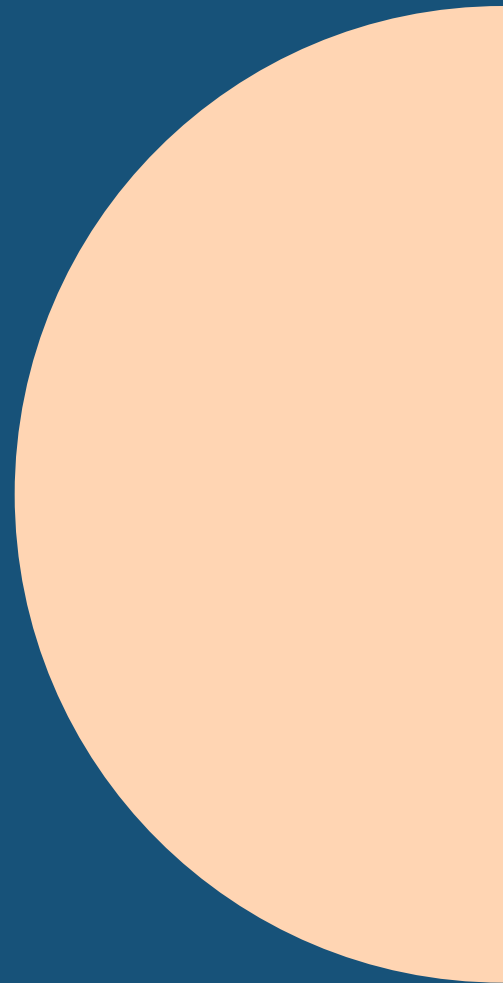
**Internationalt samarbejde: styrkelse af bæredygtig udvikling og innovation**

Det Nationale Bioøkonomipanel anbefaler, at det internationale bioøkonomiske samarbejde styrkes gennem strategiske samarbejder med lande og regioner, der har land, landbrugsjord og udfordringer i stor skala med fokus på at fremme bæredygtig udvikling og teknologiske løsninger inden for bioøkonomi og biosolutions. Et sådant samarbejde kunne f.eks. omfatte lande som Australien, Brasilien, Mexico, Indien og potentielt Kina eller hele regioner, som f.eks. Afrika. Samarbejdet bør involvere relevante vidensinstitutioner og forskningscentre fra involverede parter med det formål at udvikle teknologier til effektiv og bæredygtig udnyttelse af biologiske ressourcer, herunder agroindustrielle sidestrømme og afgrøderester. Indsatsen kan med fordel tage udgangspunkt i eksisterende partnerskaber og myndigheds-samarbejder, og Det Nationale Bioøkonomipanel foreslår, at regeringen inviterer branchen til en drøftelse af, hvordan indsatsen kan styrkes. Indsatsen koordineres med det igangværende arbejde for internationalisering og synliggørelse i regi af Erhvervsfyrtårnet for Biosolutions.





# Bio-industriel symbiose





I naturen er biologiske symbioser afgørende for økosystemers funktion og stabilitet. Organismer som planter, svampe, bakterier og dyr danner komplekse netværk af samarbejde, hvor hver art bidrager til at opretholde balance og fremme vækst. Bioindustrielle symbioser baserer sig på samme princip. Ved at skabe synergier og udnytte komplementære ressourcer på tværs af forskellige sektorer kan industrierne mindske deres aftryk på klima og miljø, skabe mere plads til natur og biodiversitet samt skabe arbejdspladser og værdiskabelse.

Bio-industrielle symbioser betegner samarbejdet mellem en klynge af virksomheder, hvor biomasse, rest- og sidestrømme samt biprodukter bliver værdifulde ressourcer, der cirkuleres efter deres bioøkonomiske potentiale. Den teknologiske rygrad i bio-industrielle symbioser er avanceret bioraffinering, fordi det muliggør, at én virksomhed kan nyttiggøre en andens virksomheds rest- og sidestrømme. Det kan være til højværdiprodukter som fødevarer og ingredienser med bl.a. sundhedsfremmende egenskaber eller produkter længere nede i kaskadeudnyttelsen. Resterne fra én virksomheds produktion bliver til input i en andens, hvilket skaber en symbiotisk kaskade. Symbioser kan også være værdikæde-kooperativer, hvor f.eks. avlere går sammen om at udvikle fermenteringssubstrater til tank-produktioner, der bygger på rester og sidestrømme. Ofte er virksomhedernes materielle produktionsanlæg samlokalisering for at reducere transportomkostninger, muliggøre at infrastruktur kan deles og for at sikre en effektiv rørføring.

Bioindustrielle symbioser mellem virksomheder kan samtidig være med til adressere udfordringer med kapitalomkostninger, der ofte begrænser mulighederne i overgangen fra demonstrationsfasen til kommercielt brug af innovative teknologier eller processer. Kapitalomkostningerne kan være betydelige, hvilket kan være en hindring for virksomhederne. Ved at deltage i bioindustrielle symbioser kan virksomhederne dele omkostningerne ved investeringer i fælles infrastruktur, teknologier eller ressourcer. I Danmark har vi allerede gode erfaringer med symbioser med Kalundborg Symbiosen, som har tiltrukket sig opmærksomhed verden over. I EU sammenhæng har der længe været fokus på industriel symbiose og samlokalisering. EU anser industrielle symbioser for at være centrale i deres strategier for ressourceeffektivitet og overgang til cirkulær økonomi.<sup>21</sup> Der er f.eks. det EU-finansierede CORALIS-demonstrationsprojekt, der implementerer industrielle symbioser i udvalgte EU-medlemsstater. Pilotprojektet Lighthouse: Frövi under CORALIS vil benytte varmen fra pulp- og papirindustri i et nærliggende drivhus. Projektet tester samtidig opgraderingen af CO<sub>2</sub> til en kvalitet, der kan understøtte algeavl og power-to-X teknologier.<sup>22</sup>

Herudover har Frankrig, Belgien og Italien haft succes med at udnytte mulighederne for at fremme industrielle symbioser og bioøkonomien gennem målrettet udnyttelse af EU's Regionalfond og Den Europæiske Investeringsbank (EIB). De tre lande har benyttet de to organer til investeringer i anlæg og infrastruktur, der understøtter rentabiliteten inden for bioøkonomien. Der gøres dog opmærksom på, at rammerne for, hvad midler fra EU's Regionalfond kan anvendes til, varierer på tværs af medlemslande. Regionalfondsprogrammet forhandles mellem Danmark og Europa-Kommissionen inden for et fælles regelsæt. Det nuværende program blev godkendt af Europa-Kommissionen i 2022 og gælder til og med 2027. Programændringer skal på samme måde forhandles og godkendes inden for de gældende EU-regler og økonomiske rammer. I Danmark betyder rammerne i den nuværende periode, at der kun i begrænset omfang kan støttes relevant infrastruktur i forbindelse med cirkulære værdikæder. Det er f.eks. muligt at støtte udvikling og etablering af test- og demonstrationsfaciliteter. I Danmark udmønter Danmarks Erhvervsfremmebestyrelse størstedelen af samhörighedsmidlerne, herunder EU's Regionalfond, via erhvervsfremmesystemet, der understøtter danske SMV'er og iværksættere.

# Samlokalisering i biosektoren

Særligt for områder uden for byerne kan samlokalisering være med til at skabe nye jobmuligheder, fordi flere industrier kan samles tæt på primærerhvervene, hvilket gør områderne mere økonomisk modstandsdygtige og bæredygtige. Samtidig kan samlokalisering skabe nye muligheder for lokal vækst og jobs inden for transport, logistik og teknologisk infrastruktur, som er nødvendig for at støtte de bio-industrielle symbioser. Et hensyn om samlokalisering indgår bl.a. i udmøntning af *Klimaaf tale om mere grøn energi fra sol og vind på land 2023*, og også fastsat i den nyligt vedtagne *Lov om statsligt udpegede energiparker*, hvor der bl.a. gives gunstige vilkår for placering af PtX-anlæg og virksomheder i tilknytning til energiparkerne, hvor særlige hensyn taler for det. Loven gør det muligt at placere erhverv i tilknytning til energiparker med henblik på at udnytte de specifikke muligheder og den infrastruktur, der eksisterer i relation til energiparken. Derved skabes rammerne for industrielle symbioser og grønne synergier, hvor en virksomheds restprodukt bliver til ressourcer i en anden virksomhed.

Virksomheder, der forsøger at arbejde symbiotisk inden for biosektoren, giver imidlertid udtryk for, at reguleringen ikke er rustet til at håndtere samlokalisering. Et eksempel er planlovens krav om, at industri ikke må placeres i landzoner. Det er et problem, fordi samlokalisering kræver meget plads, og landzoner derfor er et oplagt sted for symbioser. For at bidrage til at sikre attraktive placeringer, bør der derfor, med strategisk planlægning, skabes gunstige vilkår for placering af produktionsvirksomheder i større geografisk sammenhængende industriparker.

Et andet eksempel er de nuværende krav efter VVM-reglerne (Vurdering af Virkninger på Miljøet). De nuværende VVM-regler kræver, at et projekt skal være tilstrækkeligt detaljeret, så en fyldestgørende miljøvurdering kan gennemføres. Dette indebærer, at projektet i nogen grad skal være færdigtegnet inden vurderingen. I tilfælde af senere udvidelser eller ændringer af projektet, vurderes disse særskilt. Det er således ikke hele projektet, der vurderes på ny, men alene ændringen. For symbioser og andre innovative projekter, som ofte kræver fleksibilitet til løbende justeringer inden for gældende miljøkrav, kan denne proces dog opleves som en udfordring. Der er derfor behov for øget fleksibilitet i sagsforløbet for at understøtte innovation og løbende tilpasning. Specifikt for bioindustrielle symbioser kan der også være en barriere i forhold til opgradering. Virksomheder, der ønsker at arbejde med andre virksomheders sidestrømme, kan møde en lovgivningsmæssig gråzone i arbejdet med opgradering i forhold til håndtering af ressourcerne.

For bioindustrielle symbioser bliver det også gradvist mere udfordrende, når virksomheder med forskellige reguleringsmæssige krav og tilladelser, bliver involveret. Den vanskeligere koordinering og harmonisering af processerne vil kunne understøttes af en god myndighedsproces.

Der er tidligere blevet foretaget regulatoriske ændringer i forbindelse med udfordringer ved samlokalisering. Energi- og forsyningslovens krav om værdisætning af ydelser mellem to CVR-numre og specifikation af mængden i udvekslingen var et problem for symbioser, hvor virksomheder delte overskudsenergi og havde behov for at kunne opstille et fælles energiforbrug uden om elnettet. Lovgivningen blev ændret efter test i en regulatorisk testzone.

# Symbiose- potentialet

Symbiosepotentialet er også stort i forhold til test og demonstration af nye processer. SMV'er med idéer til nye processer kan nyde godt af etablerede faciliteter i test- og demonstrationsfasen. Symbiosepotentialet kræver i den sammenhæng ikke kun regulatorisk smidighed, som beskrevet ovenfor, men også administrativ og teknologisk smidighed.

Teknologisk smidighed er nødvendigt for, at flere forskellige processer kan testes på det samme anlæg. Administrativ smidighed er nødvendigt for, at der kan opstå forbindelser mellem aktører med adgang til et bioraffineringsanlæg og aktører, der ønsker at teste og demonstrere nye processer.

Der er allerede processer i gang i forhold til kortlægning af symbiosepotentialet i Danmark. I regi af Erhvervsfyr-tårnet for Biosolutions er der med finansiering fra Danmarks Erhvervsfremmebestyrelse og EU's Regionalfond igangsat et projekt om *flere SMV'er i værdikæden*, hvor symbiosepotentialet mellem en række konkrete virksomheder på Sjælland afdækkes, og der gives tilskud til f.eks. indkøb af rådgivning og maskiner. I projektet analyseres, hvor potentialet er størst for, at sjællandske SMV'er kan indgå i fremtidige symbioser, og der udarbejdes handlingsplaner for SMV'ernes deltagelse i symbiosesamarbejder.

Hertil kan samarbejdsprojekter, hvor forskning udføres af forskningsgrupper på de eksisterende forskningsinstitutioner (center uden mure), fremme synergi-gevinster. Et center uden mure ville kunne udføre og formidle strategisk og anvendelsesorienteret forskning af høj kvalitet, som kan bidrage til at videreudvikle en bæredygtig, markedsdrevet og konkurrencedygtig biobaseret sektor. Samarbejdet mellem aktører kunne skabe endnu højere værdi fra biomassen, eksempelvis gennem flere højværdiprodukter fra den grønne biomasse, separation og opgradering af en del af biomassen, før den bruges som feedstock til biogas, eller udnyttelse af endnu en industriel sidestrøm i virksomhedens eget processeringsanlæg.

# Anbefalinger om bio-industrielle symbioser

7

## Fjernelse af barrierer for samlokalisering af bioraffineringsanlæg og partnerskaber

Det Nationale Bioøkonomipanel anbefaler, at der skabes gunstige vilkår for placering i udpegede zoner eller områder mhp., at virksomheders fysiske aktiviteter (inklusive biogas-anlæg) kan samlokaliseres, og at der dermed skabes gode rammer for udviklingen af bio-industrielle symbioser og partnerskaber. Det bør i den forbindelse prioriteres, at der er relevant erhvervsinfrastruktur og smidig myndighedsproces i disse områder således, at det vil være nemt og hurtigt for virksomhederne at etablere sig i de udvalgte områder. Regulatoriske rammer skal samtidig udformes på en måde, der fjerner hindringer for samlokalisering af anlæg.

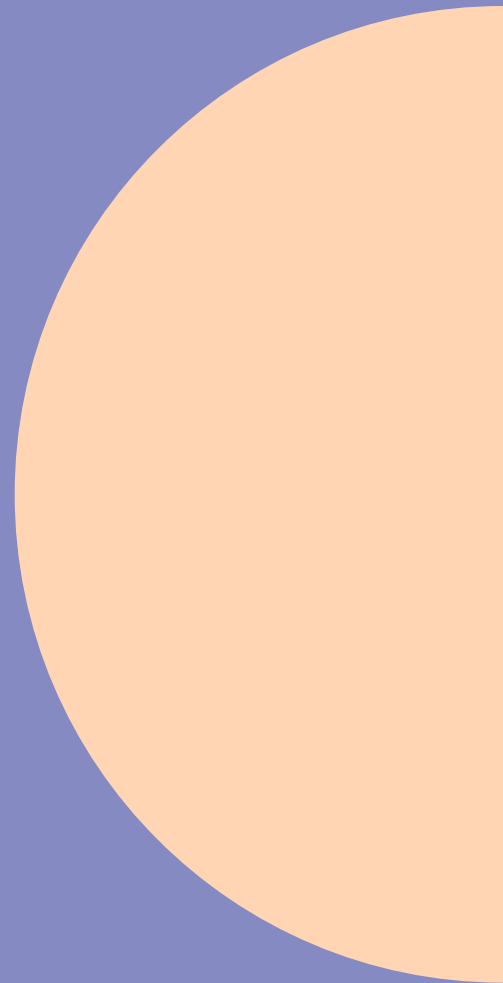
8

## Innovationsnetværk og symbiosepotentiale

Det Nationale Bioøkonomipanel anbefaler, at regeringen øger fokus på hurtigere anvendelse af ny viden ved målrettet samarbejde mellem aktører, der har et bioraffineringsanlæg til rådighed og aktører med en idé til en ny proces. Panelet anbefaler at samarbejdspotentialer understøttes med et center uden mure etableret af danske universiteter og GTS-institutioner, evt. finansieret af Innovationsfonden med fokus på den hurtigste vej til implementering af kaskadeudnyttelse. Et sådant nyt nationalt center kunne også give fremskridt for teknologisk fleksibilitet ved at teste forskellige processer på samme anlæg. Yderligere, kunne et sådant center identificere symbiosepotentialer i hele landet med udgangspunkt i Biosolutions Zealand II's identifikation af sjællandske SMV'er med potentiale til at indgå i biosolutions værdikæde- eller symbiosesamarbejder. Subsidiært anbefales det, at der etableres en pulje, som danske universiteter og GTS-institutionerne kan søge til etablering af sådanne samarbejder. Midlerne kan evt. prioriteres fra forskningsreserven.



# Bioressourcer og teknologi



Ressourceeffektivitet er tæt knyttet til både bioressourcer og teknologi. Uden passende teknologi kan bioressourcerne ikke udnyttes fuldt ud og på en økonomisk attraktiv måde, og uden tilstrækkelige bioressourcer vil teknologiens potentiale være begrænset.

### Fremspirende bioraffinerings teknologi

DTU har udarbejdet en kortlægning over hvilke bioraffinerings teknologier, der er relevante på nuværende tidspunkt i en dansk kontekst. En af konklusionerne er, at der ikke findes en fælles terminologi for bioraffinering. I denne kortlægning opdeler DTU derfor biomasse, til input i bioraffinering, i seks hovedgrupper:

#### 1. Gul biomasse

(f.eks. træaffald, halm, majsstængler)

#### 2. Grøn biomasse

(f.eks. græs, beskæringer)

#### 3. Blå biomasse

(f.eks. mikroalger, makroalger)

#### 4. Brun biomasse

(f.eks. slam og spildevand, som gylle, spildevandsslam og madaffald)

#### 5. Transparent biomasse

(f.eks. CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>)

#### 6. Lilla biomasse

(f.eks. levende biomasse som fluelarver, svampe og bakterier)

I bredere afgrænsninger findes der ligeledes den røde biomasse (slagteriaffald, blod og afskæringer), men denne er ikke dækket i rapporten. Hertil kommer, at kategoriseringen ikke illustrerer, at der i forskellige forarbejdningsprocesser kan opstå flere forskellige sidestrømme af biomasse, som kan indgå i efterfølgende bioraffineringsprocesser.

DTU fremhæver at når de forskellige typer af biomasse bioraffineres, er det oftest kun 0,1-3 pct. af inputtet, der går til højværdiprodukter. Denne fraktion er dog langt højere ved produktion af græsprotein. Den fraktion, der er tilbage efter udvinding af målproduktet, kaldes middel-fraktionen og udgør typisk 40-80% af den samlede biomasse. Middel-fraktionen spiller derfor en vigtig rolle i kaskadeudnyttelsen.

Kortlægningen identificerer cases for 65 danske virksomheder, som arbejder med fremspirende bioraffinering. Blandt virksomhederne er der stor diversitet i størrelse, skala og produktion. De store bioraffineringsvirksomheder er ofte veletablerede med en bred produktrække, som er produceret med specifikke biomasser som input. De mellemstore virksomheder består både af virksomheder, som er veletablerede på markedet, og virksomheder, som endnu er nye på markedet. De små virksomheder karakteriserer DTU som virksomheder, der ofte endnu ikke har produkter på markedet. I sin kortlægning finder DTU, at de små og mellemstore virksomheder ofte bruger de gule, grønne og brune biomasser som input i deres bioraffinering. DTU finder yderligere, at næsten 40 pct. af alle virksomheder benytter fermentering som led i deres bioraffinering, samt at halvdelen af disse virksomheder bruger præcisionsfermentering og raffineret sukker som input.

Hvis den danske bioraffineringssektor skal bidrage betydeligt til den grønne omstilling, kræver det, at der er fokus på volumen af biomasseraffinering. Her vil det være oplagt at benytte den store middel-fraktion af biomasserne og raffinere denne med henblik på at øge værdien og højne kaskadeudnyttelsen.

DTU fremhæver desuden, at et bioraffineringsanlæg har en lang etableringstid og en lang forventet levetid på omkring 25 år, hvilket betyder, at det vil operere både under den grønne omstilling og givetvis i et fremtidigt post-fossilt samfund. I investeringen i et bioraffineringsanlæg skal der tages højde for både nuværende og fremtidige forhold, hvilket betyder, at der skal tages langsigtede beslutninger for at sikre, at anlægget fortsat er relevant og bæredygtigt i et skiftende energilandskab.

# Fremtidens biobaserede løsninger

Der er forskellige potentialer i de forskellige led af kaskaden. En lovende mulighed for at øge ressourceudnyttelsen i særligt de øverste led af kaskaden er gennem innovative systemer, der åbner for nye produktionsmuligheder ved at tillade konkrolleret dyrkning på mindre plads og på områder, der ikke er egnet til konventionelt landbrug, f.eks. industriområder. Det kan være tankbaserede produktionssystemer, der optimerer den samlede biomasses indhold af både proteiner, vitaminer og smags- og sundhedskomponenter ved at omdanne biomassen til væksts substrat for bakterier, svampe og alger. Det kan også være præcisionsfermentering, som primært refererer til en bioteknologisk proces, hvor mikroorganismer, såsom bakterier, gær eller alger, designes genetisk til at producere ønskede forbindelser eller produkter ved at udnytte fermentering.

Udover at skabe et kontrolleret vækstmiljø kan tankbaserede produktionssystemer give mulighed for at øge mængden af fotosyntese og dermed skabelse af biomasse. Dette kan f.eks. ske ved dyrkning af mikroalger i lukkede systemer, enten med naturligt eller kunstigt lys. Hermed kan produktion af biomasse ske uafhængig af landbrugs- eller skovarealer og dermed frigive arealer til f.eks. energiformål, kulstofbinding, klimatilpasning, naturbeskyttelse og biodiversitet. Teknologierne rummer også muligheder for at håndtere biomasse som ikke er ensartet f.eks. lavbundsgræs blandet med jord, som lige nu er svær at processere højere i kaskadeudnyttelsen som f.eks. til materialer, foder og proteiner.

## Tankbaseret biomasseproduktion

Tankbaseret biomasseproduktion har potentiale til at styrke bæredygtig produktion og øge konkurrencekraften blandt danske virksomheder. De forskellige teknologier er reguleret meget forskelligt.

## Mikrobiel fermentering af afgrøderester og produktions-sidestrømme

En central metode er mikrobiel fermentering af afgrøderester og produktions-sidestrømme. Denne proces omdanner biomasse til højværdiprodukter som foder og fødevarer ved enzymatisk åbning af strukturer. Fordele inkluderer øget næringsværdi, forbedret tarmsundhed, forbedret smag (f.eks. umami fra svampe) og forlænget holdbarhed vha. mælkesyrebakterier. Eksempler inkluderer opgradering af plantepulp efter stivelses- eller protein-ekstraktion ved hjælp af tempeh-fermentering til fødevaringredienser, eller co-fermentering af rapskage og tang til nyt tarmsundt foder eller fødevarer.

## Konvertering af biomasse til dyrkningssubstrat

En anden vigtig proces er konvertering af biomasse til dyrkningssubstrat for produktion af ny mikrobiel biomasse (bakterier eller svampe), hvilket resulterer i produktion af nye proteiner, fibre, lipider og vitaminer. Dette inkluderer produktion af gærfløde og svampemycelium, som kan bruges til at give plantebaserede fødevarer mere smag, højere proteinindhold og en forbedret sundhedsprofil. Disse metoder kan også udføres med ikke-manipulerede mikroorganismer og har eksisterende kommercielle produkter.

## Konvertering af lignocellulose-rige plantester og trærester

Derudover kan lignocellulose-rige planterester og trærester konverteres til byggematerialer, og andre materialer, ved at inokulere trænedbrydende svampe. Svampens mycelium væver resterne sammen til kompositmaterialer, mens svampens enzymer nedbryder træmassen, hvilket resulterer i et holdbart kompositmateriale.



# Potentialet fra skov og skovbrug

Skov og skovbrug er et centralt element i den grønne omstilling, dels som samfundsøkonomisk redskab til at optage CO<sub>2</sub>, dels ved at levere materialer til den grønne omstilling. Store dele af det danske skovareal er enten FSC- eller PEFC-certificeret og bidrager til omstillingen til en bioøkonomi, som er afhængig af biogent kulstof.

Med *Aftale om et grønt Danmark* er der fremlagt en ambition om rejsning af 250.000 ha skov, hvilket har et væsentligt potentiale for at øge den biogene ressource fra skovbruget. Panelet noterer sig, at der reserveres tilskud svarende til skovrejsning af ca. 80.000 ha privat urørt skov, samt at 20.000 ha af det samlede skovareal etableres som urørt statslig skov. Panelet noterer sig derfor, at der forventeligt vil etableres ca. 150.000 ha produktions-skov ud af de samlede 250.000 ha ny skov. Dertil noterer panelet sig, at en væsentlig forudsætning for bedst mulig kaskadeudnyttelse og mulighed for bioraffinering er, at skovrejsningen gennemføres, så der kommer en reel produktion af gavntre og en hensigtsmæssig volumen i den biomasse, der naturligt følger som restprodukt. Dette kræver skovrejsning på større sammenhængende arealer, hvilket også vil styrke muligheden for at tilgode-se andre samfundsmæssigt værdifulde hensyn såsom grundvandssikring, reduceret kvælstofudledning og biodiversitet i produktions-skov.

For at få det optimale ud af den øgede biogene ressource fra skovbruget, kræves optimerede muligheder for brug af træ. Det gælder både inden for kendte anvendelsesområder som f.eks. byggesektoren, men der er også brug for forskning, udvikling og innovation i nye materialer og anvendelsesformer.



# Byggematerialer og CO<sub>2</sub>-lagring

Der er mange muligheder i de midterste kaskadeled. En god teknologisk mulighed er at omsætte biomasse til langtidsholdbare byggematerialer og input til møbelproduktion, så fotosyntesens CO<sub>2</sub>-fangst kan langtidslagres og fossilbaserede byggematerialer kan udfases. Kulstoffangst gennem fotosyntese er skalerbart og foreløbigt langt billigere end de teknologiske metoder som Direct Air Capture (DAC) og Direct Ocean Capture (DOC).<sup>23</sup> Hvis biomasse omsættes til langtidsholdbare byggematerialer og bidrager til at lagre CO<sub>2</sub> over mange års levetid, nyttiggøres biomassen i højere grad end med Biomass Energy with Carbon Capture and Storage (BECCS). Et projekt finansieret af Realdania har identificeret et betydeligt potentiale på omkring 0,6 mio. tons CO<sub>2</sub>-oplagring årligt gennem anvendelsen af biogene byggematerialer i den danske byggesektor.<sup>24</sup> Byggesektoren er engageret i potentialet i kulstofflagring i f.eks. biogene materialer, men står overfor tekniske og regulatoriske udfordringer. Byggesektoren står bl.a. over for udfordringer med at undersøge skimmel forårsaget af fugt, lyd- og kuldeisolering samt brandsikkerhed af biogene materialer. Der er også udfordringer med EPD (Environmental Product Declaration), som er en miljøvaredeklaration, der dokumenterer en byggevars miljø-mæssige egenskaber. Nuværende EPD-regler antager, at biogene byggematerialer har en levetid på 50 år, hvorefter de afbrændes og CO<sub>2</sub> udledes til atmosfæren. Længden af afskrivningsperioden begrænser den beregnede klimaeffekt og vurderes ikke i særlig grad at tage højde for, at der om 50 år forventes nye teknikker til mere genbrug samt CO<sub>2</sub>-fangst ved afbrænding af nedbrudte byggematerialer.

## Potentiale fra andre kilder

Der vurderes at være et betydeligt potentiale i øget udnyttelse af sidestrømme fra andre forarbejdningsprocesser, herunder fra uudnyttet biomasse fra slagterierne (blod, afskær, børster, indre organer m.v.). En mulighed for at øge anvendelsen kunne være, at offentliggøre lister over de biprodukter der i dag opsamles af slagterierne. Det kunne være en stor inspiration ift højværdiprodukter, der produceres af start-ups, co-lokaliseret med slagterier. Det kunne samtidig udgøre et fremtidigt bidrag til indtjeningen på slagterierne.

# Teknologiens kort- og langsigtede potentiale

I arbejdet med bioteknologi og bioressourcer er det afgørende at tage højde for både de kortsigtede og langsigtede perspektiver. På kort sigt er det nødvendigt at håndtere akutte udfordringer og problemer med løsninger, der allerede er køreklar. Men med et lidt længere sigte er det vigtigt også at understøtte en diversificering af teknologier. En diversificering kan åbne for nye danske styrkepositioner og muligheder, hvilket er afgørende for at forberede os på fremtidens udfordringer og behov. Det er nødvendigt at se fremad og huske på, at selvom teknologier udviklet og testet af vidensinstitutioner ikke er rentable at kommercialisere for virksomhederne i dag, kan de udgøre fremtidige styrkepositioner.

# Bioraffineringens middel-fraktion og emballage

Ifølge DTU's rapport udarbejdet for Det Nationale Bio-økonomipanel er det vigtigt at sætte fokus på den såkaldte middel-fraktion, som er den fraktion, der er tilbage, efter at højværdi er trukket ud af en bioressource for at producere målproduktet. Middel-fraktionen beskriver den specifikke biomasse, der er til rådighed for udnyttelse, mens de forskellige led i kaskadeudnyttelsen repræsenterer forskellige niveauer af værdi, som denne biomasse kan blive anvendt til. Middel-fraktionen udgør 40-80 pct. af den anvendte biomasse i bioraffineringen. Derfor er det afgørende for kaskadeudnyttelsen, at der ikke kun fokuseres på udvindingen af målprodukterne af højværdi, men også på at udvikle metoder til at bruge middel-fraktionen. Alt efter bl.a. type af biomasse og kvalitet ligger der bl.a. et stort potentiale i at opgradere middel-fraktionen, særligt til foder med høj værdi, som på den måde vil placere udnyttelsen højt oppe i kaskadeleddene. En udfordring er imidlertid at middel-fraktionen kan være svær at udnytte optimalt, da den ofte består af materialer med lavere økonomisk værdi eller svært nedbrydelige komponenter. I det tilfælde vil udnyttelsen blive karakteriseret som lavt i kaskadeleddene. Derfor er det vigtigt at udvikle og implementere innovative teknologier og strategier til at udnytte denne fraktion effektivt.

DTU fremhæver flere anvendelsesmuligheder for middel-fraktionen, heriblandt at udnytte fraktionen til nye produkter. En eksisterende mulighed er at bruge middel-fraktionen til bio-emballage. Resultatet er en emballage af et naturligt materiale, der også kan være bionedbrydeligt. Dog begrænses potentialet i bio-emballage af den vægtbaserede emballageafgift på engangsservice, bæreposer af papir og plast mv. og pvc-folier til levnedsmidler, der opgøres på baggrund af vægt (kr. pr. kg). Det skyldes, at bio-emballage almindeligvis er tungere end traditionel emballage. Baggrunden for emballageafgiften er, at afgiften som helhed skal medvirke til at nedbringe affaldsmængderne og skabe incitament til at bruge mindre emballage. Skatteministeriet har senest i 2021 undersøgt, om der findes alternative materialer til engangsservice af plastik, der er mere bæredygtige, herunder bionedbrydelige materialer, og om afgiften i så fald kan differentieres for at tilgodese disse. Her var konklusionen, at der ikke var tilstrækkeligt belæg for at indføre en differentiering af emballageafgiften for bionedbrydelige materialer. Såfremt der er kommet ny viden på området, kan undersøgelsen genbesøges.

# Kunstig intelligens og biosektoren

En af de muligheder inden for bioøkonomien, der lige nu udvikler sig i fuld fart, er kunstig intelligens (AI). Det gælder bl.a. i primærlandbruget, hvor AI som et næste trin i udviklingen af præcisionslandbrug kan lede til biomasseproduktion med større sikkerhed og kvalitet, færre produktionsomkostninger og mindre miljø- og klimaaftryk. Eksempelvis kan meteorologiske og hydrologiske data sammen med billeddata af afgrøden og høstdata fra tidligere år anvendes til at bestemme optimal vanding eller gødningstildeling af afgrøden på et givet tidspunkt.

Også i forhold til udnyttelsen af bioressourcen rummer AI lovende potentiale. For virksomheder, der ønsker at implementere bioraffinering i kommerciel skala, er det afgørende gradvist at opskalere og optimere processen gennem flere trin for at minimere risikoen ved investeringen.

Ved at udnytte forskellige kilder til procesdata, kan AI-algoritmer forudsige optimale driftsbetingelser, reducere energiforbrug, minimere spild og forbedre produktkvalitet i bioraffineringsprocesserne. Bioinformatik, som indsamler, analyserer og fortolker biologiske data, kan understøtte AI ved at give indsigt i de biologiske mekanismer, der ligger til grund for bioraffineringsprocesser. Både i EU og i regi af Nordisk Ministerråd har AI inden for landbrugs- og fødevarersektoren betydeligt fokus. Dog er det vigtigt at fremhæve, at manglen på Big Data er en hindring for effektiv brug af AI i relation til bioøkonomi.

I sin meddelelse af 20. marts 2024 om vækst i bioteknologien og bioindustrien fremhæver Kommissionen kommende indsatser om struktureret udveksling af viden blandt interessenter i EU for at accelerere anvendelsen af AI i sektoren. Med "The Nordic Testbed" i regi Nordisk Ministerråd er der igangsat en række forsøg og events med det formål at udveksle viden og teknologi inden for AI og digitalisering af bioøkonomien blandt de nordiske og baltiske lande.<sup>25</sup>

# Anbefalinger om bioressourcer og teknologi

9

## Prioritering af biobaserede teknologier og forskning

Det Nationale Bioøkonomipanel anbefaler, at regeringen prioriterer fremtidens biobaserede teknologier ved at understøtte løsninger med fermenteringsteknologier. Det gælder for eksempel tankbaseret biomasseproduktion og præcisionsfermentering, hvor hele kæden fra udvikling af produktionsmikroorganismer, enzymer m.m. tænkes sammen med opskalering (inklusive AI og automatisering) i tanke eller andre egnede systemer, hvor der kan forventes at produceres store volumener. Dette dækker ikke mindst løsninger, hvor der eventuelt kan produceres i billigere åbne systemer, der er mindre sterile, og f.eks. kan bruge havvand. Panelet anbefaler, at regeringen understøtter vidensdeling fra forskningsinstitutionerne, hvor mange nye teknologier testes af. Der bør også afsættes midler til forskning i mikrobiomers sammensætning og betydning for udviklingen af nye biobaserede produkter og til udvikling af foder der reducerer metan-emission fra dyr. Det kan gøres ved, at regeringen prioriterer at etablere en pulje med henblik på netværk for åben innovation, hvor forskellige interessenter kan samarbejde om fælles forsknings- og udviklingsprojekter. Midlerne kan eventuelt prioriteres fra forskningsreserven.

10

## Strategisk udnyttelse af bioressourcer og håndtering af uensartet biomasse

Det Nationale Bioøkonomipanel anbefaler, at der arbejdes med at udnytte bioressourcer så langt oppe i kaskadeudnyttelsens led som muligt, herunder undersøge mulighederne for at sikre størst mulig værdiudnyttelse af restprodukter, der har potentiale ud over bioforgasning. Panelet anbefaler desuden, at der iværksættes initiativer for bedst mulig håndtering af uensartet biomasse såsom organiske restprodukter og –sided strømme fra landbrug, husholdninger og industri. Det er vigtigt at maksimere udnyttelsen af forskellige fraktioner fra denne type biomasse, hvilket kræver udvikling af billige og opskalerbare separationsmetoder, der kan supplere eksisterende membran-teknologier, kromatografiske metoder og centrifugering.

11

## Skovbrug og skovrejsning

Med udgangspunkt i *Aftale om et Grønt Danmarks ambition* om mere skov, anbefaler Det Nationale Bioøkonomi Panel, at tilskud til privat skovrejsning sker ud fra en model, der skaber incitament til at tilgodese flest mulige samfundsmæssige hensyn såsom træproduktion, kvælstofreduktion, beskyttelse af grundvand, prioritering af rekreative muligheder, prioritering af sammenhængende arealer, klimatilpasning samt natur og biodiversitet.

12

## Øget brug af biogene materialer i byggeriet

Det Nationale Bioøkonomipanel anbefaler, at byggeri med træ og andre biogene produkter medtages i arbejdet med regeringsgrundlagets ambition om, at "nedbringe klimaftrykket på de offentlige indkøb, herunder også indkøb af transport og opførelse af offentlige bygninger"<sup>26</sup>, og at bygningsreglementet understøtter at bygge i træ og andre biogene materialer. Der kan indføres krav til det offentlige indkøb af biogene materialer via f.eks. byggevarerforordningen. Der bør sættes et ambitiøst mål for andelen af offentligt byggeri, der skal være baseret på biogene materialer.

13

### Uddannelse, forskning og innovation i anvendelsen af træ

Det Nationale Bioøkonomipanel anbefaler, at der afsættes markant flere ressourcer til uddannelse, forskning og innovation inden for anvendelse af træ og træbiomasse til nye materialer og produkter, herunder særligt inden for byggeriet hvor der er behov for øget fokus på (efter)uddannelse i brug af træ og andre biogene materialer. Det kan f.eks. være på erhvervsuddannelser og tekniske skoler m.v.

14

### Kulstofbinding i byggematerialer

Det Nationale Bioøkonomipanel anbefaler, at potentialet i kulstofbinding gennem byggematerialer undersøges og udfoldes, i linje med Europa-Kommissionens anbefalinger i sin meddelelse om *Biotech og biomanufacturing*. Regeringen bør støtte forskning, der kan afhjælpe de tekniske udfordringer, som byggebranchen står overfor. Der bør ligeledes ses på regulatoriske barrierer, herunder EPD-krav. Samtidig bør regeringen understøtte udviklingen af LCA-beregningsmetoder, som mere præcist afspejler de biogene materials evne til at lagre biogent kulstof over lang tid. Der bør også undersøges muligheder for at udnytte restmaterialer i de midterste kaskadeled til byggematerialer, efter højværdi er udvundet.

15

### Udnyttelse af middel-fraktioner og undersøgelse af emballageafgift

Det Nationale Bioøkonomipanel anbefaler, at regeringen har blik for den store middel-fraktion, som er tilbage, efter at højværdiprodukter er ekstraheret fra en ressource. Regeringen bør sikre forskning i at udnytte svært nedbrydelige komponenter fra middel-fraktionen. Regeringen bør også sikre regulering, der understøtter, at middel-fraktionen ikke ender som affald. Dertil bør der, i lyset af at DTU har peget på behovet for at rette særlig fokus på middel-fraktionen, foretages en fornyet vurdering af, om der er tilstrækkeligt belæg for at korrigere for biobaseret engangsservices øgede vægt i den vægtbaserede afgift på engangsservice.

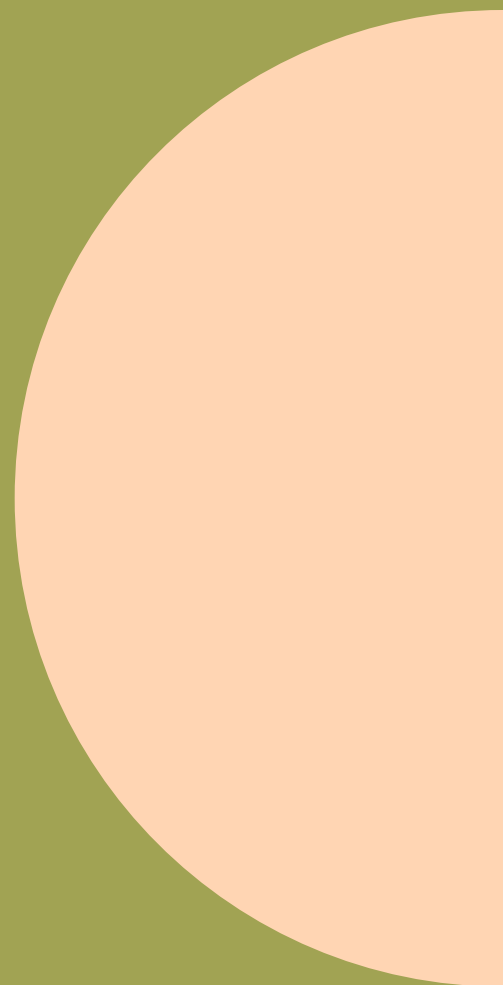
16

### Etablering af dialogforum for AI i bioøkonomien

Det Nationale Bioøkonomipanel anbefaler, at regeringen etablerer et dialogforum for AI og Big Data, hvor man på tværs af myndigheder, virksomheder, forskningsinstitutioner og interessenter kan sprede viden om AI og anvendelser af Big Data i bioøkonomien og inspirere til fælles pilotprojekter, forskningsaktiviteter mv.



# Kvantificering af bioøkonomien





I årevis har bioøkonomien spillet en rolle i den danske ressourceforvaltning, og dens principper har spillet ind som en retningslinje for håndteringen af bioressourcer. Med øget fokus og viden om potentialerne i kaskadeudnyttelse og samspil med andre grønne indsatser er der stort behov for, at bioøkonomien kvantificeres yderligere, så den kan indgå mere konkret i prioritering af indsatser og fremskrivning af effekter i forbindelse med politiske beslutninger.

I politiske beslutningsprocesser er det almindeligt, at virkningerne af beslutninger gennemgås, og det foretrækkes ofte, at disse virkninger kan kvantificeres. Det er afgørende at etablere robuste rammer for at kvantificere virkningerne af investeringer i bioøkonomien, således at aspekter som klima- og miljømæssige samt samfundsokonomiske konsekvenser kan opgøres og evalueres.

Der er i dag betydelig viden og data vedrørende effekten og omkostninger forbundet med enkeltstående indsatser over for landbrugets udledning af kvælstof og klimagasser. Disse er fastlagt i en række virkemiddelkataloger. Der er endvidere betydelige data for den potentielle anvendelse af biomasse fra forskellige kilder. Dette er bl.a. kortlagt i tidligere runder af panelets arbejde.

Der er imidlertid begrænsede data om omkostnings-effektiviteten ved øget udnyttelse af de enkelte biomassekilder (marginale omkostninger og gevinster), ligesom der mangler betydelige data omkring effekter og omkostninger på tværs af værdikæder, herunder mulige gevinster ved indsatser for udnyttelse af biomassen i et højere kaskadeled. Eksempler fra EU-lande<sup>27</sup>, viser hvordan en samfundsoekonomisk analyse af bioøkonomien, kan se ud.

# Anbefalinger om kvantificering af bioøkonomien

17

## Styrkelse af beslutningsgrundlaget for indsatser inden for bioøkonomien

For at styrke bioøkonomien i det politiske beslutningsgrundlag er der behov for, at effekterne af investeringer i bioøkonomi belyses klart. Med styrket dokumentation af både de miljø- og klimamæssige og samfundsøkonomiske aspekter af bioøkonomien kan beslutningstagere og politikudviklere bedre informeres forud for beslutninger om politiske tiltag med henblik på prioritering og udvikling inden for bioøkonomien.

Det Nationale Bioøkonomipanel anbefaler, at håndteringen af kvantificeringen af bioøkonomiens effekter opdeles i to:

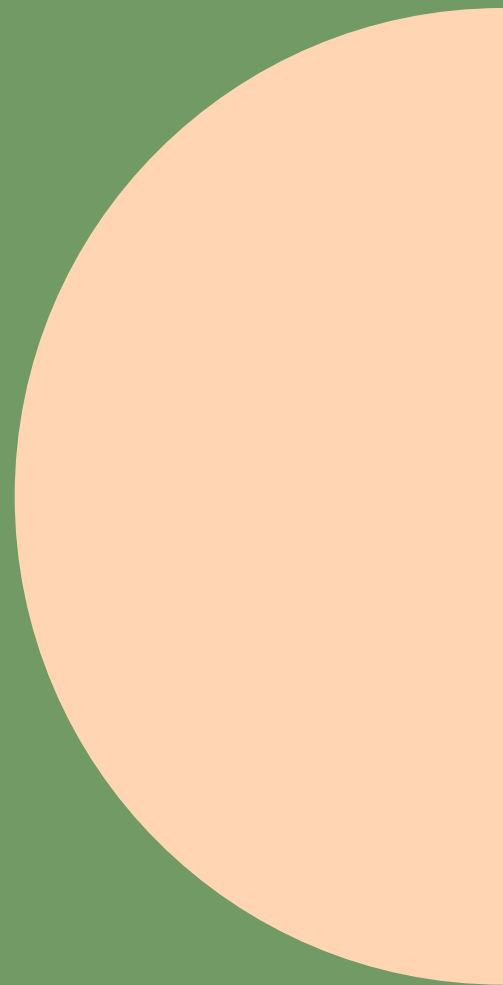
1. Bioøkonomiens samfundsøkonomiske effekter. Dette omfatter kortlægning af eksisterende metoder samt udvikling af nye metoder til at evaluere bioøkonomiens indvirkning på samfundet.
2. Kvantificering af effekter på miljø, biodiversitet og klima ved nye tiltag. Med klare metoder for udvikling og kvalificering af biodiversitet-, miljø og klimapåvirkningen af bioøkonomiske tiltag vil politikere have mulighed for at inddrage effekterne af nye tiltag i beslutningsprocessen.

Til det er der behov for at etablere retningslinjer og støtte, så det korrekte datagrundlag kan skabes. Dette er nødvendigt for at kunne kvantificere og dokumentere effekterne, når der overvejes initiativer som bl.a. ændret arealanvendelse, udnyttelse af nye sidestrømme eller oprettelse af nye testanlæg. Dette kan med fordel samles i en vejledning. En sådan vejledning bør omfatte retningslinjer for, hvilke specifikke oplysninger der skal indsamles og kombineres for at dokumentere effekterne af bioøkonomiske aktiviteter.

For både kvantificering af samfundsøkonomiske konsekvenser og emissionsfaktorer kan det desuden anbefales, at man arbejder for en fælles linje i EU.



## 2. afgrøde (supplerende afgrøde)





"2. afgrøde" er et udtryk, som panelet benytter til at udtrykke det potentiale, der ligger i høst af efterafgrøder. Efterafgrøder er afgrøder, der dyrkes efter hovedafgrøden er høstet, og før den næste hovedafgrøde sås. Formålet med efterafgrøder er at opsamle overskud af næringsstoffer fra hovedafgrøden, idet efterafgrøderne har en længere periode med aktivt rodnet. I afrapporteringen fra Det Nationale Bioøkonomipanel fra 2022 antages det, at der hvert år fra 2030 vil blive udlagt 500.000 ha efterafgrøder, hvoraf 400.000 ha på baggrund af forskning og udvikling vurderes at kunne dyrkes med henblik på høst af biomasse til bioraffinering, materialer og energi. Panelet skønner, at der samlet vil kunne høstes op til 1 mio. tons tørstof i biomasse. Med den seneste landbrugsfremskrivning forventes arealet med efterafgrøder imidlertid at kunne udgøre helt op til 770.000 ha i 2030 som følge af skærpede krav til landbruget.

I anbefalingerne fra 2022 peger panelet på, at høst af biomasse fra efterafgrøder vil kunne ske neutralt i forhold til miljø og samtidig have en positiv klimaeffekt.

Grønt Udviklings- og Demonstrationsprogram (GUDP) har i 2023 bevilget ca. 4 mio. kr. til projekt "Optimeret dyrkning og bjærgning af efterafgrøder til biogas", som gennemføres i perioden 2024-26. Projektet vil indsamle og opdatere viden om forskellige plantearter, sorter og dyrkningsstrategiers potentiale for at opsamle maksimal kvælstofmængde, samtidig med at man anvender afgrøden som ressource i biogasproduktion. Som led i projektet planlægger Århus Universitet (AU) således at gennemføre markforsøg, som skal bidrage til at kvantificere kvælstofoptagelse i efterafgrøder i forskellige situationer.

# Anbefalinger for 2. afgrøde (supplerende afgrøde)

18

## Udnyttelse af efterafgrøder i bioøkonomien

Det Nationale Bioøkonomipanel pointerer, at der er et uudnyttet potentiale i efterafgrøder, som kan høstes med henblik på udnyttelse til f.eks. bioraffinering til proteinfoder og materialer, eller udnyttelse i biogasanlæg. Panelet anbefaler, at der indhentes forskningsbaseret viden om, hvordan man på en miljø- og klimavenlig måde kan etablere et konkret set-up for høst af biomasse fra en "2. afgrøde", herunder ved inddragelse af viden indhentet i GUDP-projektet "Optimeret dyrkning og bjærgning af efterafgrøder til biogas". Krav og effekter af denne biomassehøst skal kunne indgå i den samlede kvælstofregulering på en miljø- og klimavenlig måde, dvs. at der i vidensgrundlaget ud over forhold omkring sortsblending, høsttidspunkter og -metoder, eventuel gødningsnorm/startgødning og eftervirkning bør indgå målinger af udvaskning.



## Slutnoter

- <sup>1</sup> Det Nationale Bioøkonomipanel (2016). Organisk affald – Vejen mod en bedre udnyttelse af vores ressourcer.
- <sup>2</sup> Det Nationale Bioøkonomipanel (2016). Anbefalinger vedrørende værdikæder baseret på blå biomasse, med særligt fokus på værdikæder baseret på muslinger og tang.
- <sup>3</sup> Det Nationale Bioøkonomipanel (2022). Bioressourcer til grøn omstilling.
- <sup>4</sup> Eleftheria Papadopoulou et al. (2024). Report to the Danish National Bioeconomy Panel.
- <sup>5</sup> IRIS Group 2021: Biosolutions i Danmark.
- <sup>6</sup> Alliance for Biosolutions (n.d). Biosolutions kan accelerere den grønne omstilling.
- <sup>7</sup> M. Ambye-Jensen (2021). Arealanvendelse og bioøkonomi.
- <sup>8</sup> BioRefine (n.d). Produktionen af grønt protein.
- <sup>9</sup> Vestjyllands Andel (2022). Sammen om praktisk innovation.
- <sup>10</sup> Arla Foods Ingredients (2023). Arla Foods Ingredients partners with ENORM to harness upcycling power of insects.
- <sup>11</sup> Emmelev (n.d.). Emmelev hjemmeside.
- <sup>12</sup> Feyen, L., et al. (2020). Climate change impacts and adaptation in Europe: JRC Peseta IV final report, Publications Office of the European Union
- <sup>13</sup> Europa-Parlamentet og Rådet, Forordning (EU) 2018/842 om bindende årlige reduktioner af drivhusgasemissioner for medlemsstaterne fra 2021 til 2030, 2023.
- <sup>14</sup> European Commission (n.d) Bio-based products and processes.
- <sup>15</sup> Iris Group (2021). Biosolutions I Danmark.
- <sup>16</sup> Copenhagen Economics (2022). The potentials of bio solutions.
- <sup>17</sup> Copenhagen Economics (2022). The potentials of bio solutions.
- <sup>18</sup> HBH Economics (2021). Økonomisk, klima- og miljømæssigt fodaftryk af biosolutions i Danmark.
- <sup>19</sup> The White House Office of Science and Technology Policy (2023) Bold goals for U.S. biotechnology and biomanufacturing <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2023/03/Bold-Goals-for-U.S.-Biotechnology-and-Biomanufacturing-Harnessing-Research-and-Development-To-Further-Societal-Goals-FINAL.pdf>
- <sup>20</sup> Fødevarestyrelsen (n.d). Novel food.
- <sup>21</sup> European Commission (2020). A new Circular Economy Action Plan.
- <sup>22</sup> Coralix (n.d). Lighthouse: Frövi.
- <sup>23</sup> Iea50 (2020). Current cost of CO2 capture for carbon removal technologies by sector.
- <sup>24</sup> Realdania (n.d). Veje til biobaseret byggeri.
- <sup>25</sup> Nordic testbed network (n.d). Home.
- <sup>26</sup> Regeringen (2022). Ansvar for Danmark.
- <sup>27</sup> D'Adamo et al (2020). A new socio-economic indicator to measure the performance of bioeconomy sectors in Europe.



***Det Nationale Bioøkonomipanel består af:***

**Asbjørn Børsting**, direktør, DAKOFO (formand)  
**Andreas de Neergaard**, prodekan og professor, SCIENCE, KU  
**Mette Lübeck**, lektor for Institut for Kemi og Biovidenskab, AAU  
**Irini Angelidaki**, professor, Institut for Kemiteknik, DTU  
**Bjarke Bak Christensen**, sektionsleder af Fødevareinstituttet, DTU  
**Anne Lerche**, sekretariatschef, Dansk Erhverv  
**Uffe Jørgensen**, leder for Center for Cirkulær Bioøkonomi, AU  
**Katrine Lindegaard**, konsulent, 3F  
**Carsten Rahbek**, professor, Center for Makroøkologi, KU  
**Rikke Lundsgaard**, landbrugspolitisk seniorrådgiver, Danmarks Naturfredningsforening  
**Martin Dam Wied**, afdelingschef, Green Power Denmark  
**Louise Bünemann**, fagleder for EU Miljøpolitik, Dansk Industri  
**Kim Grøn Knudsen**, chief Strategy & Innovation Officer, Haldor Topsøe  
**Anders Frandsen**, direktør, Dansk Skovforening  
**Lars Visbeck Sørensen**, direktør, Food & Bio Cluster Denmark  
**Katherine Richardson**, professor, KU  
**Henrik Jørgen Andersen**, senior Executive R&D Advisor, Arla Foods Ingredients  
**Anne Maria Hansen**, innovationsdirektør, Teknologisk Institut  
**Lene Lange**, direktør, LLa-Bio-Economy  
**Mads Sejersen Vinther**, fagpolitisk chef, Økologisk Landsforening  
**Henrik Wenzel**, professor, Institut for Kemi-, Bio- og Miljøteknologi, Syddansk Universitet

En virksomhedsgruppe har været tilknyttet panelets behandling af teamet.  
Medlemmer af virksomhedsgruppen (nedsat af panelets formand):

Rasmus Egeberg, Topsøe  
Henrik Jørgen Andersen, Arla Foods amba  
Steen Bitsch, Vestjyllands Andel  
John Jensen, Nordzucker  
Vagn Hundebøll, BioRefine  
Claus Crone Fuglsang, Novonosis  
Thorvald Ullum, 21st Bio  
Jacob Lave, DLG  
Erik C. Wormslev og Michael Maimann, Niras  
Thomas Brorsen Pedersen, Pond  
Christian Feder, KMC  
Peder Riis Nickelsen, Stiesdal  
Henrik Busch-Larsen, Algicel  
Michael Stevns, DLA Agro



Det Nationale

**BIOØKONOMI**

Panel