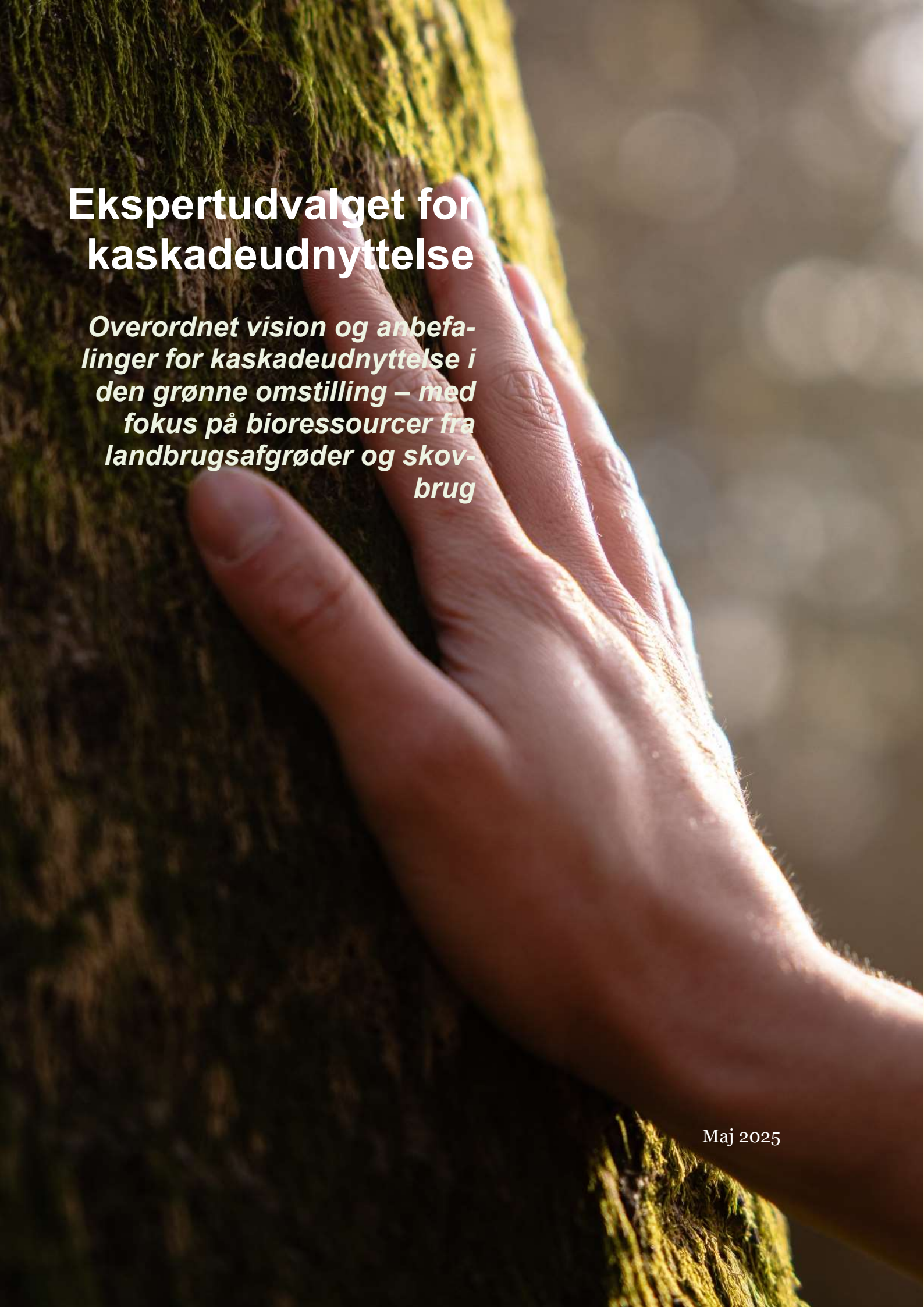


A close-up photograph of a human hand gently touching the bark of a tree. The tree bark is covered in vibrant green moss. The background is a soft, out-of-focus bokeh of light and dark spots, suggesting a forest setting. The lighting is warm, highlighting the texture of the skin and the moss.

Ekspertudvalget for kaskadeudnyttelse

Overordnet vision og anbefalinger for kaskadeudnyttelse i den grønne omstilling – med fokus på bioressourcer fra landbrugsafgrøder og skovbrug

Maj 2025

Indhold

Indledning	3
Aftale om et Grønt Danmark	4
Overordnet vision for dansk kaskadeudnyttelse - med fokus på bioressourcer fra landbrugsafgrøder og skovbrug	5
Anbefalinger fra Ekspertudvalget for kaskadeudnyttelse med fokus på bioressourcer fra landbrugsafgrøder og skovbrug	6
Faglig baggrund	18
Appendiks I: Medlemmer af Ekspertudvalget for kaskadeudnyttelse	22
Appendiks II: Byggesten for ressourceoptimering	23

Indledning

Det danske landbrugsareal står over for en omfattende omstilling, hvor omlægninger vil få betydelige konsekvenser på tværs af den biobaserede sektor. De forventede ændringer i arealanvendelsen forstærker behovet for en strategisk og fremadskuende tilgang, der sikrer, at vi udnytter vores ressourcer bedst muligt til en række formål som fødevarer, foder, materialer, kemikalier, brændstoffer, energiproduktion og kulstoflagring mv. Den grønne omstilling kræver ikke alene innovative løsninger, men også en systematisk tilgang til at optimere anvendelsen af vores bioressourcer. Det er afgørende, at vi med anvendelsen samtidig tager ansvar for de udfordringer, vi står overfor, inklusive klimaændringer, negative miljøpåvirkninger og ressourceknaphed.

Bioressourcer bør genereres og anvendes der, hvor de skaber størst samfundsmæssig værdi for Danmark og i global sammenhæng. Denne værdi kan både skabes i primærproduktion og i produktionsindustri. Og den kan både være i form af klimagevinster, økonomisk eller miljømæssige forbedringer såsom genopretning af biodiversitet og beskyttelse af vandmiljøet, samtidig med at vi skaber ressourcer til bæredygtig vækst og arbejdspladser. Det handler om at finde løsninger, der gavner flere formål på en gang. Den omfattende omstilling af arealerne kalder på en multifunktionel arealanvendelse. Det indebærer, at flere aktiviteter kan eksistere side om side.

En optimeret anvendelse af bioressourcer kræver tæt samarbejde på tværs af sektorer og en helhedsorienteret tilgang, der balancerer hensyn til klima, biodiversitet og økonomi.

Danmark har unikke styrkepositioner inden for den biobaserede sektor og står på et stærkt fundament ift. forskning, virksomheder og samarbejdsmodeller, som gør Danmark i stand til at udnytte bioressourcer som en central del af en bæredygtig fremtid. Men det kræver handling og ambitioner, der matcher udfordringerne. Der er behov for at få skabt overblik over, hvordan biomassen bevæger sig gennem værdikæderne – fra dens oprindelse til dens endelige anvendelse samt recirkulering til ny bæredygtig bioressourceproduktion – og samtidig sætte klare og ambitiøse målsætninger for økonomi, klima, natur og miljø. Når vi forener indsigt med handlekraft og høje ambitioner, kan Danmark fortsat gå forrest og optimere udnyttelsen af vores ressourcer til gavn for samfundet.

Aftale om et Grønt Danmark

Med *Aftale om et Grønt Danmark af 18. november 2024* (trepartsaftalen) blev det besluttet at nedsætte et udvalg, som adresserer ovennævnte udfordringer omkring udnyttelse af bioressourcen. Ifølge aftalen skal udvalget have fokus på kaskadeudnyttelse af biogent kulstof opsamlet i landbrugsafgrøder. Udvalget er nedsat med udgangspunkt i følgende afsnit i aftalen:

"Parterne er enige om at nedsætte et ekspertudvalg, der skal udkomme med en rapport, der 1) dels beskriver en mulig dansk overordnet vision for kaskadeudnyttelse af kulstof opsamlet i landbrugsafgrøder og opsamling af det biogene CO₂ fra biogas, hvor det giver samfundsøkonomisk mening og ikke er til ugunst for de kommercielle aktører, og anvendelse af denne i forbindelse med den grønne omstilling af samfundet, og 2) dels kommer med konkrete anbefalinger til initiativer, der kan bidrage til, at styrke Danmarks position på området og igangsætte opsamlingen samt sikre, at der kommer en incitamentsstruktur og samlet værdikæde."

Ministeren for grøn trepart har på baggrund af aftalen nedsat ekspertudvalget for kaskadeudnyttelse. Udvalget er bredt funderet og sammensat af repræsentanter fra bl.a. energibranchen, landbrugserhvervet, miljøorganisationer og forskningsverdenen. Udvalgets sammensætning fremgår af appendiks I. Nærværende rapport udgør resultatet af udvalgets arbejde.

I rapporten anvendes en række faglige begreber, herunder vedr. løsninger og tilgange. Disse er nærmere beskrevet i appendiks II.

Udvalget er ikke et videnskabeligt udvalg og har ikke haft til opgave at udvikle tiltag og virkemidler. Udvalgets opgave har været at tage udgangspunkt i eksisterende viden og indstille til videre proces, kvalificering og prioritering.

Som led i arbejdet har ekspertudvalget fokuseret på at identificere konkrete potentialer og barrierer inden for kaskadeudnyttelse af bioressourcer, der sigter mod at maksimere værdien af bioressourcer ved at udnytte dem i flere trin og til forskellige formål.

Udnyttelse af bioressourcerne skal ses i sammenhæng med stigende efterspørgsel efter fødevarer, såvel animalske som plantebaserede. Landbrugets hovedformål er at producere fødevarer, men landbruget har også en unik mulighed for at bidrage til at reducere udledningen af drivhusgasser, tab af næringsstoffer og levere kulstof til erstatning for det fossile klimabelastende kulstof. Ekspertudvalget for kaskadeudnyttelses arbejde er afgrænset til potentialet for ressourcer fra jordbrug – det vil sige ressourcer fra landbrugsafgrøder og fra skovbrug.

Ministeriet for Grøn Trepart har oplyst, at der ikke er afsat finansiering til nye initiativer, der følger af udvalgets anbefalinger. Der vil derfor skulle tilvejebringes finansiering til nye initiativer, som regeringen i givet fald vælger at iværksætte.

Overordnet vision for dansk kaskadeudnyttelse - med fokus på bioressourcer fra landbrugsafgrøder og skovbrug

Ekspertudvalget for kaskadeudnyttelse lægger vægt på at opnå et stærkt og bæredygtigt kredsløb for biogent kulstof, der opsamles i biomassen fra landarealet, med sigte på at skabe størst mulig samfundsmæssig værdi. Kredsløbet skal i øget omfang understøtte klimaet, miljøet, biodiversiteten og erhvervslivet og fremme Danmarks styrkepositioner. Tilrettelæggelsen af kredsløbet bør ske i et tæt samarbejde i den biobaserede sektor (energi, miljø, fødevarer, landbrug, skovbrug, byggeri, produktion, biosolutions etc.). Først og fremmest bør grundlaget for biomasseressourcen opbygges med et mål om maksimal synergieffekt mellem reduktion af miljø- og klima-belastning og øget biomasseproduktion til en voksende bioøkonomi.

Styrkelse af kaskadeudnyttelse på tværs af værdikæden

Udnyttelse af biomassen og det biogene kulstof efter kaskadeprincippet skal styrkes markant gennem udvikling af eksisterende og kommende teknologier, opskalering, øget markedsadgang og sammentænkning på tværs. Udviklingen skal blandt andet bidrage til at nå målene i *Aftale om implementering af et Grønt Danmark* så omkostningseffektivt som muligt. Det er en målsætning, at hele bioressourcen udnyttes maksimalt med fokus på at skabe højest mulig økonomisk og samfundsmæssig værdi pr. ressourceenhed. Dette indebærer en prioritering af midler og ressourcer, der sikrer sammenhæng mellem alle led i værdikæden – fra primærproducent til bioraffinering og slutprodukter. Biobaserede symbioser og klynger af virksomheder, bliver i den forbindelse afgørende for at optimere ressourceanvendelsen i den biobaserede sektor.

Prioritering af kaskadens enkelte dele

For at sikre at bioressourcerne fra jordbrug anvendes til formål, der skaber størst værdi for samfund og erhverv, skal indsatsen rettes mod de led af kaskaden, hvor der er potentiale for ressourceoptimering af stor volumen. Generel prioritering af fødevarer over foder kan indløse et stort klimamæssigt potentiale i de øvre dele af kaskaden. Desuden skal indsatsen hertil i højere grad rettes mod at styrke det mellemste kaskadeled (kemiske produkter og materialer mv.), hvor der er store volumener og potentiale for at optimere værdien af den samlede bioressource. Der er ligeledes stort potentiale for at udnytte biogent kulstof fra de nedre dele af kaskaden, herunder særligt biogent kulstof fra biogas. Ekspertudvalget peger på biogas som en blandt andre mulige teknologier inden for den biobaserede økonomi, der fortsat kan spille en vigtig rolle i den grønne omstilling. Som en markeds- og teknologimæssig moden teknologi bidrager biogas eksempelvis til ambitionen om at Danmark senest i 2030 vil være 100 pct. forsynes med grøn gas. CO₂-fraktionen fra biogas kan anvendes som en bæredygtig råvare til fremtidige lavkulstofprodukter og til lagring, hvilket kan styrke den samlede økonomi omkring biogas. Med fremtidig udtagning af landbrugsjord, kan udnyttelse af det biogene CO₂ fra biogas og andre processer som f.eks. fermentering, skabe nye værdistrømme som modvægt til det mulige produktionstab.

Grøn biomasse og fremtidens kaskade

Afgrødevalget på marken spiller en vigtig rolle i det videre potentiale for kaskadeudnyttelse samt gevinster for klima, miljø og biodiversitet. Hertil bliver grøn biomasse med sine positive egenskaber i stigende grad en vigtig ressource med de mange hensyn, der skal balanceres i fremtidens Danmark. Værdikæder omkring grøn bioraffinering skal derfor understøttes med henblik på en bæredygtig produktion af plantebaserede proteiner fra græs og andre flerårige afgrøder, der kan styrke Danmarks position på området og reducere importen af soja og levere fremtidens grønne proteiner til fødevarer. Endvidere kan høst af biomasse fra udtagne eller ekstensiverede arealer indgå, herunder arealer der indgår i drikkevandsbeskyttelsen. Den ændrede arealanvendelse skal bidrage til at opfylde såvel danske målsætninger som EU-forpligtelser på miljø- og naturområdet samt på energi- og klimaområdet. Hertil må efterspørgslen på biomasse ikke påvirke arealbehovet til natur og biodiversitet negativt. Den positive miljø- og klimateffekt, som visse afgrøder og nye landbrugssystemer påviseligt kan bidrage med, bør tilskrives en økonomisk værdi for at tilskynde til positiv arealanvendelse.

Kobling til andre indsatser

Ovenstående gælder særligt i forbindelse med udtagning af landbrugsarealer, tilrettelæggelse af ny reguleringsmodel, indspil til den fælles landbrugspolitik (CAP), herunder fremtidige danske CAP-ordninger samt kommende reform af CAP'en i EU, prioriteringer af fremtidige udviklings- og demonstrationsprojekter og ved etablering af skov.

Anbefalinger fra Ekspertudvalget for kaskadeudnyttelse med fokus på bioressourcer fra landbrugsafgrøder og skovbrug

For at realisere den overordnede vision om en stærk og bæredygtig kaskadeudnyttelse af biogent kulstof har Ekspertudvalget for kaskadeudnyttelse identificeret fire overordnede anbefalinger. Samlet set skal anbefalingerne understøtte, at bioressourcer fra landbrug og skovbrug udnyttes så effektivt som muligt gennem hele værdikæden – fra primærproduktion til slutprodukter og recirkulering.

Anbefalingerne har til formål at skabe størst mulig økonomisk, klima- og miljømæssig og samfundsmæssig værdi. Anbefalingerne adresserer både samarbejdsmodeller, teknologisk udvikling og politiske rammevilkår med henblik på at optimere udnyttelsen af bioressourcer i Danmark.

- A. **Styrkelse af vertikalt samarbejde i kaskader**
 - En mere integreret værdikæde skal sikre bedre sammenhæng mellem primærproduktion, forarbejdning og slutbrug. Et tættere samarbejde mellem aktører på tværs af sektorer vil bidrage til en mere effektiv ressourceudnyttelse og understøtte udviklingen af højværdiprodukter.
- B. **Styrkelse af værdikæden for grøn biomasse til grøn bioraffinering og energiproduktion**
 - Grøn biomasse har et stort potentiale som råvare i bioøkonomien. Udviklingen af grøn bioraffinering skal understøttes, så Danmark kan optimere produktionen af grønne proteiner til fødevarer, reducere importen af foderprotein, øge produktionen af bæredygtige materialer og sikre en mere klimavenlig arealanvendelse.
- C. **Styrket forskning og certificering af biogene byggematerialer samt udnyttelse af ressourcer fra skov- og jordbrug**
 - Biogene byggematerialer kan fremmes for at reducere afhængigheden af fossile materialer i byggeriet. Samtidig skal skovbrugets ressourcer udnyttes mere effektivt i kaskaden, så kulstof lagres i længerevarende produkter frem for udelukkende at blive anvendt til energiformål.
- D. **Udnyttelse af biogasbranchens kaskadepotentiale**
 - Biogas kan spille en central rolle i kaskadeudnyttelsen, både som energikilde og ved teknologi, der kan opsamle og udnytte biogen CO₂. Der er behov for at styrke integrationen mellem biogas og andre dele af kaskaden.

Med disse fire anbefalinger følger en række konkrete forslag til mulige indsatser og aktiviteter, der har fokus på at fremme kaskadeudnyttelse af bioressourcer på en måde, der både er økonomisk rentabel og understøtter klima- og miljømål. Ekspertudvalget har identificeret 39 indsatser og aktiviteter. Det afspejler, at kaskadeudnyttelse er et bredt emne med mange mulige indsatsområder, samt at ekspertudvalget med sin brede sammensætning har peget på flere forskellige tilgange til indsatser og aktiviteter. De fire afsnit om anbefalingerne uddyber, hvordan disse indsatser kan realiseres gennem bl.a. strategiske investeringer, teknologisk udvikling og politiske tiltag.

A: Styrkelse af vertikalt samarbejde i kaskader

Det er vigtigt af styrke samarbejdet mellem forskellige sektorer i kaskaden, fordi det sikrer en mere effektiv udnyttelse af bioressourcerne ved at skabe helhedsorienteret sammenhæng mellem produktion, forarbejdning og anvendelse. Det kan gøres gennem et velfungerende vertikalt samarbejde i kaskaden med god koordinering og integration mellem aktører på forskellige niveauer i en værdikæde – fra primærproduktion til det endelige slutprodukt. Den vertikale struktur handler om at forbinde og optimere samarbejdet mellem hvert led i kaskaden for at opnå en mere effektiv, bæredygtig og værdiskabende udnyttelse af bioressourcerne. I forbindelse med kaskadeudnyttelse af bioressourcer indebærer det, at landmænd, producenter, forarbejdningsevirsomheder og slutbrugere arbejder tæt sammen for at skabe en sammenhængende og effektiv udnyttelse af ressourcerne. Der er hertil behov for en forståelse af, hvordan man håndterer fortrængningseffekten i kaskadeudnyttelsen, altså hvordan anvendelsen af biomasse til ét formål kan reducere eller udelukke dens anvendelse til et andet med positiv effekt.

Multifunktionel arealanvendelse kan skabe en sammenhængende og effektiv udnyttelse af ressourcer og være med til at styrke samarbejdet på tværs. Konkret er der behov for at tænke flere forskellige aktiviteter ind på samme areal. Et areal med vindmøller eller solceller kan have betydelig positiv samfundsværdi, da man derved benytter arealerne til at producere flere ting på samme tid. Ét areal kan derved blive stedet, hvor der produceres grøn energi, fødevarer og videre kaskadeudnyttelse af bioressourcer.

For at styrke det vertikale samarbejde mellem de forskellige led i kaskaderne er det vigtigt at danne overblik over ressourcestrømme og at skabe en bedre sammenhæng mellem de forskellige aktører i værdikæden. Der er behov for at tilskynde til, at bioressourcer i højere grad anvendes i flere faser i en udbygget værdikæde, så ressourcerne udnyttes optimalt i forhold til at skabe størst samfundsmæssig værdi. Vertikalt samarbejde kan i den forbindelse sikre integration af højværdiprodukter, som kan udvindes tidligt eller skabes senere i processen via opgradering af mellem- eller restfraktioner. For at få mest mulig værdi ud af de ressourcer, der er til rådighed, vurderes der at være potentiale i at prioritere incitament, der hvor der er mulighed for høj samfundsmæssig værdi og stor ressourcervolumen. Det vurderes dertil, at der særligt er et uudnyttet potentiale i at integrere middelfractionen i værdikæden for kaskadeudnyttelse, da der er potentiale for stor volumen og mulig økonomisk og samfundsmæssig værdi. Det er ligeledes vigtigt, at have blik for, om der kan udvikles et eller flere højværdiprodukter i kaskaden.

Udviklingen i biogasbranchen har demonstreret, hvordan en opskalering inden for den biobaserede sektor, kan se ud. Branchens succes kan bruges som løftestang for, hvordan de øvre lag af kaskaden kan understøttes og opskaleres. Biogasbranchens succes skyldes bl.a. en målrettet indsats med virkemidler, der har understøttet udviklingen. Bl.a. et tæt samarbejde mellem landbrug, energi og teknologiudvikling har været kernen i biogasbranchens succes sammen med politisk støtte og klare mål. Disse og andre virkemidler kan tjene som inspiration til at fremme andre dele af ressourcekaskaden og skabe en mere sammenhængende og bæredygtig udnyttelse af ressourcerne.

Potentiale

Den biobaserede sektor forventes at spille en central rolle i overgangen til et bæredygtigt samfund uden fossile materialer og brændstoffer. Jo bedre kaskaden er integreret, desto mere økonomisk værdi kan der skabes, og desto mindre spild opstår. Den største optimering opnås, når virksomheder gennem hele værdikæden har en holistisk tilgang til det samlede udbytte af deres biomasseinput. I Danmark er der mange virksomheder i den biobaserede sektor, der udnytter nye teknologiske muligheder, men få af dem har en holistisk tilgang til biomasseinput, som det ser ud nu. Vertikalt samarbejde og sektorkobling er relevant for både landbrug og skovbrug i integration med flere forskellige sektorer (byggeri, energi, affald, kemikalier mv.).

Samlokalisering i den biobaserede sektor har potentiale til at understøtte vertikalt samarbejde. Samlokalisering og bio-industrielle symbioser kan skabe nye jobmuligheder og økonomisk modstandsdydgtighed ved at samle industrier tæt på primærerhverv. Det understøtter minimeret transport, logistik og bedre teknologisk infrastruktur.

Barrierer

Nogle af de mest centrale barrierer, når det kommer til at aktualisere potentialet ved vertikalt samarbejde i værdikæder med en holistisk tilgang til biomasseinput, knytter sig til regulering, umoden teknologi, infrastruktur og kommunikation. Dertil kommer, at markedet kan ændre sig hurtigt i den biobaserede sektor, hvilket skaber udfordringer, når man ønsker at se fremad.

Flere interessenter i den biobaserede sektor ønsker en højere grad af samlokalisering og samarbejde mellem aktører på tværs af værdikæden, der kan håndtere udfordringer såsom transportomkostninger og logistiske udfordringer forbundet med f.eks. begrænset holdbarhed og lav densitet for mange bioressourcer. De største barrierer for samlokalisering og bio-industrielle symbioser er regulering, der hæmmer fleksibilitet og hindrer samlokalisering i landzoner.

Der kan være regulatoriske barrierer i forhold til godkendelse af produkter fra alle led af kaskaden. Det gælder f.eks. middelfractionen ift. afgift på anvendelse af emballage til opbevaring af fødevarer. I nederste kaskadeled opleves også regulatoriske barrierer i form af EU's forordning for animalske biprodukter, som begrænser brugen i andre kaskadeled. Novel Food-godkendelser kan ligeledes være en begrænsning. Novel Food betegner fødevarer og fødevaringredienser, der ikke har været almindeligt anvendt i EU før 15. maj 1997. Dette kan eksempelvis omfatte nye kilder til protein som insekter, alger og præcisionsfermenterede ingredienser. Formålet med EU's Novel Food-forordning er at sikre, at disse produkter er sikre for forbrugerne, korrekt mærkede og ikke vildledende. Godkendelsesprocessen varetages af EU Kommissionen og indebærer omfattende dokumentation og risikovurdering udført af Den Europæiske Fødevarsikkerhedsautoritet (EFSA), hvilket kan være en tidskrævende og ressourcekrævende proces for virksomheder, som derfor holder sig tilbage. En virksomhed kan endvidere være tilbageholdende i forhold til at bære omkostninger og risiko ved en ansøgning alene, da en efterfølgende godkendelse som udgangspunkt vil være åben for anvendelse for alle virksomheder, der opfylder givne krav. Dog kan der, hvis betingelserne herfor er opfyldt, opnås 5-årig databaseskyttelse, som vil sikre, at det kun er produktet fra den pågældende ansøger, som må markedsføres i de første 5 år, hvorefter godkendelsen bliver generisk. En styrket vejledningsindsats til at fremme godkendelser kan fremme innovation, styrke markedsudviklingen og understøtte bæredygtige fødevarerealternativer i EU. Øget fokus på innovation og opskalering af teknologier, der muliggør bedre udnyttelse af bioressourcer, er afgørende for at styrke værdikæden og skabe økonomisk bæredygtighed i den biobaserede sektor. Endvidere kan en ordning, der minimerer den ansøgende virksomheds omkostninger ved ansøgningen, understøtte fremdrift.

For integration af middelfractionen i kaskaden betyder umoden teknologi ofte, at kvaliteten og renheden af fraktionen er utilstrækkelig til anvendelse til specifikke formål. Derudover betyder manglende teknologiske muligheder, at det er vanskeligt at adskille enkelte komponenter i middelfractionen og gøre dem tilgængelige for videre bearbejdning på et højt niveau i kaskadeudnyttelsen. Der er også barrierer i forhold til en høj variation i råvarekvalitet sammenlignet med ensartede fossile råstoffer. Det giver udfordringer med forudsigelighed, stabilitet og økonomisk sikkerhed i hele værdikæden fra primærproducenter, til bioraffinering og aftagere i kaskadeudnyttelsen.

Indsats / aktivitet

- A1. Politiske tiltag som facilitering og garantistillelse, der kan understøtte samt reducere usikkerhed og styrke incitamenter for bedre udnyttelse og værdiskabelse i de forskellige lag af kaskadeudnyttelsen. Herunder kan potentialet for og implementering af samarbejdsmodeller mellem offentlige myndigheder, private virksomheder og forskningsinstitutioner i den biobaserede sektor kortlægges for at undersøge potentialet for langsigtede aftaler, der understøtter markedsudvikling og reducerer risikoen for de involverede aktører.
- A2. Understøttelse af udvikling og opskalering af teknologier, der løser udfordringer med f.eks. fraktionering, forarbejdning og biotilgængeligheden i plantebaserede ingredienser. Hertil indsætter for tilvejebringelse af risikovillig kapital.
- A3. Øget iværksættelse af analyser, som kvantificerer fordele for klima, miljø og samfundsøkonomi ved anvendelse af middelfraktionens enkelte komponenter på højst mulige kaskadeniveau og potentiel fortrængningseffekt i stedet for at betragte den som en rest, der bedst anvendes til energi.
- A4. Sikre et bæredygtigt råvaregrundlag fra primærproduktionen ved at fremme afgrøder og dyrkningssystemer der har positive miljø- og klima effekter samtidig med at der produceres fødevarer, foder og biomasse til en voksende befolkning og til bioøkonomi.
- A5. Politiske tiltag til at fremme samlokalisering af grøn energiproduktion, bio-industrielle symbioser og øvrig arealanvendelse som samlet kan øge værdiskabelse af arealerne. Samtidigt kan samlokalisering understøtte politiske målsætninger om øget energiproduktion fra vind og sol på land.
- A6. Skabe bedre regulatoriske rammer og incitamenter for samlokalisering af virksomheder i hele værdikæden med økonomisk sammenhængskraft. Der bør hertil tages hensyn til optimering af omkostningseffektiviteten, og at der skabes størst mulig værdi for primærproducenterne, den biobaserede industri og øvrig følgeindustri. Herunder etablering af regulatoriske sandkasser, hvor virksomheder sammen med myndigheder og interessenter kan identificere mulige regulatoriske barrierer og søge veje til at håndtere disse.
- A7. En statslig samlet kortlægning af det fremtidige biomasseudbud og -behov fra jordbrug og den mest værdiskabende anvendelse af bioressourcer baseret på en samfundsøkonomisk værdianalyse. Der bør med afsæt heri udvikles en metode til at følge udviklingen i kaskadeudnyttelsen i den biobaserede sektor med en visuel fremstilling, herunder biomassens fordeling på forskellige anvendelser (fødevarer, foder, materialer, energi osv.). Dette kan understøttes af en årlig status, der monitorerer ændringer i arealanvendelse, klimaeffekter og økonomisk værdi mv., hvilket kan danne grundlag for politiske beslutninger og nye målsætninger for sektorens udvikling.
- A8. Etablering af et fast-track og en tværgående ministeriel task-force, der kan hjælpe virksomheder igennem udvalgte godkendelsesprocesser under hensyntagen til miljø og negative sideeffekter, når der anvendes bioressourcer, reststrømme mv. i produkter.

- A9. Regeringen bør sikre økonomisk støtte i forbindelse med ansøgningsprocesser bl.a. til at gennemføre toksikologi-studier. Her kan offentlige fonde, som Innovationsfonden og udvikling- og demonstrationsprojekter spille en rolle, hvor de i forvejen investerer i projekter om udvikling af reststrømme i nye produkter/fødevarer.
- A10. Indsats for hurtigere godkendelsesprocesser for nye fødevarer i EU, og Den Europæiske Fødevaresikkerhedsautoritet (EFSA) herunder tilførsel af de nødvendige ressourcer og kompetencer for at løfte opgaven. Herunder bør det undersøges, om der kan etableres en pulje med midler til at finansiere virksomheders Novel Food-godkendelser, således at de virksomheder, der først ansøger om en godkendelse ikke bærer hele omkostningen og risikoen.
- A11. Prioritering af fortsat arbejde for at muliggøre anvendelse af nye genomiske teknikker (NGT) i EU vedrørende planter og mikroorganismer, så organismer optimeres i forhold til kaskadeudnyttelse.
- A12. Igangsættelse af forsknings- og udviklingsprojekter, hvor potentialet for produktion af biomasse ud fra mikroalger medtages. Mikroalger har et stort potentiale som en bæredygtig biomassekilde, og deres integration med andre teknologier som biogasanlæg kan styrke den biobaserede sektor. Herunder undersøgelse af muligheden for at understøtte udviklingen med et produktionstilskud i lighed med produktionstilskuddet på biogas og vindmølleindustrien historisk set.
- A13. Implementering af præcise retningslinjer for, hvordan biomasse og biogent CO₂ anvendes i forskellige sektorer, og hvordan denne anvendelse krediteres i CO₂-regnskabet. Det er nødvendigt, at alle aktører, fra landbrug til biogasproducenter og industri, kan dokumentere deres bidrag til CO₂-reduktion på en gennemsigtig og ensartet måde, så der ikke opstår dobbeltberegning af CO₂-reduktioner. Dertil kommer, at der i de nationale CO₂-opgørelser skal udvikles CO₂-emissionsfaktorer for flere af disse nye teknologier.

B: Styrkelse af værdikæden for grøn biomasse til grøn bioraffinering og energiproduktion

I den grønne omstilling af dansk landbrug er der behov for løsninger, der både gavner miljøet og sikrer en økonomisk rentabel ressourceudnyttelse. Omlægning af landbrugsarealet til græsser og græsmarkbælgplanter som kløver og lucerne er et lovende alternativ, ny grøn proteinkilde som har flere miljømæssige fordele samt øger biomasseproduktionen også til andre produkter i kaskadeudnyttelsen. Græsser og græsmarkbælgplanter dyrkes ofte i blandinger for at kombinere græssets høje udbytte og struktur med bælgplanternes proteinindhold og kvælstoffiksering. Græsafgrøder og bælgssæd (ærter, bønner, linser mv.) sammen med andre flerårige afgrøder er en del af den grønne biomasse, som refererer til landbaseret biomasse, der primært dyrkes på landbrugsarealer eller høstes fra flerårig vegetation, og som kan bruges som input til grøn bioraffinering. Græs og græsmarksbælgplanter har den fordel, at de ikke skal sås hvert år, hvilket kan mindske jordbearbejdningsbehov, og at de har en aktiv plantevækst hele sæsonen, hvilket giver en mere stabil og langsigtet ressource. De bidrager også til bedre jordkvalitet ved at opretholde en konstant rodstruktur. I tillæg til de miljømæssige fordele rummer græsafgrøder også et stort potentiale som råvare i den biobaserede økonomi.

Aarhus Universitet har vurderet et stort potentiale for grønne proteiner fra grøn bioraffinering til fødevarer. Ifølge universitetet kan op til 10 pct. af græsproteinet i fremtiden bruges til fødevarer, hvilket svarer til 40.000 tons græsprotein. Restfraktionen fra proteinekstraktionen har yderligere stort potentiale til andre formål i kaskaden, herunder foder, materialer og biogasproduktion. Græsprotein kan desuden være med til at bidrage til at erstatte importeret foder, som f.eks. soja.

Potentiale

En omlægning af landbrugsarealer til flerårige afgrøder såsom græsdyrkning kan medføre betydelige klima- og miljømæssige fordele. Græsser er en del af den grønne biomasse, som kan bidrage med bl.a. grønne proteiner til dyr og mennesker og en lang række andre anvendelser længere nede i kaskaden.

Græsmarksafgrøder kan bidrage til øget indlejring af kulstof i dyrkningsjorden (indtil en ny ligevægt) og kan reducere klimabelastningen ved at levere biomasse til biogasanlæg. Dette kan erstatte fossile CO₂-kilder i tekniske anvendelser som PtX, næringsstoffer i produktionssystemer, råstof i den kemiske industri eller som permanent lagring i undergrunden. Græsdyrkning kan også føre til forbedring af biodiversiteten under og over jorden, hvis der inkorporeres biodiversitetsprincipper i udrulningen af grøn bioraffinering med fokus på f.eks. anvendelse af blandinger af græs, kløver og urter mv.

Samtidig reducerer græsdyrkning kvælstofudvaskning og tab af næringsstoffer til vandmiljøet, som understøtter målene i aftalerne om et Grønt Danmark. Strategisk placering af græsmarker i områder med risiko for tab af næringsstoffer, samt høst af græs fra lavbundslande, kan yderligere bidrage til at reducere udvaskningen af kvælstof og til at genanvende næringsstoffer som gødning på robust jord.

Bioraffinering af grøn biomasse har potentiale til at blive profitabelt i stor skala og med stor volumen. Græsafgrøder, der raffineres i bioraffinaderier, kan producere protein, fibre og andre værdistoffer, som substituerer importerede proteiner, herunder soja. Ved at udnytte reststrømme fra bioraffinering i eksempelvis biogasanlæg opnås en effektiv kaskadeudnyttelse af biomassen. Græsmarksbælgplanter kan optage kvælstof fra luften, som gør det til en løsning på problemet med manglende kvælstof i økologisk landbrug. Det er en af de største udfordringer ift. at fordoble det økologiske areal i Danmark inden 2030. Århus Universitet har i en rapport for Det Nationale Bioøkonomipanel i 2024, vurderet potentialet for økologisk græsproduktion i bioraffinering, særligt til fremstilling af lokalt produceret økologisk proteinfoder. Århus Universitet fremhæver, at græsafgrøder er velegnede til økologiske sædskifter. Ved øget efterspørgsel kan bioraffinering af økologiske græsafgrøder give et vigtigt markedstræk i bioøkonomien.

Græsdyrkning kan også fungere som et alternativ til brak på arealer med højt kvælstofindsatsbehov, hvilket gør det muligt at opretholde en vis landbrugsproduktion på arealerne. Derudover kan øget græsproduktion skabe større input til bioraffineringsanlæg og understøtte omstillingen til mere bæredygtige produktionsformer sammenlignet med mere intensiv og ressourcekrævende plantedyrking.

Omlægning til græs kan foretages meget hurtigt og derved bidrage til klima- og vandmiljømålene i aftalerne om et Grønt Danmark. Græs vil samtidig kunne fastholde aktivitet på bedrifterne.

Barrierer

En stærkere værdikæde for grøn biomasse, kræver grundlæggende en rentabel afregningspris på grønne afgrøder fra bioraffineringsanlæggenes side. Dette har sammenhæng med fortsat behov for teknologiudvikling og opskalering i branchen.

I forhold til potentialet for at erstatte importeret foder, som f.eks. soja, er det en barriere, at nye grønne proteiner endnu ikke er økonomisk konkurrencedygtige ift. importeret sojaprotein til foder set i forhold til prisen, hvilket bl.a. skyldes høje produktionsomkostninger. Storskala produktion og etablerede forsyningskæder gør at sojaprotein er billigere end lokal produktion af græsprotein.

Derudover stiller krav om stabile leverancer af frisk biomasse betydelige krav til samarbejde mellem landbrug og bioraffineringsanlæg og krav til infrastrukturen lokalt. Høstede græsafgrøder skal f.eks. bioraffineres hurtigst muligt efter høst (typisk inden for få timer) for at minimere tab i udbytter og kvalitet.

Der er ligeledes barrierer ift. regulering. Modsattede reguleringer nationalt og i EU og i landbrugspolitikken og i energipolitikken blokerer for realisering af potentialet for styrkelse af værdikæden. Herunder de korte tilsagnsperioder i CAP'en kontra klassificeringen af helsæd fra græs i om-drift som energiafgrøde under danske regler, hvilket begrænser muligheden for, at græs kan indgå som input i biogasanlæg. Den nuværende lovgivning betyder at græs i de første fem år af en omlægning vil være klassificeret som energiafgrøde (5-årsregel). Efter fem år klassificeres græsset som permanent græs, og begrænsningen ophører. Endvidere får biogas fra græs en lavere økonomisk værdi i EU, da det ikke indregnes som et biprodukt fra miljøtiltag.

Indsats / aktivitet

- B1. Den nye kvælstofreguleringsmodel for kvælstof indrettes, så den samtidig understøtter om-lægning til græsmarksafgrøder til grøn bioraffinering.
- B2. Tildeling af en økonomisk værdi til de "ecosystems-services" som flerårige græsmarksaf-grøder giver inklusiv reduceret nærringstofudledning, reduceret pesticidforbrug, positiv kulstofopbygning og mulig forbedring af biodiversiteten over og under jorden (sammen-lignet med tidligere arealanvendelse).
- B3. Forskning og teknologisk innovation for at forbedre og indhente viden om smag, tekstur, allergener og næringsværdi af nye grønne proteiner til fødevarer, så kvaliteten kan konkur-rere med eksisterende alternativer. Herunder udviklingen af avancerede bioraffinerings-teknologier, der kan sikre højt udbytte og kvalitet af proteinet. De danske Udviklings- og Demonstrationsprogrammer (GUDP, MUDP mv.) bør i den forbindelse prioritere projek-ter, der udvikler fødevarekvaliteten af græsprotein.
- B4. Prioritering af indsatser der kan bringe prisen på græsprotein tættere på prisen på impor-teret sojaprotein. Herunder forsknings- og udviklingsprojekter.
- B5. Udviklingstiltag der kan fremme kaskadeudnyttelse. Herunder fokus på udvikling af tek-nologisk fleksibilitet, der tillader bearbejdning af forskelligartet biomasseinput såsom grøn biomasse kombineret med andre grønne afgrøder eller reststrømme, som f.eks. efterafgrø-der, kartoffeltoppe, roetoppe og brunsaft (rest fra grøn bioraffinering). Ligeledes udvikling af brunsaft til forskellige formål såsom nybyggeriet, gødning, foderkoncentrat og biogas mv.
- B6. Kobling af regeringens målsætning om at fordoble det økologiske areal til indsatser for grøn bioraffinering og biogas. Hertil bør man fremme innovation inden for bioraffinering og bio-gasproduktion målrettet økologiske græsafgrøder.
- B7. Etablering af en fuldt finansieret taskforce med myndigheder, vidensinstitutioner og er-hver, der skal hjælpe lokale grønne trepartier/kystvandråd med at omlægge til græs og an-dre grønne afgrøder til grøn bioraffinering.
- B8. Videreførsel, evaluering og eventuel omlægning af tilskudsordninger til grøn bioraffine-ring. Herunder CAP-støtteordningerne 'Projektmodning af anlæg til grøn bioraffinering' og 'Etablering af anlæg til grøn bioraffinering' der udelukkende støtter anlægsomkostninger. Hertil bør det undersøges, om der fremover ikke kun kan ydes støtte til anlægsinvesteringer men også til driftsomkostninger, der kan drive markedsudviklingen.

- B9. Kortlægning af hvor mange bioraffineringsanlæg, der er behov for, for at dække Danmarks grønne proteinbehov efter arealomlægningen og reducere sojaimport. Kortlægningen kan evt. forenes med analysen beskrevet i *Aftale om Implementering af et Grønt Danmark* der skal identificere mulige virkemidler og redskaber, der kan reducere import af soja yderligere og styrke anvendelsen af danskproduceret protein.
- B10. Indhentning af forskningsbaseret viden om, hvorvidt man på en miljø-, natur, og klimaneutral måde kan øge græspotentialet for biogasproduktion gennem en ændring af 5-års reglen, hvori i græs ikke længere kategoriseres som en energiafgrøde, såfremt der er indgået langsigtede kontrakter om levering til biogasproduktion eller at der er tale om sene slæt med lav foderkvalitet.
- B11. Undersøgelse af grundlaget for at sammentænke ekstensiveringsordninger i den fælles landbrugspolitik med energiproduktion. Herunder sikre at ekstensiveringsstøtten gør det attraktivt at ekstensivere græsarealer med høst.
- B12. Undersøgelse af grundlaget for at fremme etableringen af græs og andre flerårige afgrøder i EU-reguleringen herunder i VE-direktivet og CAP'en.

C: Styrket forskning og certificering af biogene byggematerialer og udnyttelse af ressourcer fra skov- og landbrug

Som følge af aftalerne om *et Grønt Danmark* forventes der at komme mere produktionsskov i Danmark. Det er hertil essentielt, at skove forvaltes på en måde, der balancerer miljømæssige, økonomiske og sociale hensyn. Det indebærer ansvarlig høst af træer, så skovene kan regenerere, samtidig med at biodiversitet og økosystemer bevares bedst muligt. Det er også vigtigt, at kaskadeprincippet bliver fulgt ifm. udnyttelse af de nye ressourcestrømme fra skovbrug.

Der er mange muligheder for udnyttelse i de midterste kaskadeled. En god teknologisk mulighed er at omsætte biomasse til langtidsholdbare byggematerialer og input til møbelproduktion, så fotosyntesens CO₂-fangst kan langtidslagres og fossilbaserede byggematerialer, kan udfases. Disse byggematerialer betegnes som biogene byggematerialer og er karakteriseret ved at være fremstillet af naturlige, fornybare ressourcer som f.eks. træ, hamp eller halm. Jordbruget har derfor mange ressourcestrømme, som kan anvendes til biobaserede byggematerialer. De biogene materialer kan f.eks. være pladematerialer eller isoleringsmateriale produceret af spåner eller fibre. De er som hovedregel mere klimavenlige end traditionelle byggematerialer, fordi de er fremstillet af kulstof, som planter har optaget fra atmosfæren, fordi de fungerer som langvarige CO₂-depoter og fordi de ofte kræver mindre energi ved produktion og transport. Der ses lige nu en bevægelse i byggebranchen mod fokus på udnyttelse af biogene materialer. Der er derfor potentiale for at understøtte det engagement, der er ved at vokse frem med de rette incitamenter så vi får en dansk produktion i stedet for import.

På EU-niveau arbejdes der på udvikling af metoder til at dokumentere effekterne af tiltag der fremmer kulstoflagring, de såkaldte carbon removal credits. Arbejdet foregår i tre søjler: 1) industriel lagring af biogent CO₂, 2) lagring gennem biobaserede produkter og 3) øget kulstoflagring via carbon farming. Initiativet kan bidrage til at gøre metoder og dokumentation mere robuste – og dermed understøtter en større kaskadeud-

Potentiale

I forhold til udnyttelse af ressourcer fra skovbrug viser internationale erfaringer et stort potentiale for at udnytte biomasse, især smådimensioneret løvtræ, til højværdiprodukter som materialer, kemikalier, tekstiler og probiotika. Samtidig viser udviklingen i flere lande, at bioraffinering af biomasse fra skov kan reducere afhængighed af fossile ressourcer. Derudover er der potentiale for at balancere skovarealernes anvendelse mellem biodiversitetsbeskyttelse og produktion. En nylig træstrømsanalyse for Danmark udført ved Københavns Universitet har vist at vi brænder mere end 80 pct. af træråvaren, der forbruges i Danmark, størstedelen i form af importerede træpiller. Men ser man på den indenlandske produktion af løvtræ, er andelen ca. den samme. Hvis løvtræet kunne anvendes til andre formål før det evt. benyttes til energiformål som sidste trin i kaskadeudnyttelsen, ville dette kulstof kunne holdes ude af atmosfæren i en årrække.

Kaskadeanvendelse af træ kan dels reducere presset på de primære træbiomasseressourcer, dels kan det forlænge retentionstiden af kulstof i træprodukter og dermed øge det såkaldte HWP kulstoflager. Det samlede klimapotentiale afhænger af graden af kaskadeanvendelse og hvilke produktkategorier, der indgår i en given kaskade, men også muligheden for genanvendelse vil spille ind.

Der er stort potentiale for, at byggeriet kan bidrage til en positiv udvikling. Byggeriet står ifølge FN for 37 pct. af verdens CO₂-emissioner. Der er derfor al mulig grund til at indtænke biogene byggematerialer i kaskadeudnyttelse af biomasse med materialernes positive klimategenskaber. Samtidig erstatter biobaserede materialer alternativer som stål, beton og stenuld, hvilket reducerer klimaaftrykket yderligere, så længe disse materialer ikke kan produceres uden udledning af CO₂. De biogene materialer kan derudover delvist kompensere for en forventet fremtidig mangel på sand, grus og andre mineralske materialer. Det skal bemærkes, at selvom biogene byggematerialer i princippet er fornybare, så er de stadig begrænsede og skal anvendes med omtanke. Her kan øget genanvendelse af træbaserede byggematerialer også give et positivt bidrag.

Nye klimakrav i Bygningsreglementet fra 2023 skærpes yderligere fra 2025 og fremefter. Dette presser branchen til hurtig grøn omstilling, hvor biogene materialer kan fungere som CO₂-lagre. Ifølge Aalborg Universitet kan disse materialer potentielt lagre 1,8 mio. tons CO₂ årligt i det følgende årti i det byggede miljø ved uændret byggeaktivitet. Herefter vil det falde til 1,7 mio. tons CO₂ pr. år over de næste 30-50 år.

Barrierer

I forhold til udnyttelsen af bioressourcer fra skov er det en barriere i dag, at der mangler smartere og mere effektive udnyttelsesteknologier. Derudover dækker skovbrug i øjeblikket et meget mindre areal end landbrug i Danmark, og har som følge deraf en mindre følgeindustri, og en mindre økonomisk betydning.

En barriere for udbredelsen af biogene byggematerialer i Danmark er omkostninger til dokumentation af deres tekniske egenskaber og hastigheden, hvormed sådan dokumentation kan fremskaffes og anerkendes i branchen. Dokumentationen skal sikre et sikkert og sundt bygget miljø og er i praksis nødvendig, når der afviges fra erfaringsbaserede anerkendte løsninger. I lighed hermed er det en barriere, at bygninger typisk kun kan forsikres, hvis de er opført med alment anerkendte løsninger.

Erfaringsbaserede anerkendte løsninger er i vidt omfang beskrevet i det "alment tekniske fælleseje", som ikke er en entydig størrelse, men som dækker over anvisninger, vejledninger, beskrivelser og lignende. Alment teknisk fælleseje er i sin karakter nødvendigvis bagudskuende, hvorfor bygge- og anlægsbranchen har en aktuel og erkendt opgave med at finde en model for accelereret opsamling og udbredelse af viden om ikke-gennemprøvede metoder og materialer som f.eks. biogene materialer. Opgaven er reel, i det den aktør, der måtte vælge en ikke-gennemprøvet metode eller materiale, har risikoen (herunder den økonomiske) for materialets egenskaber i et bygget miljø med en oftest lang levetid, hvilket udgør en selvstændig barriere.

Således mangler der per definition tilstrækkelig viden om biogene materials tekniske egenskaber, især over tid, hvilket øger usikkerheden. For nuværende kan man ikke anvende f.eks. genbrugstræ som bærende konstruktion i nybyggeri grundet manglende dokumentation og garanti, hvilket indsnævrer

genbrugsmuligheder. Der er behov for investering i metodeudvikling af styrkevurdering af genbrugstræ ved ikke-destruktive metoder. Manglen på sammenhæng i de regulatoriske rammer for produktion, byggeri, energi, affald og kemikalier komplicerer yderligere overgangen til biogene materialer. Disse udfordringer betyder, at selvom biogene byggematerialer har et stort potentiale for at reducere byggebranchens klimaaftryk, kræver deres udbredelse en målrettet indsats for at overvinde både tekniske og strukturelle barrierer.

Indsats / aktivitet

- C1. En aftale med staten i spidsen mellem relevante aktører som f.eks. erhvervet, kreditforeninger/banker, forsikringsselskaber og større institutionelle bygherrer som for eksempel pensionselskaber om hvordan risikoen ved brug af biogene byggematerialer og konstruktioner kan håndteres og deles, indtil den nye byggeskik kan indgå i det erfaringsbaserede alment tekniske fælleseje. Det kan evt. foregå via certificeret afprøvning/dokumentation, og ved at ansvaret for eksperimenterende klimavenlige byggerier kan deles mellem aktørerne frem for udelukkende at ligge hos partneren med juridisk byggeansvar.
- C2. Etablering af samarbejde mellem branchen og staten hen imod en lettere vej ind på markedet for nye biogene byggematerialer og konstruktioner. Gerne en ordning, der sikrer finansierings- og forsikringsmuligheder og reducerer risikoen for byggeriets aktører ved brug af nye materialer.
- C3. Investeringer i forskning og udvikling af biogene materials tekniske egenskaber, herunder fugt- og brandmodstand, specielt i konstruktioner, herunder også investering i udvikling af præaccepterede biobaserede løsninger i bygningsreglementet for at fremme teknisk fælleseje, hvilket fjerner risiko for mindre aktører i byggebranchen.
- C4. Understøttelse af forskningsprojekter på byggeriområdet på lavt teknologisk modenhedsniveau (TRL-niveau).
- C5. Allokering af midler til udnyttelse af løvtræ med fokus på små dimensioner.
- C6. Uddannelse af håndværkere, arkitekter og ingeniører mv. inden for byggebranchen mhp. biogene materialer og design for disassembly, hvor materialer samles på en måde, der gør det let at skille dem ad igen og herefter genbruge materialerne effektivt.
- C7. Indsats på indkøbsmål for offentligt indkøb af biobaserede byggematerialer, der kan drive markedet.
- C8. Indsats for at udvide brugsområderne for genbrugsmaterialer i nybyggeri f.eks. gennem investering i metodeudvikling af styrkevurdering af genbrugstræ ved ikke-destruktive metoder.

D: Udnyttelse af biogasbranchens kaskadepotentiale

Biogasbranchen er en del af kaskaden for den biobaserede sektor og spiller en vigtig rolle i de nederste kaskadelag ved at håndtere bl.a. restprodukter og husdyrgødning. Branchen har potentiale til at blive yderligere forbundet til de øvre kaskadeled ved at opsamle, lagre eller anvende biogent CO₂ i forbindelse med opgradering af biogas. Det biogene CO₂, der indfanges på biogasanlæggenes opgraderingsanlæg, kan udnyttes på forskellige måder med forskellige formål og integreres i den biobaserede værdikædes kaskade.

Biogasproduktionen er allerede i dag baseret på affaldshåndtering, næringsstofcirkulation og fremstilling af grønne brændstoffer i form af biometan og levering af gødning retur til landbrugene, og forventes

derfor at blive central i en fossilfri fremtid. Fremadrettet forventes der fra biogasindustriens side at være et fokus på flere grønne brændstoffer og kemikalier blandt andet via PtX fra det biogene CO₂ fra biogasanlæggene.

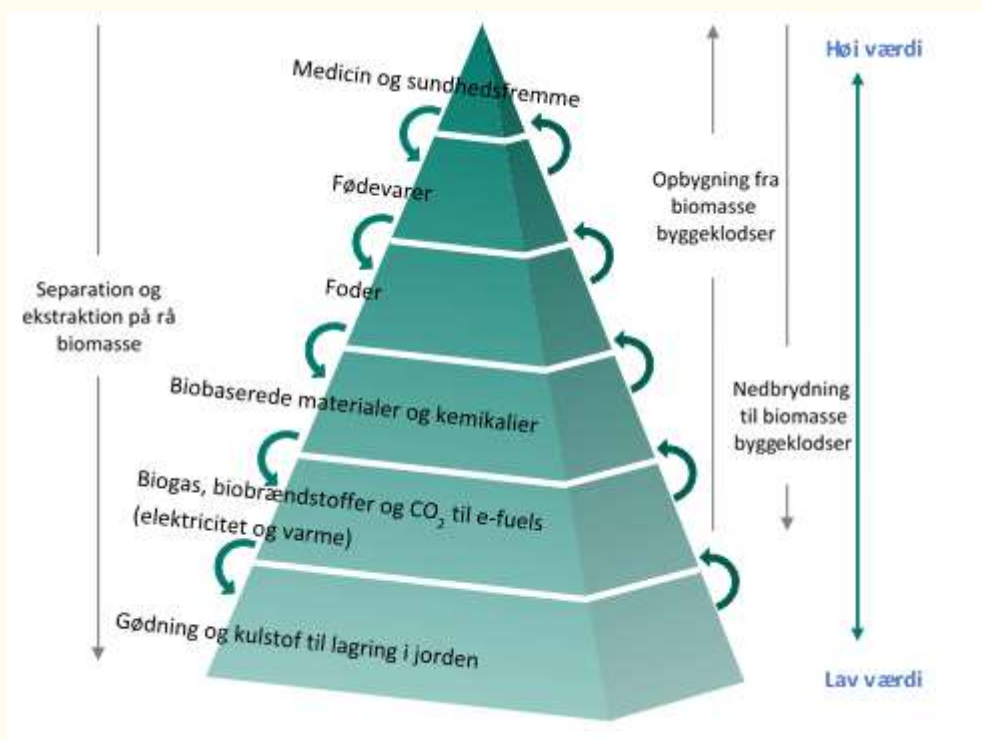
Faglig baggrund

Danmark står over for en betydelig udfordring i forhold til at reducere CO₂-udledningerne fra landbrugssektoren og samtidig udnytte biomasse på en mere ressourceeffektiv og bæredygtig måde. Der er fra bl.a. Det Nationale Bioøkonomipanel peget på, at landbrugssektoren har et stort potentiale for at bidrage til den grønne omstilling gennem øget udnyttelse af biomasse, herunder både restprodukter og flerårige afgrøder, til energiproduktion og som råmaterialer til industrien. Sektoren kan ligeledes bidrage ved at optimere sit udbud af biomasse.

Kaskadeudnyttelse og værdikæden

Princippet om kaskadeudnyttelse indebærer, at man prioriterer brugen af bioressourcer til produkter med højere værdi først og derefter udnytte restprodukter til produkter med lavere værdi, så der kan opnås maksimal ressourceeffektivitet. Optimalt benyttes så meget af ressourcen til højværdi som muligt. Eksempelvis kan halm først bruges til udvinding af komponenter som voks eller kemiske stoffer, der har høj værdi, før restproduktet anvendes til energiproduktion som biogasproduktion. Det sikrer en højere samlet værdi fra samme biomasseressource. Der er i dag en stigende interesse for at optimere værdikæden for biomasse, hvor biomasse først udnyttes til højt specialiserede produkter (f.eks. biokemikalier og ingredienser) og senere til materialer og energi. Højværdiprodukter kan også genereres fra reststrømme længere nede i kaskaden ved at opgradere gennem biosolutions eller kemisk raffinering.

I forhold til kaskadeudnyttelse, bliver separering og raffinering relevant. Samlet set kan processen frembringe vigtige komponenter, der kan bruges i en række forskellige sektorer. Komponenterne kan konkret opgraderes til fødevarer eller foder (f.eks. via fermentering) eller via en sukkerplatform til kemikalier eller materialer. Til slut i udnyttelsen kan et restprodukt indgå i f.eks. biogasanlæg, hvor der produceres grøn gas samtidig med, at næringsstofferne recirkuleres som et gødningsprodukt og kulstof i restfibre lagres som biokul. CO₂-opfanget i forbindelse med opgradering af biogas kan lagres eller konverteres til brændsler i f.eks. Power-to-X-anlæg. Historisk set har de økonomiske incitament primært været rettet mod de nederste led i kaskaden. Disse incitament kan være drevet af andre hensyn.



Anm.: Det vertikale led indikerer værdi mens den horisontale indikerer volumen. Figuren skal forstås som en overordnet illustration af, hvilke egenskaber der kommer til udtryk i udnyttelsen af bioressourcer. 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.

I nuværende bioraffineringsanlæg produceres ofte en meget stor middelfraktion. Middel-fraktionen er den fraktion, der er tilbage efter udvinding af målproduktet, og kan udgøre helt op til 80 pct. af den samlede biomasse, der produceres fra en given afgrøde og bør kunne udnyttes efter kaskadeprincippet. Middelfractionen kan indeholde mange værdifulde biokomponenter, og spiller derfor en vigtig rolle i værdiptimeringen og kaskadeudnyttelsen. Middelfractionen kan benyttes på forskellige måder afhængigt af de specifikke forhold, såsom typen af biomasse, markedets behov og de teknologiske muligheder. Udfordringen med middelfractionen er, at den ofte kræver mere komplekse raffineringsskridt og derfor større investeringer. Der eksisterer en række teknologier i dag, der kan bidrage til at udnytte og skabe mere værdi af middelfractionen, såsom teknologier der er udviklet i forbindelse med bioethanolproduktion. Fraktionering af middelfractionen har potentiale til at udvinde mange forskellige produkter. Disse produkter kan i princippet opnå meget høj værdi. Ligeledes vil fiberfraktioner fra middelfractionen kunne bruges til udvikling af forskellige byggematerialer. En yderligere fordel ved dette er at kulstof lagres over længere tid og derved bidrager til negativ CO₂-udledning.

Efter at de mest værdifulde produkter er trukket ud, kan dele af middelfractionen forarbejdes til produkter, der anvendes som foder til husdyr f.eks. i form af fiberrige komponenter eller proteiner, der bruges som supplement til dyrefoder. Endelig vil de mindst værdifulde dele af middelfractionen kunne anvendes i biogasanlæg til at producere biogas eller kunne omdannes gennem termiske og hydrotermiske processer som pyrolyse, forgasning og hydrothermal liquefaction (HTL). Ved pyrolyse omdannes biomassen til pyrolysegas og -olie, der kan raffineres til brændstoffer, samt biokul, som også kan bidrage til negativ CO₂-udledning.

Efter udnyttelsen af middel-fraktionen er der en restfraktion tilbage, som kan benyttes til f.eks. energiproduktion eller recirkulering af næringsstoffer. Restfraktionen har en meget lav værdi og kan være svært at gøre rentabel at udnytte, fordi omkostningerne forbundet med at udnytte fraktionen opvejer udbyttet. Samlokalisering af bioraffinaderier med eksempelvis biogasanlæg og/eller pyrolyseanlæg eller HTL kan være med til at gøre udnyttelsen af restfraktionen og evt. også dele af middelfractionen

mere rentabel. Samlokalisering er relevant hele vejen gennem kaskadeudnyttelsen, da det reducerer behovet for transport og logistik, hvilket ellers er en stor økonomisk barriere indenfor bioraffinering.

Kulstoflagring af det biogene kulstof

Pyrolyse er en af de samfundsøkonomisk billigste metoder til CO₂-reduktion i den biobaserede økonomi og kan bidrage til langsigtet kulstoflagring. Udgangspunktet er, at kulstof lagres i jord gennem biokul, men kulstoffet har også potentiale til at blive lagret i f.eks. beton. Udover de positive klimaefekter ved lagring i jord, er der alternative anvendelser af biomasse, der kan være nødvendige for at imødegå fremtidig kulstofmangel. Biokul fra pyrolyse til lagring i jord kan indeholde uønskede stoffer, og de langsigtede effekter af både pyrolyse og alternative anvendelser er endnu ikke fuldt belyst. Derfor udføres yderligere forskning og forsøg for at sikre en bæredygtig balance mellem løsningerne. Det er vigtigt, at indsatser for at fremme af pyrolyseteknologi og anvendelse af biokul i landbruget sker på et bæredygtigt biomassegrundlag.

Kulstof som ressource

Når vi mindsker afhængigheden af kul, olie og naturgas fra fossile kilder, er der tre kilder til kulstof:

1. Primære bioressourcer fra landbrug, skovbrug og havet eller tankbaseret produktion på land.
2. Recirkulering af biologisk materiale, herunder biogene genbrugsmaterialer, restprodukter fra fødevarer- og procesindustrien og blandet bioaffald, herunder madspild og madaffald.
3. CO₂-fangst fra atmosfæren og fra punktkilder, hvor koncentrationen af biogen CO₂ er høj.

I 2023 blev der anvendt 19 mio. tons biomasse (opgjort i våd vægt) i landbrugsbaserede biogasanlæg. Gylle og faste gødningsfraktioner udgjorde 77 pct. af denne mængde, men gav kun hvad der svarer til cirka 35 pct. af den samlede biogasproduktion på grund af det lave energiudbytte pr. ton. Andre biomassekilder har højere energiudbytte, men kan potentielt anvendes i flere led af værdikæden, før de omdannes til biogas. Dette gør dem attraktive til kaskadeudnyttelse, fordi de kan bidrage til en øget samfundsøkonomisk gevinst. En del af den biomasse, der benyttes i biogasanlæg, kan derfor potentielt anvendes højere oppe i kaskadeudnyttelsens led.

CO₂-opsamling og biogent kulstof

Biogasanlæg producerer biogent CO₂ i forbindelse med opgradering af biogas, som kan opsamles og anvendes som råstof i den cirkulære økonomi. Ca. 80 pct. af biogasproduktionen opgraderes i dag, hvor ca. 1,5 – 2,5 mio. tons CO₂ skilles fra, inden metanen injiceres i gassystemet. Opgraderingsteknologien er moden teknologi med forskellige løsninger, mens der er en række nye teknologier inden for anvendelse af CO₂ fra biogas, herunder CAPPOW, alge-baseret CO₂-opsamling, polymere membraner og kryogen separation og integration med biogasprocesser.

CO₂-reduktion på tværs af sektorer

Biogent CO₂ kan bruges som råstof i produktionen af grønne kemikalier, syntetiske brændstoffer eller som et kulstofinput i landbrugets gødning. Det kan skabe en kulstofcyklus og reducere behovet for fossile kilder. Opsamlet biogent CO₂ kan lagres eller bruges i Power-to-X-teknologier, hvor CO₂ kombineres med brint fra elektrolyse, drevet af grøn strøm fra sol og vind, for at producere syntetiske brændstoffer eller kemikalier. Denne metode kan styrke integrationen mellem landbrugets biomasse og andre sektorer som energiproduktion og transport samt erstatning af fossilt baserede CO₂-kilder til tekniske anvendelser, fødevarer mv., hvilket bidrager til tværsektorielle CO₂-reduktioner. Mulighederne bør fremmes til gavn for en grøn omstilling.

Teknologisk infrastruktur og innovation

Danmark har en række bioraffinerings- og biofermenteringsanlæg, der spænder fra tidlige laboratorieforsøg til større demonstrationsanlæg. Der mangler dog især faciliteter til at udvikle og demonstrere anvendelsen af den store middelfraktion. Begrænset adgang til test, demonstrations- og udviklingsfaciliteter (TDU) har dog været en central barriere for mange virksomheder på området, som har været tvunget til at opsøge opskaleringsfaciliteter i udlandet. Der er derfor i regi af det offentligt-private Erhvervsfyrntårn for Biosolutions igangsat en udbygning af infrastrukturen med etablering af fem nye

TDU-faciliteter, finansieret af strukturfondsmidler via Danmarks Erhvervsfremmebestyrelse. Disse faciliteter udgør en vigtig teknologisk infrastruktur, som kan understøtte udviklingen af nye biomassebaserede teknologier og løsninger. Ved at koble arbejdet med kaskadeudnyttelse til udvikling af innovative biosolutions, herunder mikroalgeproduktion, bioraffinering og biogene materialer, sikrer vi, at Danmark fastholder sin globale førerposition og samtidig fremmer en bæredygtig bioøkonomi.

Kapaciteten for innovation er understøttet af flere nationale og EU-finansieringsprogrammer, der har fokus på bioøkonomi og grøn omstilling, som f.eks. tilskudsordningerne til Udvikling og Demonstration (UDP'erne) Horizon Europe, herunder Circular Biobased Europe Joint Undertaking (CBE-JU) samt dedikerede puljer under Danmarks Erhvervsfremmestyrelse og Danmarks Innovationsfond. Disse programmer tilbyder økonomisk støtte til både forskning, demonstration og opskalering af teknologier, hvilket gør det muligt at udvikle og implementere løsninger på et bredt spektrum af teknologi-niveauer (TRL 2-9). Endelig er der med aftalen om forskningsreserven for 2025 afsat 54 mio. kr. til forskning inden for bioteknologi og biosolutions. Midlerne vil blive udmøntet af Danmarks Innovationsfond, som forventes at annoncere specifikke opslag og kriterier for ansøgninger.

Appendiks I: Medlemmer af Ekspertudvalget for kaskadeudnyttelse

- **Dansk Erhverv:** Anne Lerche
- **Teknologisk Institut:** Anne-Maria Hansen
- **Danmarks Tekniske Universitet:** Bjarke Bak Christensen
- **Biogas Danmark:** Bruno Sander Nielsen
- **Dansk Industri:** Christina Graaskov Ravn
- **Danmarks Naturfredningsforening:** Daniel Hauberg
- **Concito:** Karsten Capion
- **Københavns Universitet:** Lisbeth G. Thygesen
- **Green Power Denmark:** Martin Ingerslev
- **Aarhus Universitet:** Morten Ambye-Jensen
- **Aarhus Universitet:** Ole-Kenneth Nielsen
- **Syddansk Universitet:** Sara Egemose
- **Vestjyllands Andel (Indstillet af Landbrug & Fødevarer):** Steen Bitsch

Appendiks II: Byggesten for ressource-optimering

I rapporten anvendes en række faglige begreber, herunder vedr. løsninger og tilgange. Nedenfor introduceres kort de begreber og deres betydning, som er centrale for rapportens anbefalinger og den mulige overordnede vision for kaskadeudnyttelse.

Bioraffinering er en proces, hvor organiske materialer, som f.eks. plantebaserede og animalske ressourcer, omdannes til en række af flere forskellige produkter. Processen går ud på at udvinde forskellige komponenter fra biomassen ofte i flere trin og bruge dem til forskellige formål, såsom biomedicinske produkter, fødevarer kemikalier, materialer, brændstoffer og energi. I bioraffinering anvendes forskellige teknologier, der kan adskille, udnytte og opbygge fra de enkelte bestanddele af biomassen, så hver del kan bruges til at lave produkter med højst mulig værdi. Bioraffinering er således den teknologiske rygrad der gør kaskadeudnyttelse mulig. I bioraffineringsprocessen er der almindeligvis et målprodukt med høj værdi, som udvindes først. Derefter vil der typisk være en stor fraktion tilbage, som kan betegnes som en *middel-fraktion*. Lykkes man med at udnytte denne fraktion, vil der ofte stadig være en restfraktion med lav værdi tilbage.

Biogent CO₂ refererer til den CO₂, der frigives, når biomasse nedbrydes eller forbrændes. Biogent CO₂ er en del af det naturlige kulstofkredsløb og kan lagres permanent i undergrunden eller anvendes som råstof i biosolutions teknologier og Power-to-X (PtX), der omdanner CO₂ til brændstoffer og kemikalier ved tilførsel af brint fra grøn strøm. Biogent CO₂ kan dog også indgå direkte i tekniske anvendelser som f.eks. bedøvelsesmidler, fødevaringredienser mv.

Biosolutions er en underkategori af bioøkonomien. Ifølge Klimapartnerskabet for Life Science Biosolutions integrerer biosolutions biologi og teknologi for at skabe bæredygtige løsninger på klima- og miljøudfordringer ved hjælp af naturens egne ressourcer og værktøjer. Ved at udnytte f.eks. bakterier, gær, svampe, mikroalger, enzymer, mv. kan biosolutions supplere eller erstatte traditionelle metoder med biobaserede alternativer i form af f.eks. bioplast, plantebaserede fødevarer og grønne brændsler.¹

Bioøkonomi forstås som det samlede begreb, der bruges til at henvise til en bæredygtig anvendelse af bioressourcer og vejen dertil. Bioøkonomi omfatter hele den biobaserede sektor samt følgehverv i forhold til den samlede dyrkning, høst, forarbejdning, anvendelse og recirkulering af bioressourcer. Med henvisning til aftalen om et Grønt Danmark fokuserer denne rapport på bioressourcer opsamlet fra jordbrug og CO₂ opsamlet fra biogas.

Den biobaserede sektor forstås som en betegnelse, der omfatter alle aktiviteter, der udnytter biologiske ressourcer som f.eks. planter, træ, dyr og mikroorganismer til at producere fødevarer, foder, materialer, kemikalier, energi og andre produkter. Sektoren spiller en central rolle i den grønne omstilling ved at erstatte fossile ressourcer med bæredygtige, fornybare alternativer og fremme en cirkulær økonomi, hvor ressourcer udnyttes effektivt og med mindst muligt spild og recirkuleres til ny bioressourceproduktion.

Kaskadeudnyttelse er en tilgang, hvor biomasse anvendes i flere trin for at maksimere dens potentiale. Tag grøn biomasse som et eksempel: Først kan proteiner udvindes til fødevarer eller foder, derefter

¹ Klimapartnerskabet for Life Science og Bioteks anbefalinger, 2024

ter kan de resterende fibre bruges til materialer, og til sidst kan restproduktet udnyttes i biogasproduktion med f.eks. efterfølgende recirkulering af næringsstoffer til landbruget, pyrolyse og anvendelse/lagring af CO₂. Lagring kan være i undergrunden eller som en ingrediens i beton og andre byggematerialer. Denne tilgang sikrer, at hver del af ressourcen bidrager til klimaet og samfundet med maksimal værdi og omkostningseffektivitet. I den forbindelse er kaskadeprincippet, at biomassens anvendelse prioriteres ud fra dens værdi og funktionalitet i flere trin. Kaskadeprincippet sikrer, at biomassen først udnyttes til produkter eller processer med høj økonomisk og samfundsmæssig værdi og derefter genbruges i trin længere nede i kaskaden. I denne rapport benyttes kaskadeudnyttelse således ikke som en term der beskriver at samme biomasse benyttes flere gange til forskellige produkter (som for eksempel en træbjælke der ved nedrivning af et hus efterfølgende anvendes til produktion af spånplader).

Power-to-X er fremstilling af brint og ilt. Som oftest sker processen ved elektrolyse. Som eksempel kan brint opgraderes sammen med biogent CO₂ til metan eller methanol, hvilket er yderst relevant i forbindelse med stort udbud af grøn strøm. Power-to-X kan dermed fungere som en balancering af energisystemet.

Ressourceeffektivitet forstås som kernen i bioøkonomi. Det handler om at udnytte bioressourcer til de formål, der giver størst mulig værdi, og sikre mindst muligt spild. Her spiller begreber som kaskadeudnyttelse, bioraffinering og biogen CO₂ en central rolle.

