

Det Store C: Dansen om det biogene kulstof



Medfinansieret af
Den Europæiske Union



Danmarks
Erhvervsfremmebestyrelse



Food & Bio Cluster
Denmark

Indhold

© Food & Bio Cluster Denmark 2024

Udgivelsen er udarbejdet i 2024 af Knud Tybirk (Food & Bio Cluster Denmark) med faglig kommentering af Uffe Jørgensen (AU-CBIO), Niclas Scott Bentsen (KU-IGN) samt Michael Støckler og Liselotte Puggaard (Food & Bio Cluster Denmark). Ansvar for fejl og mangler er udelukkende forfatterens. Redaktion: Marianne Solkær, Food & Bio Cluster Denmark

Grafik opsætning: Campfire & Co

Udgivelsen er støttet af Danmarks Erhvervsfremmebestyrelse, Den Europæiske Union og GoGrass.



Det Store C: Dansen om det biogene kulstof	4
Biogent kulstof bliver en mangelvare	6
Hvad er biogent kulstof?	7
Regenerative kilder og bæredygtighed	8
Fra en lineær til en cirkulær bioøkonomi	9
Takt og tempo i dansen om det biogene kulstof	12
Ufattelige mængder.....	12
Hvad kan vi producere?.....	12
Areal – har vi nok plads?	15
Energi – mere fra el og mindre fra bioressourcer	18
Biobaserede materialer til mange formål	20
Foder – nok til husdyrbestanden.....	23
Fødevarer.....	24
Hvordan får vi enderne til at nå sammen?	28
Fremtiden er cirkulær.....	28
Kompensering og miljøfordele ved kulstoflagring i jorden	29
Biokul som CO ₂ -lager og jordforbedrer	29
Direkte CO ₂ -fangst – naturgaslommer, molér og Power-to-X	29
Kulstoffet som byggeklodser til mere komplekse forbindelser	30
Cirkulær kulstoføkonomi	31
Biogas som nøgleteknologi til fremtidens kulstoføkonomi.....	32
Mere viden	35



Forord

Det Store C: Dansen om det biogene kulstof

Kulstof. Carbon. Grundstof nr. 6. Kært barn har mange navne, men helt sikkert er det, at dette grundstof er afgørende for alt liv på jorden.

I takt med at vi skal bremse brugen af fossilt kulstof, er eksperter enige om, at der i nær fremtid bliver mangel på det biogene kulstof, som skal dække de mange behov, vores samfund har for at producere fx fødevarer, energi, medicin, foder, byggematerialer og meget andet.

Vi har kort sagt for lidt plads til at 'dyrke' tilstrækkeligt biogent kulstof, når de fossile kilder tages ud af ligningen. Derfor må vi finde nye måder at recirkulere, bioraffinere og skabe nye biosolutions, så vi både får nok og en højere værdi ud af vores biomasser.

Det er et yderst kompliceret regnestykke, som gør den nødvendige politiske prioritering kompleks og dilemmafyldt.

I denne publikation får du et indblik i balancerne mellem det biogene kulstof, vi i dag kan "producere", og de behov, samfundet har. Både nu og i fremtiden.

Publikationen er for virksomheder, politikere og andre aktører, der har inte-

resse og en vis indsigt i fagområdet, og som fagligt, politisk eller kommercielt er med på gulvet i dansen om det biogene kulstof.

Ved at skitsere kompleksiteten og de mange dilemmaer, vi som samfund står over for, kan publikationen give politikere, embedsværket, forskere, virksomheder, kommuner og andre nøgleinstanser en baggrundsviden, der kan være nyttig for at træffe vigtige beslutninger om prioriteringen og anvendelsen af det biogene kulstof.

For selvom udviklingen går hurtigt, og vi hele tiden får ny viden og nye teknologier til at udnytte og recirkulere kulstoffet, kræver eksperternes forudsigelser om manglen på biogent kulstof, at vi sætter skub i innovationen og træffer beslutninger allerede i dag, i morgen og til næste år.

Rigtig god læselyst.

Food & Bio Cluster Denmark

Food & Bio Cluster Denmark er Danmarks nationale klynge for fødevarer og bioressourcer. Læs på foodbiocluster.dk

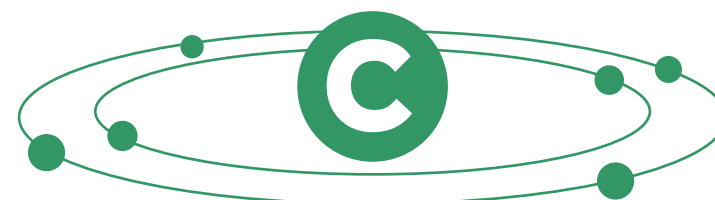
Grundstof nr. 6 (C)

Kulstof (også kaldet Carbon eller forkortet C) er nok det vigtigste grundstof for livet og findes i alt levende. Kulstof er ofte bundet sammen med ilt (Oxygen) til CO₂ og/eller brint (Hydrogen) fx til metan (CH₄) eller metanol CH₃OH, sukkerstoffer eller lange kæder heraf, som cellulose, træstof (lignin) osv.

Kombinationsmulighederne er næsten uendelige, og der indgår oftest også lidt kvælstof (N for nitrogen), lidt fosfor (P) og lidt Kalium (K) samt Svovl (S) i levende celler.

Kulstof er centralt for cellevægge, DNA og alle livets processer som fx fotosyntese og forbrænding i kroppens celler.

Publikationen bygger på og sammenfatter resultater fra aktuelle akademiske analyser (se side 36) og udgives med støtte fra Danmarks Erhvervsfremmebestyrelse, Den Europæiske Union og GoGrass.



A photograph of several young green seedlings growing out of a mound of dark soil. The roots of the plants are visible, extending deep into the soil. The background is a soft, out-of-focus green. The overall lighting is natural, highlighting the texture of the soil and the vibrant green of the leaves.

Baggrund

Biogent kulstof er grundlaget for al liv på jorden

Biogent kulstof bliver en mangelvare

I takt med at vi reducerer brugen af fossilt kulstof, vil der i nær fremtid opstå mangel på det biogene kulstof, der er afgørende for at opfylde vores samfunds behov for at producere fødevarer, foder, energi, medicin, byggematerialer, plast, tekstiler og andre nødvendigheder.

Gennem de sidste 200-300 år har vi udnyttet fossilt kulstof (kul, olie og naturgas) til at udvikle vores samfund.

Men, som klimakrisen illustrerer, kan vi ikke længere fortsætte med at brænde de fossile kulstofforbindelser af og udlede CO₂.

Vi har i høj grad brug for biogent kulstof til rigtig mange ting, vi anvender i et moderne samfund, og jagten er sat ind på at finde løsninger, så det biogene kulstof kan dække behovene fremover. Manglen vi helt sikkert øge værdien af de biogene materialer.

Derfor er der brug for overblik og balancer over

- hvad behovene er (og forventes at blive)
- hvad vi kan (og forventer at kunne) producere biogent og bæredygtigt.

I denne publikation vurderes de biogene kulstofbalancer med fokus på Danmark og perspektiverer til EU og globale niveauer i forskellige udviklingsscenarier.

Publikationen tager udgangspunkt i to tidligere analyser; "Potential Danish biomass production and utilization in 2030"; Gylling et al. 2023 og "Scenarier for anvendelse af biomasseressourcer i fremtidens produktionssystemer for fødevarer, energi og materialer inden for rammerne af gældende politik for landbrug, miljø, klima, natur og energi"; Rasmussen et al. 2022), og inddrager andre relevante undersøgelser. Læs mere på side 36.

Det Nationale Bioøkonomipanel

Det Nationale Bioøkonomipanel rådgiver regeringen i forhold til udvikling af bioøkonomi i Danmark.

Panelet udgav i 2022 en række anbefalinger til, hvordan vi i Danmark kan øge produktionen af bioressourcer, og arbejder ud fra en vision:

I 2030 er udnyttelsen af bioressourcer fra danske arealer øget med op imod 10 mio. tons tørstof, samtidig med at miljø-, natur- og klimabelastningen fra arealerne i produktion er reduceret, og der er frigjort arealer til natur og biodiversitet. Som bidrag til udvikling af fødevarersektoen kaskadeudnyttes en stor del af bioressourcen ved hjælp af bioraffineringsteknologier, hvorved det sikres, at ressorens fulde potentiale udnyttes, næringsstoffer recirkuleres og der skabes nye vækst- og eksportmuligheder.

Visionen og de udarbejdede anbefalinger er centrale skridt på vej mod en strategi og en handlingsplan for bioøkonomien.

Hvad er biogent kulstof?

Kulstof indgår som den vigtigste byggesten i alle levende organismer, og den globale kulstofcyklus er en konstant udveksling mellem jorden, levende organismer, havet og atmosfæren. Her kan du læse mere om, hvad kulstof egentlig er, og den rolle det spiller i debatten om den grønne omstilling.

Bioressourcer er fornybare og opstår ved, at planter fotosyntese omdanner solenergi, CO₂, vand og næringsstoffer til plantemateriale. De tre store kilder til bioressourcer, som vi kan anvende, er landbruget, skoven og havet, idet 'natur' forventes ikke at blive udnyttet – udover til rekreative formål – selvom der foregår de samme biologiske processer.

Inden for de seneste år er der lavet en række analyser af, hvilke bioressourcer vi har, og hvad vi kan bruge dem til. Skruerne strammes efterhånden som regeringens målsætninger om at reducere forbruget af fossile energikilder er blevet skærpet til 70 procent reduktion af drivhusgasudledninger i 2030 sammenlignet med 1990. Og målet om i 2050 ikke at udlede mere CO₂ end vi binder - såkaldt netto-nul emission. Og i forlængelse heraf tager debatten om nye teknologiers potentiale for at nå i mål med redueringen (den såkaldte hockeystav) også til.

Som samfund har vi derfor brug for at diskutere, hvor det biogene skal komme fra: Er der steder, hvor vi skal spare mere på det biogene ressourcetræk? Kan vi erstatte noget andre steder, eller kan vi blive endnu bedre til at udnytte vores arealer og de produkter, vi høster?

Det er spørgsmål som disse, vi med denne publikation ønsker at stimulere til en diskussion af.

Definition - biogent kulstof

Biogent kulstof er kulstof i CO₂ bundet fra luften via fotosyntese og indbygget i planter eller algers biomasse.

I daglig tale er det også organisk materiale eller bioressourcer, hvor kulstoffet er bundet sammen med ilt, brint, kvælstof, fosfor, kalium svovl osv. Det opgøres ofte i tons tørstof eller i energienheder.

I denne publikation er fokus på det kulstof, der kan bindes og bruges bæredygtigt i dag, og ikke det fossile kulstof, som vi har udnyttet de sidste 200-300 år og dermed har udledt CO₂.

Det fossile kulstof (kul, olie, naturgas) er også biogent, men et kæmpe 'lager' fra tidligere tider, som giver klimaændringer, når vi udnytter det og udleder CO₂ til atmosfæren.

Regenerative kilder og bæredygtighed

Når bioressourcer brændes af eller omdannes, frigiver det CO₂, hvad enten det er fossilt eller ej. Forskellen er, om det kommer fra kilder, som vi kan regenerere, og derfor bliver tidsperspektivet helt centralt, når vi vurderer afbrænding og udnyttelse af bioressourcer.

Nogle undrer sig over, at CO₂-fangsten af afgrøder ikke tælles med i landbru-

gets klimaregnskab. Men det skyldes, at det meste frigives igen samme år eller ganske hurtigt efter høst.

Man kan sige, at der i etårige afgrøder sker en hurtig ind- og udånding, og det er på den baggrund man har vedtaget, at bioressourcer som fx halm (der fx bruges i energisektoren) er CO₂ neutralt. Så hvis vi skal omdanne træ til energi på en bæredygtig måde, skal vi være sikre på, at vi ikke overudnytter

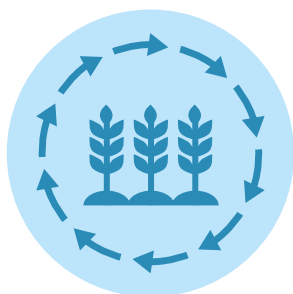
skovene, og at der hele tiden er en produktion, der svarer til høsten, hvor vi henter træet fra.

Vi skal efterleve bæredygtighedskriterier, så der er lige så meget tilvækst som udnyttelse, fx i skovene, og dette certificeres med klare krav.

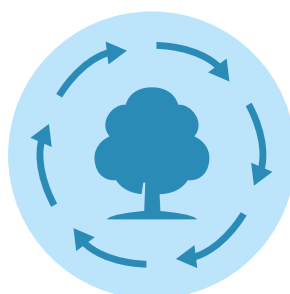
Biomasse-til-energi opfattes i dag af mange som en overgangsteknologi, som selvfølgelig er langt bedre end det

fossile kul, det erstattede i 2010'erne, men som også kan anvendes smartere fremover. I dag handler debatten om at finde fremtidens løsninger, hvor biomassen (halm, træ osv.) anvendes med højere nytteværdi for at dække samfundets mange behov.

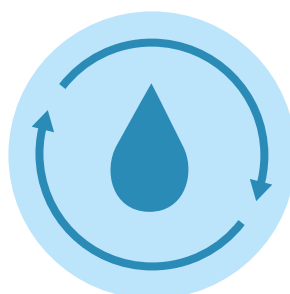
Naturlige frigivelser af CO₂ efter planternes optag



Etårige afgrøder
Efter 1-2 år



Træ
Efter 200-300 år



Olie
100-300 Mio. år.

Tidsperspektiver for bioressourcer

De fornybare biologiske ressourcer håndteres beregningsmæssigt som klimamæssigt neutrale.

Men der er vigtige tidsforskydninger at huske på i debatten:

- Etårige afgrøder indånder CO₂ på få måneder, og det omsættes og frigives igen i løbet af 1-2 år. For husdyr og fisk er cyklus lidt længere.
- Et træ 'indånder' netto CO₂ i 100-300 år, hvorefter det forrådner og udånder CO₂en igen over årtier, eller det brændes på timer. Hvis træ 'lagres' i byggeri, kan det ideelt set forlænge udåndingen betragteligt og dermed forsinke den uafvendelige CO₂ frigørelse. Det giver os tid til at opfinde det næste cirkulære kredsløb, kulstoffet kan indgå i om 50-100 år
- Det fossile kul olie og naturgas er 'indåndet' af jordens planter og alger for over 100 mio. år siden, og når vi brænder enorme mængder af på blot et par århundreder, ændrer vi atmosfærens sammensætning meget hurtigt.

Hvad vi biologisk kan optage i dag og forsinke udåndingen af, giver os tid, mens kravene til og viden om genanvendelse stiger, så vi skal kunne bruge det igen og igen.

Fra en lineær til en cirkulær bioøkonomi

Denne publikation er som nævnt indledningsvis baseret på tidligere publicerede fagrappporter og analyser, der har udregnet en række scenarier for forsyningen og forbruget af biomasse.

Det er dog vigtigt at nævne, at det er et yderst komplekst regnestykke med uendelig mange variabler. Kulstofkredsløbene kender ikke nationale grænser, og Danmark er ikke et lukket system. Fx laver vi forskydninger i kulstofkredsløbene gennem import/eksport af varer som korn, animalske fødevarer, fossile brændstoffer mm., ligesom vejrforhold påvirker produktionen af vedvarende energi.

Derfor er det ikke muligt at lave præcise beregninger af balancerne mellem behovene og mængderne af biomasser, men sikkert er det, at vi går mod en mere cirkulær anvendelse af kulstoffet, som også kalder på nye forretningsmodeller og incitamentsstrukturer i bioøkonomien.

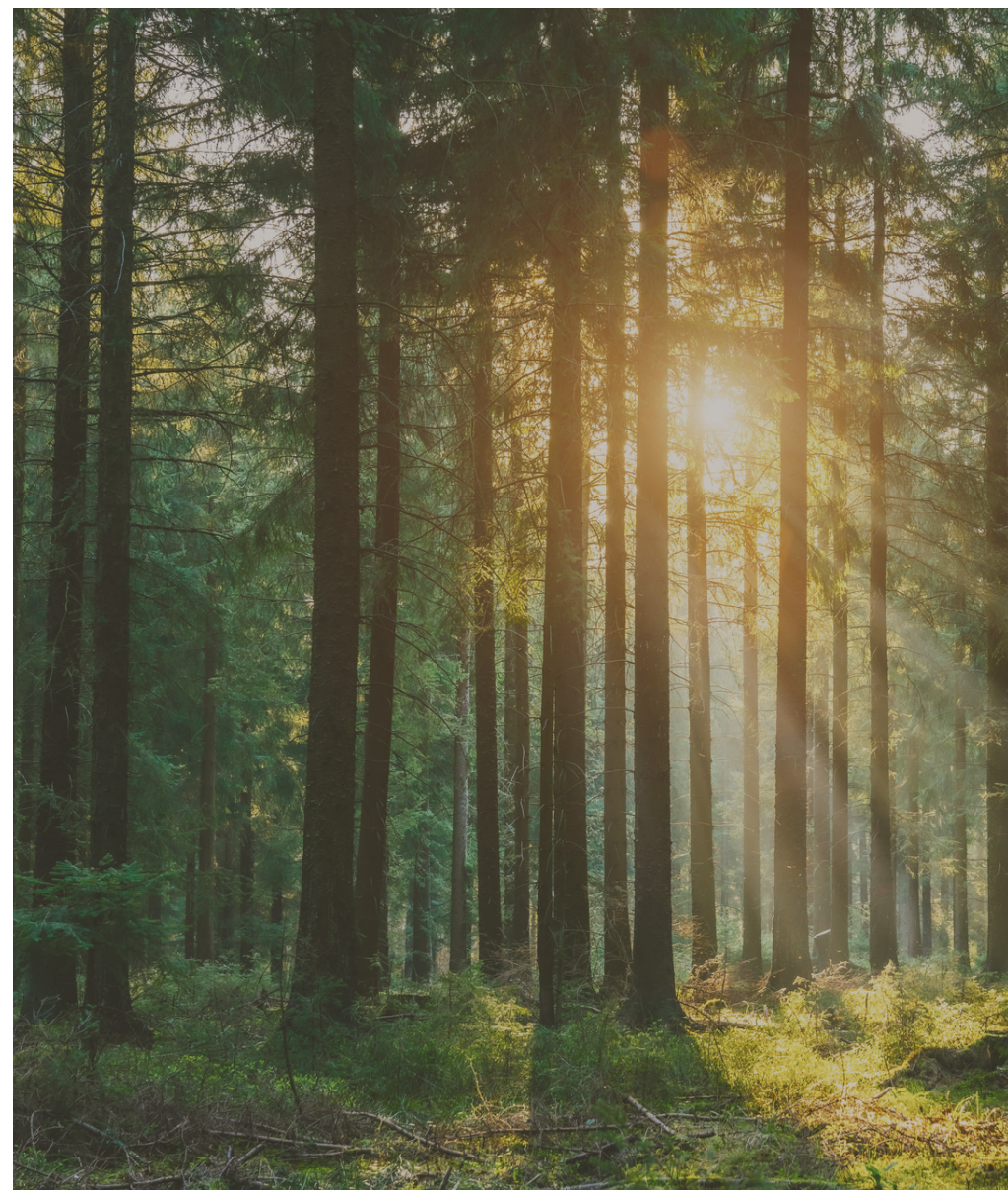
Siden 1800-tallet er dansk fødevarerproduktion sket i en mere eller mindre lineær proces, hvor værdien er genereret

ved at konvertere foder til raffinerede animalske fødevarer. Dette med en meget lav grad af recirkulation og et relativt stort spild af næringsstoffer til luft og vand.

I stedet for grisen og koen kan det fremover blive kulstoffet – og de forbindelser, det indgår i – der bliver den vigtigste ressource og værdiskaber i det danske landskab. Vi ser konturerne af en mere cirkulær økonomi, hvor det gælder om at recirkulere det biogene kulstof i så mange værdiskabende cyklusser som muligt.

Det kræver modige beslutninger, og både politikere, forskere, virksomheder og jordbrugere skal samarbejde om incitamenterne og strukturerne for denne grønne omstilling.

I det næste afsnit kan du læse mere om, hvad vi forventer, vi kan producere, og hvad vi forventer, vi som samfund har brug for. Vi kan allerede nu afsløre, at det ikke er nemt, at få enderne til at nå sammen.





An aerial photograph of a winding river or stream flowing through a lush green agricultural landscape. The river meanders from the top right towards the bottom left, creating a series of curves. The surrounding fields are a vibrant green, with visible patterns of furrows and crop rows. The lighting is soft, suggesting a clear day.

Behov og produktionskapacitet

Takt og tempo i dansen om
det biogene kulstof

Takt og tempo i dansen om det biogene kulstof

I Danmark har vi en anslået 'omsætning' af biogent kulstof på 28 mio. tons tørstof om året. Her kommer langt størstedelen fra landbruget, og hvis man regner det om til en lang række af bigballe, kan de nå mere end to gange rundt om jorden - hvert år. Alligevel er det ikke nok. I dette kapitel får du et indblik i (u)balancerne mellem mængderne, vi får brug for til fødevarer, foder, energi, medicin, byggematerialer, plast, tekstiler osv., og mængderne vi faktisk kan producere i Danmark.

Ufattelige mængder

Hvis man kigger på det biogene kulstof energimæssigt, skal vi bruge en energienhed (fx Joule), som afspejler bindingerne til kulstoffet i råvaren. Hvis vi opererer i produktionen af biomasse, arbejder vi typisk i tons tørstof (primært skovbrug og landbrug), fordi energien ikke er det primære hensyn, når vi taler om biologisk materiale,

I dag har vi en "omsætning" af biogent kulstof i Danmark på ca. 28 mio. tons tørstof. Heraf producerer skovene knap 3 mio. tons, og 25 mio. tons er fra landbruget. Havet producerer kun en forsvindende lille andel, men har potentiale til mere. Herudover importeres ca. 20 mio. tons bioressourcer årligt (primært i form af mad, foder, træ og træpiller).

Desuden eksporterer Danmark ca. 18 mio. tons tørstof typisk som animalske fødevarer (fx kød og ost). Tallene varie-

rer lidt i de forskellige beregninger og fra år til år, men forholdet og størrelsesordenen er det samme.

Efterspørgslen i fremtiden forventes at vokse. Både i det danske samfund og ikke mindst på globalt plan. Et centralt dilemma er, hvor meget kulstof vi skal producere til eksport af de 'klimatunge' animalske fødevarer og fortsat importere meget foder, eller om det er andre varer, vi skal handle med. Vi forventer ikke at lukke grænsen for fx fødevarerimport og lukke os om os selv.

Nogle argumenterer for en moralsk forpligtelse til at producere fødevarer til en voksende global befolkning, som man dog meget nemmere kan brødføde end kødføde.

Hvad kan vi producere?

Som nævnt producerer vi nu godt 28 mio. tons tørstof årligt i Danmark. Da

den første udgave af rapporten "+10 mio. tons-planen" kom i 2013, gav det genklang, hvor meget forskerne rent faktisk vurderede, at vi kunne forøge vores egenproduktion.

For at det kan realiseres, skal markedet trække og politikerne skubbe i samme retning, og jordbrugerne skal være parate til omstilling til nye markeder og nye produktioner.

28 mio. tons tørstof.

Hvis alle bioressourcer var halm, svarer mængden groft set til 56 mio. bigballe, der hver vejer 500 kg. Hvis en bigballe er 2 meter lang, kan vi lave en halmballe-vej på 112.000 km's længde. Det svarer til, at halballerne kan nå mere end to gange rundt om jorden – hvert år.

Det er meget i volumen, og 28 mio. tons tørstof svarer til 504 PJ, hvis alt blev konverteret til energi (18 GJ/ton tørstof). Danmarks energiforbrug er årligt 650 PJ. Så selv hvis de 28 mio. tons blev brugt som energi, kan vi alligevel ikke dække det nuværende samlede energiforbrug. Og vi har mange andre behov, der skal dækkes.

Fremtidsscenarier

Allerede i 2030 kan der bæredygtigt produceres eller anvendes 8-9 mio. tons mere tørstof bare fra landbrugsarealer, end det vi ser i dag. Der er fokus på at lave scenarier for landbrugsbaserede biomasser til bioraffinering. De marine biomasser er meget mindre og derfor udeladt i tabellen, lige så vel som skovens biomassescenarier er det, da det tager mange flere år at kunne ændre på produktiviteten her. Men biomasserne fra havet og fra skoven er absolut relevante i et længere perspektiv, og er derfor også beregnet i baggrundsrapporterne.

Selv med uændret husdyrproduktion og udtagning af landbrugsjord til skov og natur kan man bæredygtigt øge biomasseproduktionen meget kraftigt, så mere kan bioraffineres.

I tabellen til højre ses potentialet for mio. tons ekstra tørstof, som kan anvendes inden 2030.

Den øgede mængde fra halm skyldes blandt andet, at en øget strålægde vil forbedre udbyttet. Men også eksisterende mængder, der i dag nedmuldes, kan tages i anvendelse. Skov vil først give yderligere potentialer på længere sigt.

Bioresource	Mio. tons ekstra tørstof
Halm	1,5
Efterafgrøder	1
Bioressourcer fra skov	0
Industrielle restprodukter	1,3
Gødning, spildevand og bioaffald	2,5
Flerårige-afgrøder, bælgplanter, roer mm.	2-3
I alt	8,3 - 9,3

Tabel fra Bioøkonomipanelet 2019.

I dag udnytter vi ca. 2 mio. tons tørstof, og vi kan øge produktionen og udnyttelsen af især halm, græs og husdyrgødning med 12-14 mio. tons inden 2030 (se diagram herunder). Træudnyttelsen er ganske lille sammenlignet med de landbrugsmæssige biomasser. I biomassescenariet er der optimeret inden for landbrugsarealet, og i ekstensiverings-scenariet er der udtaget 11 procent landbrugsjord til skov og natur. Hvis husdyr- og dermed foderproduktionen reduceres med 20 procent frigives yderligere biomasser til andre formål.

For at lave scenarier for produktionen i fremtiden er der en masse forudsætninger, som uddybes i baggrundsrapporterne (Rasmussen et al 2022, Gylling et al. 2023). Det er komplicerede regnestykker, og derfor vanskeligt at forenkles, fordi der er mange forudsætninger for hvert scenarie.

I denne rapport udvælger vi kun nogle muligheder (biomassescenariet og ekstensiverings-scenariet), hvor foderproduktion og husdyrbestand er holdt på nuværende niveau.

Desuden medtager vi to scenarier med et fald i husdyrbestanden på 20 procent indtil 2030 indenfor de to hovedscenarier.

Inden for de seneste par år er dansk griseproduktion af flere grunde faldet med 15-20 procent, og det gør sådanne scenarier realistiske. I ekstensiverings-scenariet tages 11 procent af landbrugsarealet ud af produktion til vådområder, skovrejsning osv.

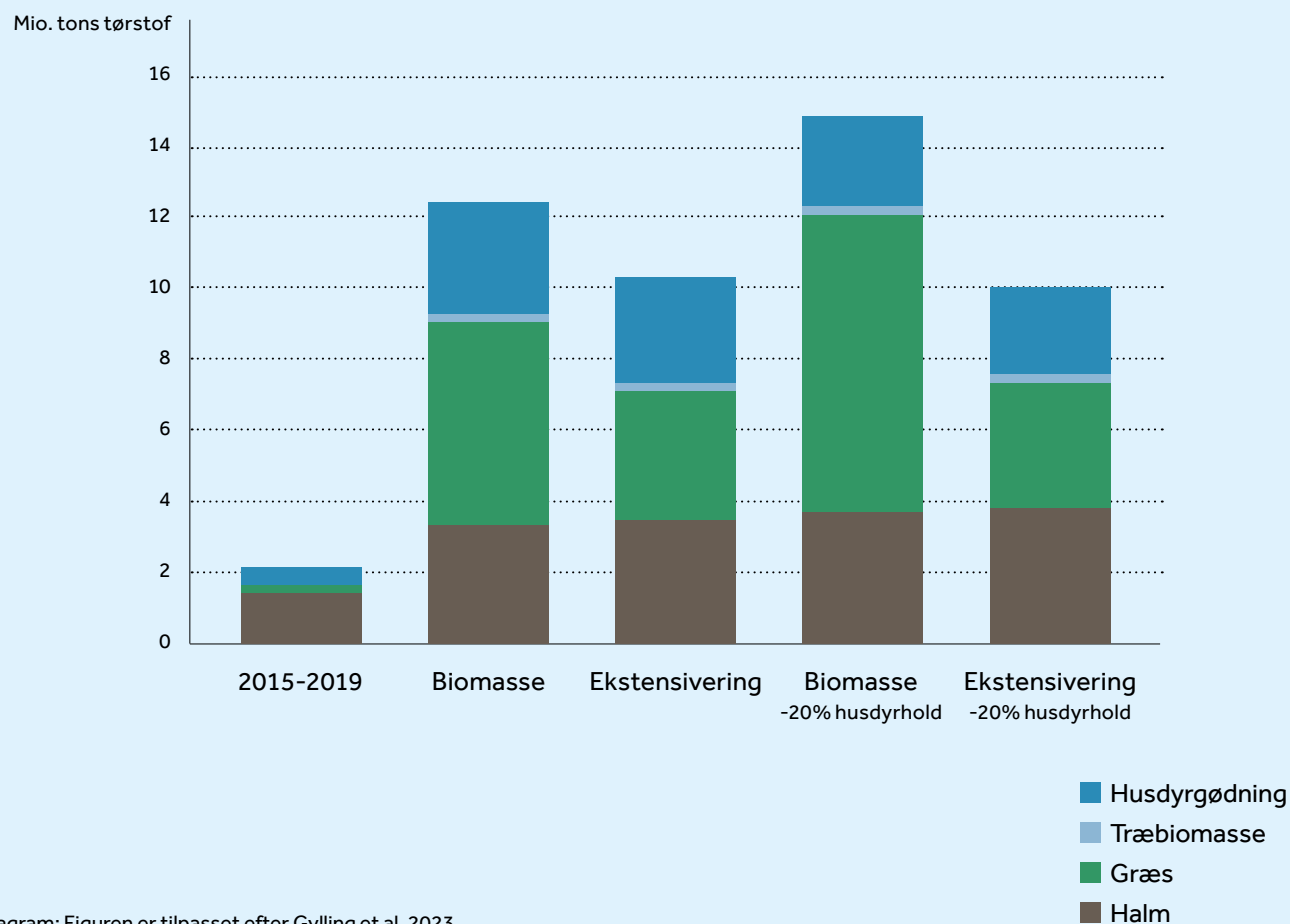


Diagram: Figuren er tilpasset efter Gylling et al. 2023

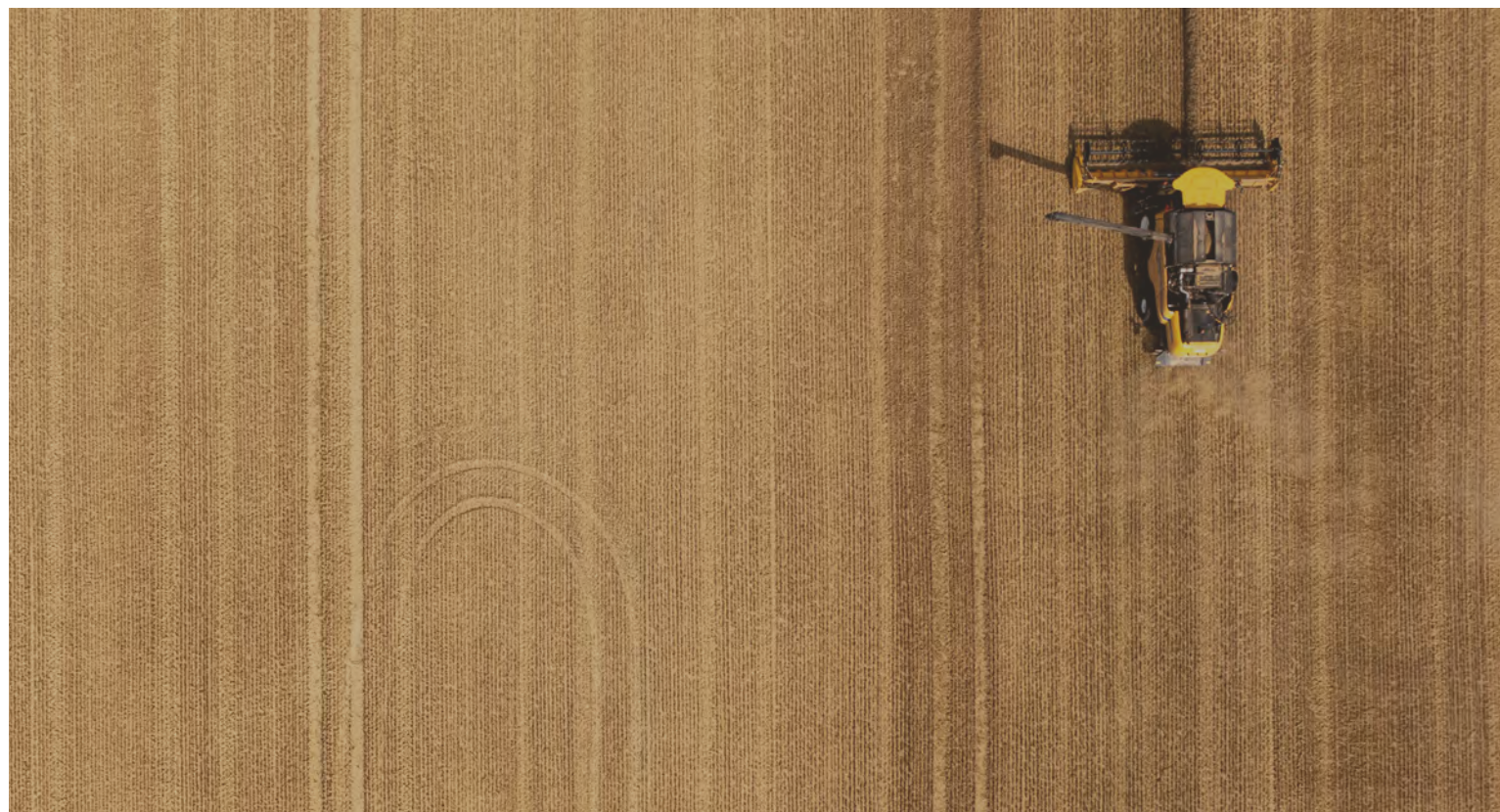
Areal – har vi nok plads?

Udover at se biomasseproduktionen i tons eller energienheder kan vi også se på arealerne som hektar. For har vi overhovedet areal i Danmark til at producere nok biogent kulstof til at dække samfundsbehovene?

Rammerne for, hvad vi kan producere nu og i fremtiden, er indhegnet i analyserne af politiske beslutninger, som jo dog kan ændres.

Det gælder fx besluttede mål for skovareal, natur, økologi og mål for nedsivning af næringsstoffer til vandmiljøet. Fx har EU et krav om, at 30 procent af EU's areal skal afsættes til biodiversitet/beskyttet natur, og hvis det skal fordeles i alle lande, skal vi i Danmark udtage en del landbrugsjord.

Der er truffet visionære beslutninger om, at vi skal fordoble skovarealet over tid, og 100.000 hektar landbrugsjord skal udtages af hensyn til klimaet og vandmiljøet.



Fremtidens behov for plads

Skovene indeholder et stort lager af CO₂, men producerer sjældent mere – ofte mindre – pr. hektar hvert år sammenlignet med intensivt dyrket landbrugsjord.

Opgørelserne i figuren er indikative, men skal vise, at behovet for arealer til at producere til det forbrug, vi forventer, er større end Danmarks samlede areal. Desuden ser vi, at politiske beslutninger om skovrejsning og udtagning af lavbundsjord samt fremtidens klimaforandringer vil udfordre udnyttelsen af lavbundsarealer, inddæmmede fjorde osv.

Sydeuropa anses på grund af klimaforandringer som mindre dyrkningssikker til fødevarer i fremtiden, hvilket skærper arealkonkurrencen yderligere.

Udfordringerne er, om vi bæredygtigt kan intensivere arealanvendelsen, eller vi grundlæggende skal ændre nogle af fortidens og nutidens prioriteter fremadrettet?

Areal behov

Arealbehovet er vist som de planer og ønsker, der var i 2017 uden politiske prioriteringer, så fx landbrugsarealet er holdt konstant på 62 procent for at illustrere dilemmaet. I tillæg til dette lægger dansk husdyrproduktion beslag på store arealer i udlandet til fx soyaproduktion.

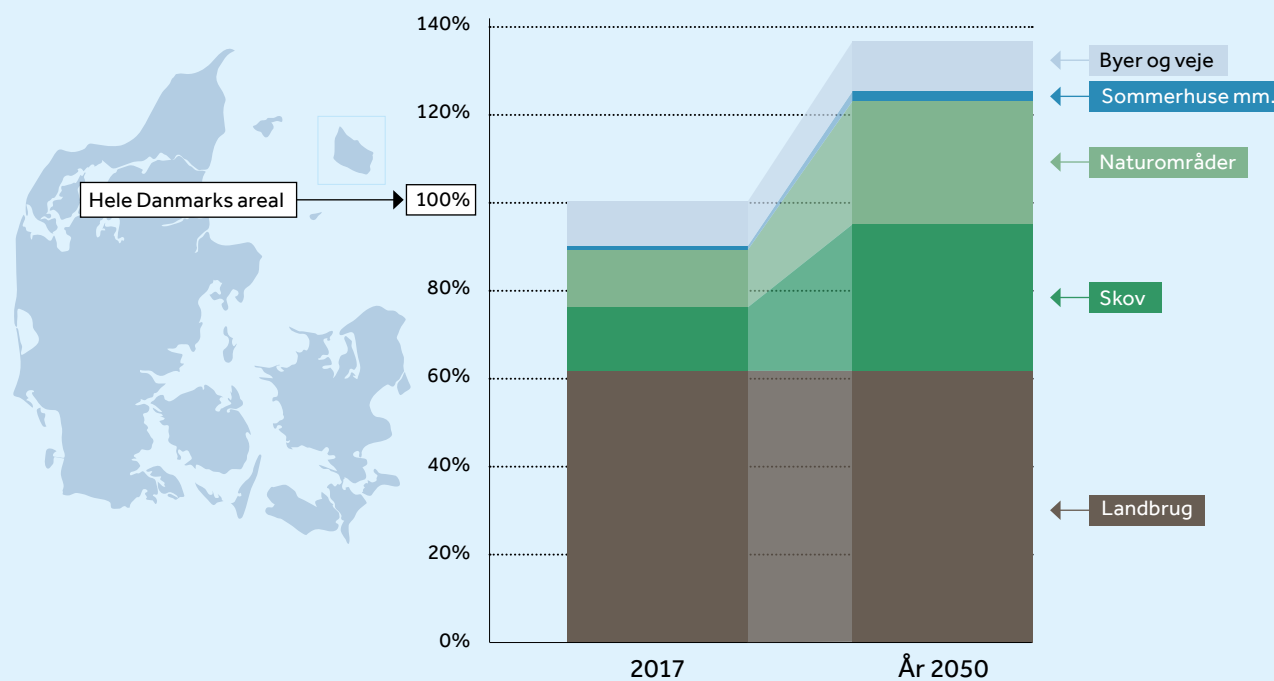


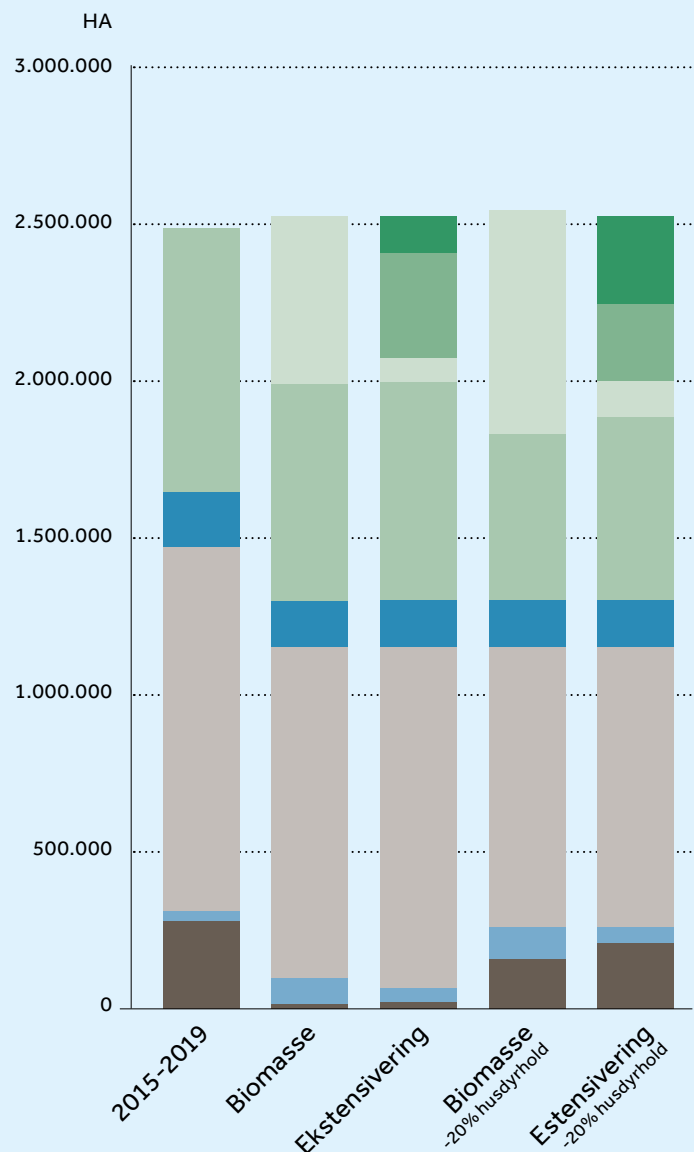
Diagram: Tilpasset efter Arler et al. 2017

Hvad kan vi producere på arealerne?

Det samlede danske landareal er 4,3 mio. hektar. I dag er der i Danmark 2,6 mio. ha. landbrugsjord, mens de resterende 1,7 mio. ha. er skov, byer og natur. I 2050 forventes det i de nyeste scenarier for arealanvendelse, at arealer til byer, natur og skov er steget, mens det samlede landbrugsareal er faldet tilsvarende.

Scenarierne til bioøkonomipanelet inkluderer vådlægning af 50-100.000 ha kulstofrige lavbundslande, omlægning af ca. 400.000 ha etårige afgrøder til bl.a. intensivt kløvergræs (heraf ca. 44.000 ha roer) og høst af ca. 200.000 ha efterafgrøder til biomasse. Desuden kornsorter med øget halmudbytte, effektiviseret halmindsamling og effektivisering af gyllehåndtering.

Vi skal derfor med mindre landbrugsareal til rådighed vurdere og beslutte, hvordan det kan blive muligt at producere meget mere, uden at det får negative konsekvenser for vandmiljø, biodiversitet og klimaet.



Diagrammet viser, hvordan et skifte kan se ud fra det vi kender i 2015-19 til biomasse og ekstensivering samt disse to kombineret med 20 procent mindre husdyrhold.

De mest iøjnefaldende ændringer vil være, at kornarealer udskiftes med mere eller mindre intensive græsarealer til bioraffinering, og at der i biomasse-scenariet kommer mere ny skov.

- Ny natur
- Ny græs med lav gødskning
- Nye intensive kløvergræsarealer
- Kløvergræs til slet
- Raps
- Korn til husdyr
- Ny skov
- Korn til eksport

Desuden vil der være mindre arealer med fx energipil, vådlagte lavbundslande, sukkerroer til bioraffinering osv.

Energi – mere fra el og mindre fra bioressourcer

Næsten en tredjedel af alt biomasse skal fremover anvendes til energiformål, hvis vi fortsat skal dække vores energiforbrug i takt med, at vi skruer ned for de fossile kilder. Derfor der brug for en omfattende elektrificering af det danske samfund.

Det er ikke energi som sådan, der er flaskehalsen. Det er kulstoffet.

Energiindholdet i det sollys, der rammer jorden, svarer til omkring 6.000 gange den mængde energi, der er brug for. Solceller er meget mere effektive end planter til at fange energien. Men kun planterne kan binde kulstoffet til en rimelig pris.

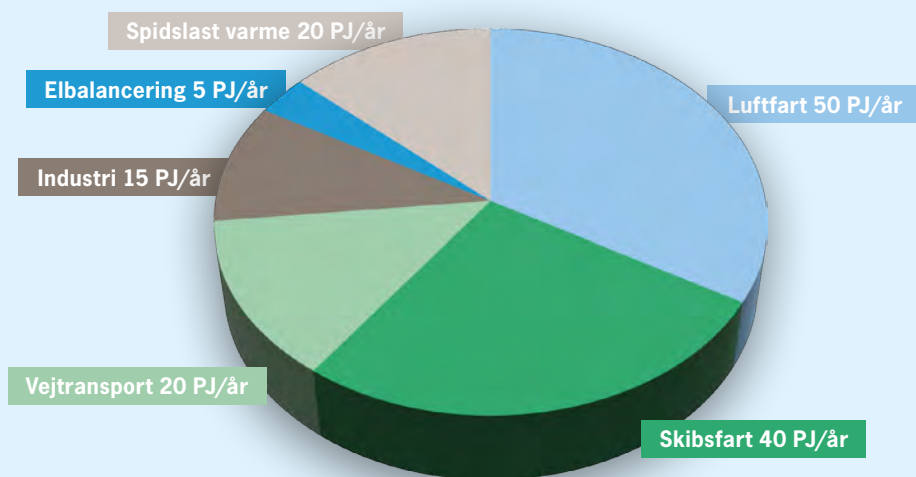
Det er de energirige bindinger mellem C-O-H, vi gerne ved hjælp af planter og PtX, skal kunne producere nok af til også at dække energibehovet, hvor elektrificering ikke er mulig. Her er det især tung industri og tung transport, der er vanskelige at elektrificere.



Fremtidens behov for biomasse til energi

Efterspørgsel efter biomasse til brændsler og brændstoffer

Diagrammet angiver estimater på fremtidens behov, efter at der er gennemført 'meget omfattende elektrificering'. Det betyder, at områder, der ikke kan elektrificeres, så skal dækkes af biobaserede kulstofforbindelser.



Lagkagediagrammet her illustrerer den beregnede efterspørgsel efter biomasse til brændsler og brændstoffer i 2050 i et fuldt elektrificeret energisystem. Skibs- og luftfart udgør de største behov (i alt 150 PJ).

De første forsøg med at elektrificere fly og skibsfart er i gang, men særligt for skibsfarten kan det give mening af satse mere på kulstoffri energi i form af ammoniak (NH_3) som energibærer, selvom det endnu er mindre effektivt. I øjeblikket satses

der kraftigt på biobaseret metanol til containertrafik, og flere færger elektrificeres.

Fly har brug for meget koncentreret energi, og det kan være muligt at producere det fra syngasser (især brint (H_2) og kulilte CO fra fx pyrolyseprocesser. Der er dog et langt stykke vej til, at det kan konkurrere på både mængder og pris med fossile brændstoffer.

Diagram: Baseret på Rasmussen et al. 2022

Hvad kan vi producere i dag?

Hvis vi ser på det energimæssigt, bruger vi i dag ca. 650 Petajoule (PJ) årligt totalt set inklusive el, fossil energi osv.

Af dette er biomassen (halm, træ, bio-affald) ca. 148 PJ, som kan omregnes til ca. 7,8 mio. tons tørstof.

Det vil sige, at af den totale mængde biomasse, vi producerer i Danmark, skulle ca. 29 procent bruges til energiformål, hvis vi skal opfylde vores nuværende forbrug. Men vi importerer årligt omkring 3,5 mio. tons træpiller og flis.

Enhederne

Petajoule: En energienhed svarende til 1 billion kilojoule.

Vi mennesker har behov for ca. 10.000 KJ om dagen.

Bioøkonomipanelet anbefalede i 2022 en omfattende elektrificering af det danske samfund. Det er helt nødvendigt for at holde så stor en del af bioressourcerne ude af energisystemet som muligt, om end vi kan blive meget sårbare som samfund fx over for cyberangreb på el-systemet.

Biobaserede materialer til mange formål

Byggeriet er bare én af de brancher, der kommer til at efterspørge biobaserede materialer som en del af den bæredygtige omstilling. Det handler om fx at spare ved at renovere i stedet for at bygge nyt, og det handler om at bruge vores materialer klogt ved at genbruge dem igen og igen og ved at finde nye måder at bruge flere materialer på.

Fremtidens behov for biobaserede materialer

Materialer er en meget bred kategori, og der er i øjeblikket stor fokus på biobaserede byggematerialer for at nedbringe CO₂ udledningen pr kvadratmeter i byggeriet fra omkring 12 kg. CO₂, som bygningsreglementet krævede i 2023 til større byggerier, til 3-4 kg. i en nær fremtid.

Bygningsreglementet strammes, og byggebranchen vil gerne mødes med skrappe krav. Men har vi biomassen til det? Træ producerer vi ikke nok af, mens der er 'ledige' halmressourcer, hvis ikke andre brancher også vil have det.

Der er meget store behov for biomasser til at erstatte de fossile materialer, det gælder især til plast, kemikalier og andre materialer samt til byggesektoren.

Efterspørgsel efter biomasse til råvarer og materialer

Lagkagediagrammet viser den beregnede efterspørgsel efter biomasse til råvarer og materialer. Her fylder plast, kemikalier og byggematerialer mest (i alt 168 PJ). Desuden forventes der et behov for at lagre biokul i jord for at kompensere for fossilt udslip. Hertil skal yderligere lægges behov for fødevarer og foder.

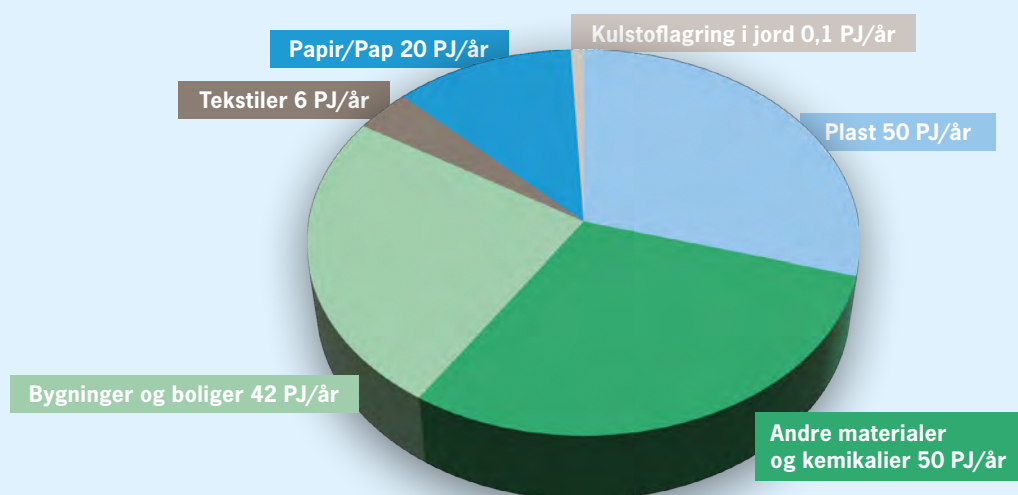


Diagram: Baseret på Rasmussen et al. 2022

Træ

Vi bruger i det danske samfund især træ som biobaseret materiale. Vores anslåede behov var i 2022 950.000 tons, og der er godt 100.000 tons til rådighed fra danske skove uden at tage materiale fra til andre formål som fx energi. Der er især brug for træ til konstruktioner og til træfiberisolering samt til diverse typer træplader. Så træ er ikke bare træ, men der er mange kvaliteter og forskellige materialetyper, som kan udfylde forskellige biobaserede niches i fremtidens byggeri.

Samtidig efterspørger byggebranchen i stigende grad flere træprodukter, men vi kan ikke producere ret meget mere uden at konkurrere med andre anvendelser og/eller importere mere (certificeret bæredygtig) træ.

Dilemmaet er derfor: Hvem skal bruge træet?

Bæredygtige polymerer

Polymerer er molekyler, som er opbygget af et stort antal gentagelser af én eller flere typer atomer eller atomgrupper (såkaldte monomerer, som typisk er C-O-H forbindelser med lidt andre grundstoffer indbygget) bundet til hinanden i kæder, net eller andre strukturer.

Polymerer kan være stoffer fremstillet af planter som fx cellulose, hemicellulose, træstof/lignin, naturgummi og proteiner. De fleste polymerer, vi bruger i dag, er lavet af fossile råmaterialer, og disse skal erstattes af biogene materialer, som er mere eller mindre biologisk nedbrydelige af naturens mikroorganismer som svampe eller bakterier.

Plast er polymerer

Plast er en fællesbetegnelse for en række polymerer. I 2014 blev der produceret 311 mio. tons plast globalt, og i 2050 forventes plastikproduktionen at nå hele 1,2 mia. tons. I EU forventes en fordobling af plastikforbruget inden 2050.

Plast er ofte udsat for stor kritik, særligt når det ender i naturen som mikroplast. Bionedbrydelig plast opfattes typisk mere positivt, men kan dog mangle vigtige egenskaber i forhold til at modstå forskellige påvirkninger, fx når det anvendes som fødevareremballage.

Tænk bare på agurken i køleskabet. Den holder længere i plasticembalagen, og på globalt plan forhindrer plast fødevarrespild i stort omfang hver dag. Plast kan anvendes på mange måder, og dilemmaerne er forskellige afhængig af, hvordan vi bruger og (gen)bruger materialet.

Halm

Halm anvendes i dag især til husdyr som foder og strøelse samt til energiproduktion. Det er især varmeværker, der aftager halmen, eller det anvendes som input til biogas. Samtidig efterlades en stor del på marken som foder til regnormene og mikrolivet i jorden. Det har jorden godt af, og det forhindrer et fald i kulstofindholdet i jorden, og det kan måske hæve jordens kulstofpulje en smule.

Halmen er en meget stor ressource, som vi kan indsamle på endnu mere effektiv vis i Danmark til fx polymerer eller byggeri. Det er også en ressource, vi kan producere mere af ved at forædle mod kornsorter med længere strå.

Andre materialer

Afgrøder som hamp, tang, tagrør, elefantgræs og ålegræs fylder i dag meget lidt i statistikkerne, men afgrøderne spås et stort potentiale. Det er derfor vigtigt, at innovationen accelereres kraftigt for at se, om potentialerne kan få en plads i den biobaserede økonomi.

Hvad kan vi producere i dag?

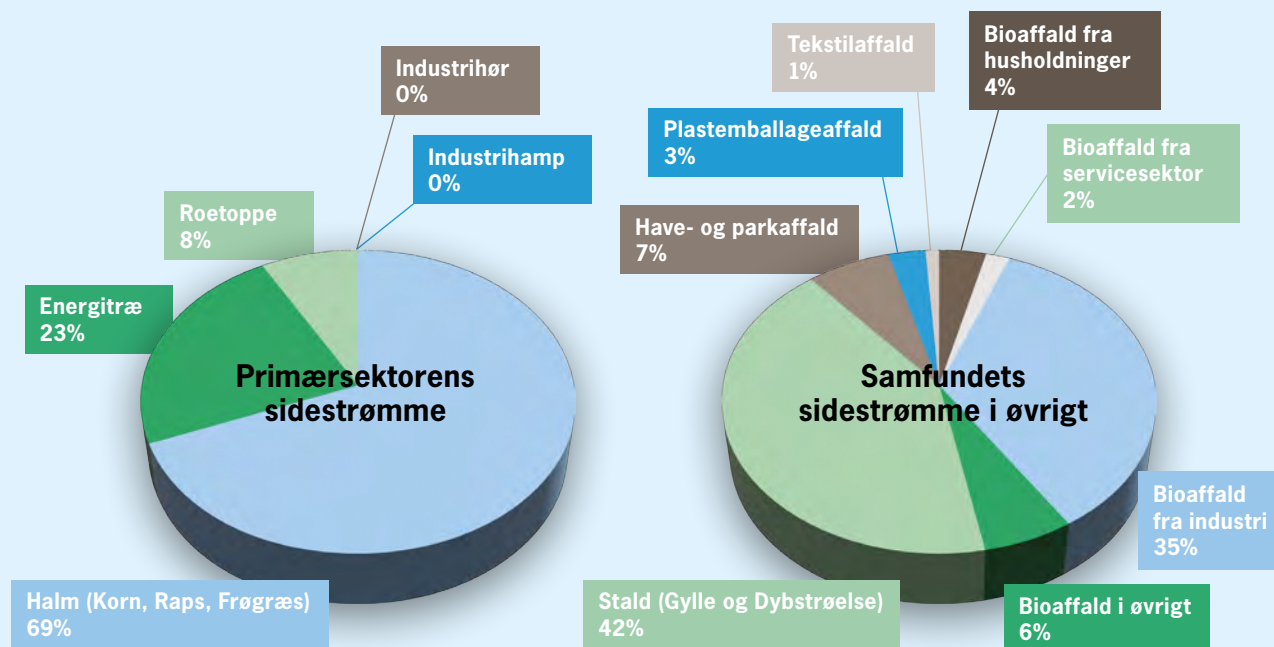
Træ er klart det vigtigste materiale her og nu til byggebranchen, men også halm er en meget stor ressource.

Der er konkurrence om materialerne, og både træ og halm spiller en rolle i prioriteringen af ressourcer til energi og til understøttelse af biodiversiteten i skovene eller i landbrugsjorden.

Mange taler om hamp, træfibre, hør, og ålegræs, men mængdemæssigt er det kun træ og halm der pt. fylder noget, og hvor værdikæderne er udviklede. Derimod kan mange af de andre biomasser komme i spil ved aktivt at understøtte innovation og produktion af alternativerne og ved at holde et skarpt fokus på hele værdikæden for at nå i mål.

Dilemmaerne om, hvad træ og halm skal bruges til, opstår meget hurtigt, og der er ikke enkle svar. Halmproduktionen kan øges ret hurtigt, mens træbiomasseproduktionen kun langsomt kan øges bæredygtigt, det vil sige uden af der tæres på den stående skovs samlede biomasse.

Ressourcer/råvaregrundlag til biopolymerer mv



Diagrammerne viser hvilke sidestrømme fra primærsektoren (i alt 3,7 mio. tons tørstof årligt) og samfundets øvrige sidestrømme (ca. 7 mio. tons tørstof årligt), der vil kunne indgå som råstoffer i opbygningen af fx nye materialer. Dette inkluderer, hvad der hidtil har været betragtet som affaldsstrømme, hvor eksempelvis halm, gylle og bioaffald fra især industrien er store kilder.

Foder – nok til husdyrbestanden

I dag bruger vi en væsentlig del af vores arealer på foderproduktion til dyr, mens vi samtidig importerer store mængder sojaprotein fra udlandet. Det er arealer, som vi kan få endnu mere værdi af ved at omlægge til andre formål.

Fremtidens behov for bioressourcer til foder

Udover de skitserede bioressourcebehov på side 19 og 20 skal vores husdyr have foder. Omkring 80 procent af landbrugsarealet bruges i dag til at producere foder som korn, halm, græs, majs og roer.

Der er ved at opstå en ny konsensus i politiske kredse om, at vi fremover skal producere mindre foder og i stedet flere fødevarer på vores marker i fremtiden. Det var et synspunkt, der fyldte meget lidt for bare 10 år siden.

Der er kommet fokus på vores import af foder, særligt sojaprotein, som i forskellige opgørelser viser at optage landjord af betydelig størrelse i andre lande. Vores produktion af animalske produkter påvirker på den måde ganske kraftigt arealanvendelsen i andre regioner.

Det kan tolkes som en mulighed for, at andre lande kan producere og sælge produkter til os som almindeligt handelssamarbejde, men tolkes i stigende grad som ændringer i arealanvendelsen, der indirekte kan koste fældning af primær skov.

Denne 'Indirect Land-Use Change' tæller ganske negativt i livscyklusberegninger af husdyrproduktionen. I stedet for soja til eksport kunne de sojaproducerende lande producere fødevarer til sig selv og dermed undgå at inddrage andre arealer til egen fødevarerproduktion.

Dette er et eksempel på, at verdenshandelen i ét led sagtens kan give mening, samtidig med at der kan være skjulte konsekvenser. Disse konsekvenser vi i stigende grad ved at få øjnene op for.

Hvad kan vi producere?

Udgangspunktet er naturligvis fortsat, at vi producerer det foder, som husdyrbestanden har behov for, og med et yderligere fokus på, at vi selv forsyner os med mere protein i form af ærter, hestebønner, kløvergræsproteiner osv. end i dag. Derved kan vi reducere påvirkninger globalt fra produktionen af foderproteiner.

Scenarierne viser, at vi med 20 procent færre husdyr og med øget fokus på bioraffinering af dyrket græs kan omlægge ca. 160.000 hektar fra grovfoder (særligt majs- og græsensilage) til kløvergræs til bioraffinering.

Det kan øge andelen af danskproducerede foderproteiner og på sigt måske også humane proteiner samt reducere importen af soja. Fra bioraffinering er der desuden en presse-kage med god foderværdi til særligt kreaturer eller til biogas.

Fødevarer

Vi har naturligvis også behov for bioressourcer til mad, som kun udgør en lille - men væsentlig - del af de bioressourcer, vi kan producere. Men med udsigt til en fortsat stigning af verdens befolkningstal i nogle årtier endnu, kan vi ikke fortsætte med det nuværende og stigende forbrug af animalske fødevarer.

Fremtidens behov for bioressourcer til fødevarer

I 2023 udkom en rapport fra en række grønne organisationer med titlen "Fra Foder til Føde II" med visioner for 2040, hvor man peger på, at kun 25 procent af landbrugsarealet i Danmark skal bruges til foder.

Det frigiver potentielt meget jord til andre produktioner (fx fødevarer, materialer osv.) og til natur.

Rapporten er naturligt nok blevet mødt med en del skepsis fra husdyrproducerende landmænd og deres organisationer, men rapporten peger i retning af nogle af de scenarier, som vi ridser op i næste afsnit.

Griseproduktionen er i Danmark faldet med knap 20 procent på

få år, og det er sandsynligt, at husdyrholdet fortsat vil falde af forskellige grunde (fx natur, miljø, klima, økonomi, naboer osv.). Det vil frigøre store arealer til at producere fødevarer eller biomasse til den biogene kulstof-økonomi. Færre husdyr vil utvivlsomt forandre det danske agerlandskab og give os nogle helt andre muligheder.

Alle eksperter er enige om, at vi skal spise mindre kød især af klimahensyn, og vi i næste del af denne publikation ser vi på, hvad landbruget så skal sigte omstillingen mod. Måske findes der andre lukrative produktioner i en fremtidig kulstoføkonomi?



Hvad kan vi producere?

Vi skal ikke glemme, at mad står meget højt i menneskets prioriteringer. Vi ser nogle kostmønstre hos danskerne, der er mere kødtunge end de anbefalede værdier både ernærings- og klimamæssigt.

I denne publikation kigger vi ikke på kosten, men det er selvfølgelig en pointe, at fremtiden kalder på mindre animalsk og mere vegetabilsk protein og formentlig langt flere bioraffinerede fødevarer.

De bioraffinerede fødevarer er opbyggede polymerer af grundelementerne, som vi i dag kan dyrke i ståltanke med mikroorganismer.

Det er bestemt ikke nyt, at man kan dyrke medicin (fx insulin og

enzymer) med gærceller. Men det er nyt, at vi ser en stigende aktivitet mod at producere en lang række fødevaringredienser og fødevarer i ståltanke. Udgangspunktet for dette skal naturligvis være lavværdige rester og sidestrømme af C-O-H forbindelser, som vi med vedvarende energi og snilde kan bruge til at opbygge mere komplekse molekyler som fx proteiner, kulhydrater eller andre polymerer.

Det er det felt, vi kalder biosolutions, som viser noget af vejen fra at raffinere "ned ad stigen" til at opbygge nye molekyler efter vores behov.

Hvad er biosolutions?

Biosolutions betyder, at vi bruger mikroorganismer (bakterier og svampe) som "husdyr". Når vi fodrer dem med små restmolekyler fra sidestrømme i en ståltank, kan de opbygge mere komplekse forbindelser, som vi så kan bruge til fx foder, fødevaringredienser, plast og medicin (fx insulin).

Erhvervsfyrtårnet Biosolutions Zealand

Regeringen har store ambitioner om at bruge biosolutions som et værktøj i den grønne omstilling af fødevarerektoren.

Derfor har man etableret et erhvervsfyrtårn under navnet Biosolutions Zealand, hvor der bl.a. er etableret en række test-, demonstrations- og udviklingsfaciliteter, der gør det lettere for virksomheder at udvikle og skalere deres bæredygtige produkter og løsninger.

Læs mere på biosolutionszealand.dk







Handling

Hvordan får vi enderne til at nå sammen?

Hvordan får vi enderne til at nå sammen?

Det biogene kulstof er en helt central værdiskaber i samfundet, og vi skal i langt højere grad samtænke cirkulære modeller for, hvordan vi (gen)bruger byggestenen i den grønne omstilling. Men hvordan holder vi bedst muligt kulstoffet i kredsløbene? Hvad er mulighederne for at opbygge biologiske molekyler gennem biosolutions og for at udvikle nye bioteknologiske løsninger til dette?

Vi har gennem det sidste årti talt meget om bioraffinering. Det er i virkeligheden inspireret af den fossile oliebranche, der raffinerer et råstof til mange anvendelige stoffer/polymerer. Som nævnt er de kemiske kombinationer af C-O-H i fossile ressourcer de samme, som i dag kan fremstilles bæredygtigt af planterne. Kompetencer fra raffinering af fossile stoffer kan komme i spil i de modsatrettede processer, hvor vi bygger molekyler op igen, med bidrag af andre kompetencer og viden om af dyrke mikroorganismer i ståltanke.

Undervejs er der kommet en række nye cirkulære modeller til (fx de såkaldte sommerfugle- og doughnut-modeller), der illustrerer grænserne for planetens bæreevne. Modellerne viser, at vi også er nødt til at tænke bio-cirkulært ved at stræbe mod en cirkulær økonomi baseret på vedvarende energi.

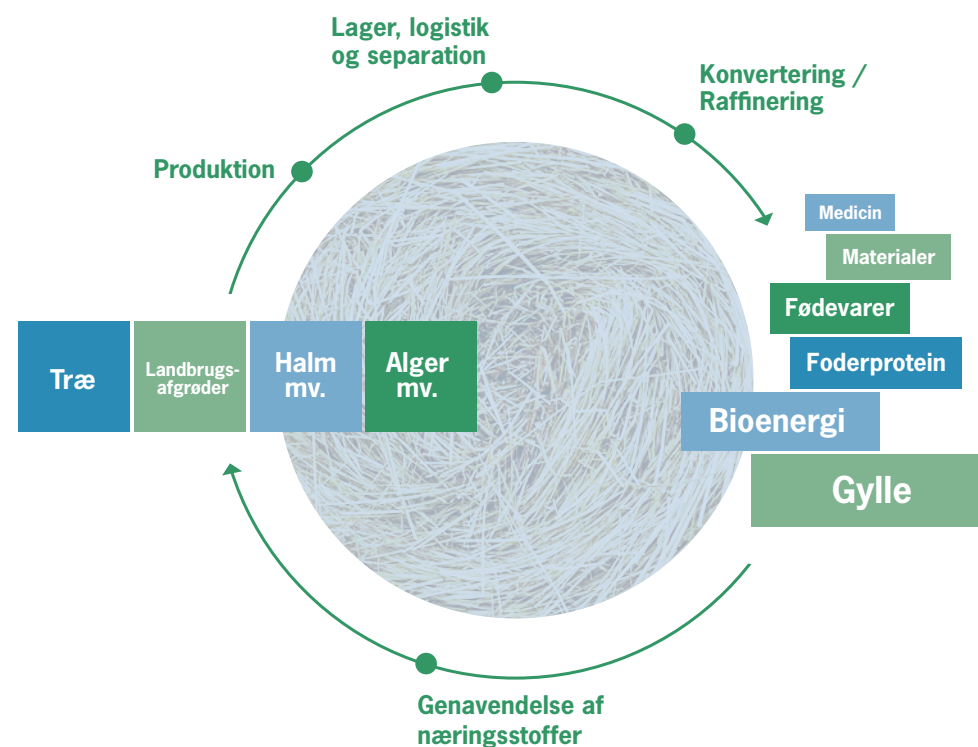
Fremtiden er cirkulær

Bæredygtighed indebærer, at vi kun forbruger det, kloden kan producere,

uden fortsat at udpine vores eget levegrundlag. Regenerativ bioøkonomi betyder, at vi også skal genopbygge jordens kulstofindhold og biodiversitet, samtidig med at vi opfylder fremtidige behov.

Da verdensbefolkningen stiger (og forventes at toppe om få årtier), stiller det endnu større krav til, at vi lykkes med at "få mere ud af mindre" for igen at skabe balance mellem klodens ind- og udånding af CO₂. For at nå dertil er vi samtidig også nødt til på kort sigt at lagre CO₂ for at kompensere for tidligere udslip og reducere klimaforandringerne. Men i virkeligheden er det i modstrid med de grundlæggende cirkulære principper, vi stræber efter, hvor kulstoffet skal holdes i dets kredsløb.

For at "få mest bæredygtighed for pengene" skal al værdi dermed trækkes ud af kulstoffet før CO₂ udledes, for at planterne derefter kan indfange CO₂'en igen og opbygge nye biogene materialer i en cirkulær proces.



Kompensering og miljøfordele ved kulstoflagring i jorden

Selvom idealet om cirkularitet indebærer at holde kulstof i kredsløbene, kan kulstoflagring fungere som en midlertidig foranstaltning for at kompensere for vores udslip af fossilt baseret CO₂, mens mere bæredygtige alternativer udvikles og implementeres.

I dag arbejdes der meget aktivt for at lagre CO₂ enten i undergrunden (CCS eller såkaldt Carbon Capture and Storage) eller i landbrugsjord som biokul, men lagringen har også mere direkte klima- og miljøfordele.

I landbruget argumenteres med regenerative principper og praksisser for, at man kan "lagre" kulstof i form af humus, der er komplekse og stabile nedbrydningsrester af plantematerialer som fx halm. Halm nedbrydes i jorden - og giver undervejs næring til regnorme og andet af jordens liv - i løbet af få år.

Vi kan (og bør) hæve kulstofindholdet i landbrugsjord en smule, men det når ret hurtigt et stabilt leje, hvis man samtidig skal producere fødevarer. Vi kan dog gøre noget ved at vådlægge dyrkede lavbundsjord og derved standse nedbrydningen af kulstof og genstarte den naturlige opbygning af tørvelag.

Kulstoflagring i jorden er således en måde både at kompensere for fossile

CO₂-emissioner og at understøtte planternes vækst og produktivitet samt jordens biodiversitet.

Biokul som CO₂-lager og jordforbedrer

Biokul er meget stabilt kulstof fra en ukomplet forbrænding af biomasse uden ilt kaldet pyrolyse. I disse år investeres der kraftigt i anlæg, der kan lave biokul og gasser til brændstoffer, fordi man politisk har besluttet at ville lagre 2 mio. tons CO₂-ækvivalenter årligt i landbrugsjorden for at kompensere for en del af erhvervets udslip af CO₂. Det svarer til ca. 1 mio. tons biokul, fremstillet af 2 mio. tons biomasse.

Biokul er særdeles stabilt som "lagervare", men det afhænger af input-biomassen og processen. Nogle modelstudier regner med, at omkring 75 procent af kulstoffet stadig er i jorden efter 1000 år, og nogle forskere regner det lige så stabilt som fossilt kul.

Men giver det i det store regnestykke mening af lagre biokul og tage kulstoffet ud af det cirkulære biologiske kredsløb? Kommer vi ikke til at mangle den mio. tons kulstof til andre formål i vores samfund?

Lagring af biokul er et tiltag for at kompensere for klimagasudledninger, ikke til at nedbringe disse. Det er klart altid bedst at gå til kilden (fossile brændsler,

husdyrproduktion, lavbundsarealer og gødningsforbrug) og reducere udledninger fra disse, men det tager tid.

Direkte CO₂-fangst – naturgaslommer, molér og Power-to-X

CO₂ kan også fanges direkte fra luften fra fx en skorsten eller et biogasanlæg og bruges uden om planterne. Teknologien har store potentialer, men det er i dag en dyr løsning.

Det foregår ved, at CO₂ indfanges og efterfølgende gøres flydende under højt tryk. Derefter kan CO₂'en indgå i industrielle processer og fx drikkevarer. Som klimavirkemiddel udvikles der i dag lagringsteknikker, hvor det flydende CO₂ kan pumpes ud i tomme naturgaslommer i Nordsøen eller ind i jordlag

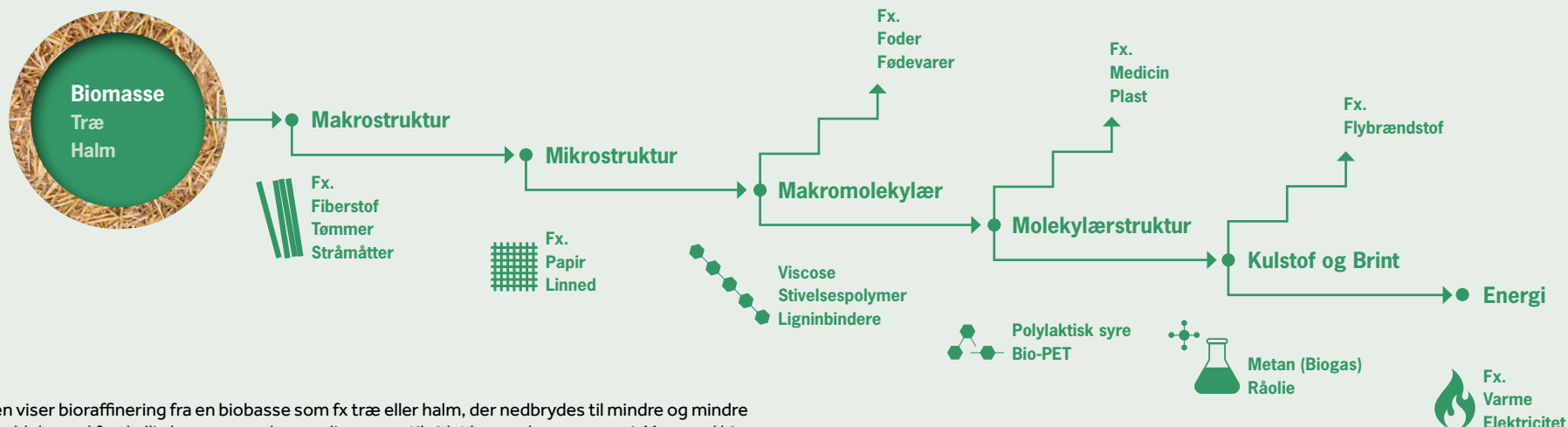
kaldet molér ved Limfjorden (Carbon Capture and Storage - CCS). Begge er tiltag for at kompensere for vores emission af CO₂ fra de fossile kilder.

Power-to-X er en anden meget omtalt mulighed, som der investeres kraftigt i. Her spaltes vand til ilt og brint ved elektrolyse med sol- eller vindenergi. Brinten (H₂) kan så kobles sammen med CO₂ og omdannes til metan til naturgasnettet eller metanol som flydende brændstof. Processerne er dyre, men især koblingen af CO₂ og H₂ (metanisering/ Power-to-X) kan potentielt fange og genbruge fossilt (eller nutidigt) CO₂ til samfundsgoder. Det er teknisk muligt og tæt på kommercielt gennembrud.



Biomasse anvendelse

Forskellige udnyttelsesgrader ved biomasseanvendelse



Figuren viser bioraffinering fra en biobasse som fx træ eller halm, der nedbrydes til mindre og mindre bestanddele med forskellig brugs- og salgsværdi, og som til sidst kan ende som energi. Men med biosolutionskonceptet kan de små molekyler i stedet bruges til at fodre mikroorganismer i ståltanke, så der opbygges målrettede nye molekyler med en højere værdi, som fx proteinfoder, fødevarer, ingredienser, plastprodukter, medicin eller andre formål.

Kulstoffet som byggeklodser til mere komplekse forbindelser

Traditionelt har kulstoføkonomien handlet mest om at recirkulere så meget som muligt i en nærmest uundgåelig nedbrydning af kulstofforbindelserne til fx energi eller gødning.

Men hvad sker der, hvis vi i stedet tilføjer vedvarende energi og bygger molekyler op til nye materialer, fødevarer, foder, brændstoffer eller andre produkter? Hvis vi i stedet for at bevæge os ned

ad i værditrekanten, hvor vi hele tiden omdanner materiale til mindre fragmenter af andet materiale, og i stedet tager vejen op, kan vi træde helt nye og afgørende trin i dansen om det biogene kulstof.

Innovationen er i fuld gang, og vi ser allerede nu store haller med ståltanke, hvor bakterier og svampe sammen med kulstoffet indgår i nye såkaldte biosolutions, som eksempelvis kan anvendes til produktion af fødevarer/ingredienser,

foder, plantebeskyttelsesmidler, komponenter til bioplast eller biobaserede byggematerialer eller andre materialer, menneskeheden benytter sig af.

Biosolutions har potentiale til at accelerere den globale grønne omstilling i en række sektorer, hvor det ellers kan være svært at nedbringe klima- og miljøpåvirkningen, herunder landbrug og fødevarer, og det er regeringens ambition, at Danmark skal være verdensledende inden for området.

Cirkulær kulstoføkonomi

Med den grønne omstilling følger en grundlæggende ændring i værdistrømmene, hvor det ikke længere er husdyrbestanden, men kulstoffet der i stigende grad bliver den store værdiskaber i landbruget. Det rejser mange komplekse og vanskelige dilemmaer, som det kræver både viden, politisk mod og nye incitamentsstrukturer at løse.

Hvor meget skal vi lagre som CO₂ i undergrunden? Eller som biokul i marken eller i materialer i vores byggeri? Og hvordan sikrer vi en effektiv udveksling af kulstoffet, hvor vi får mest muligt ud af CO₂-gevinsterne fra én sektor og (gen)bruger kulstoffet i en anden sektor, hvor det gør mest gavn?

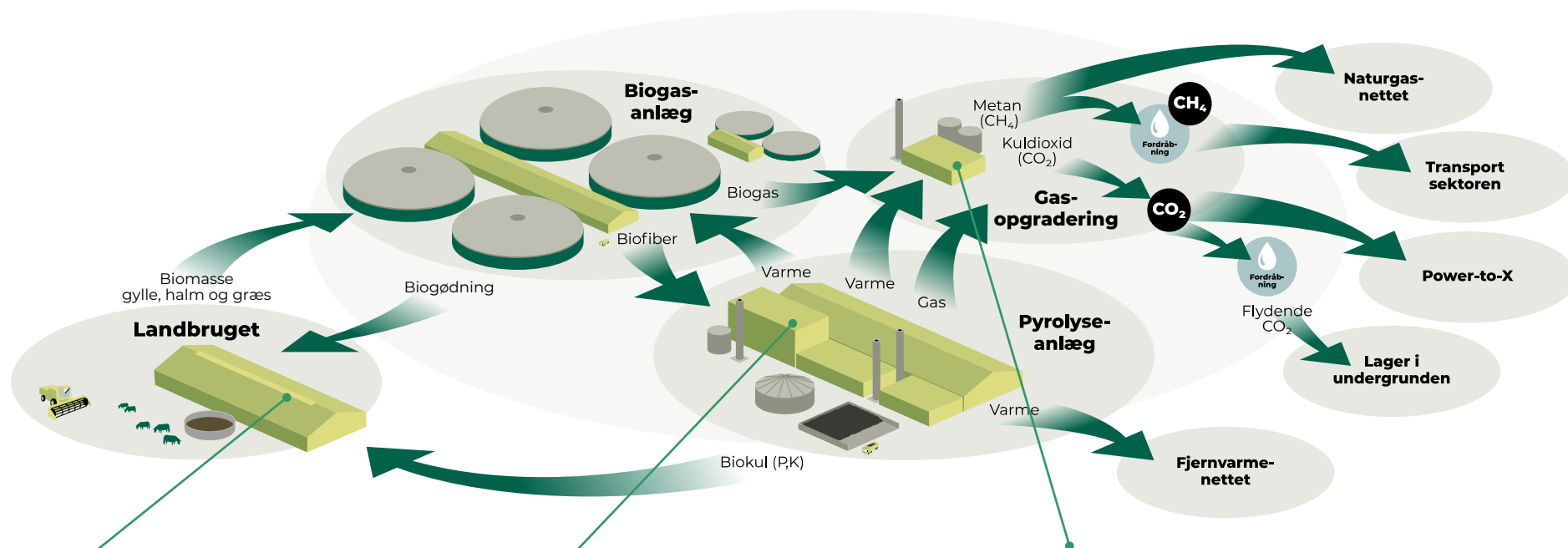
Det kalder på planlægning og samarbejde mellem forskellige sektorer som fx energi, landbrug og industri, for at vi kan maksimere fordelene ved kulstoføkonomien og bekæmpe klimaforandringerne. Og det kan ikke gøres uden nøje analyser og en større omlægning af skattesystemet og de mange støtteordninger, der skal til, for at trække Danmark i den rigtige retning.

Sikkert er det, at det biogene kulstof fremover skal opfylde mange forskellige funktioner i samfundet, og i det følgende skitseres et muligt scenarie for den fremtidige cirkulære kulstoføkonomi. Scenariet er ikke dækkende, men tilsvarende nye tanker skal ind i fremtidige økonomiske modeller.



Biogas som nøgleteknologi til fremtidens kulstoføkonomi

Det er tænkeligt, at biogassen bliver en nøgleteknologi i fremtidens kulstoføkonomi fordi den – som en kos mave – kan omsætte meget kulstof til molekyler, vi kan bruge videre i den grønne omstilling (primært metan og CO₂).



Input til biogas

Input til biogassen vil fortsat – men nok i faldende grad - komme fra husdyr (gennem gødning og gylle) og blive erstattet af græspulp (fra græsprøteinraffinerings) og halm, efterafgrøder og andre planteprodukter eller organiske sidestrømme fra industri og private husholdninger.

Fiberrest til pyrolyse

Den uomsatte fiberrest vil kunne gå til pyrolyse og "vrige" de sidste kulstofbyggekæder ud af fiberen som gas og give os biokul som et andet værdifuldt produkt.

Forhåbentlig til mere højværdiprodukter end blot lagring i fremtiden.

Hovedprodukter fra biogassen og pyrolysen

Som hovedprodukter fra biogassen skal metan (CH₄) og CO₂ bruges på forskellig vis:

- Metanen skal gøres flydende og indgå som grønt brændstof til tung transport som fx skibe, lastbiler og måske fly.
- CO₂'en skal genbruges i Power-2-X i kombination med brint, så vi med vedvarende energi kan gendanne de energirige bindinger mellem kulstof og brint.
- Pt. er der planer for at lagre CO₂ i undergrunden som kompensation for udledninger, jf. biokul, men det må ikke være en langsigtet løsning.

Skoven og havet

Biogene materialer fra skovbruget kan ikke umiddelbart indgå i den biogas-drevne omsætning, mens nogle sidestrømme af produkter fra havet kan.

Dog ser vi nye innovative måder at anvende skovens lignin og cellulose i bioraffinering til kulstof-byggeklodser til fx vanillin, batterier, fibre, tøj, plast, lim og andre materialer.

Et skridt på vej mod en mere kulstofbaseret økonomi

Der er ved at opstå eksempler på, at producenter og forarbejdningsvirksomheder kan dele kulstofværdien mellem sig, fx omkring biogasanlæg.

Det kræver, at landbruget fx afregnes pr tons biogent tørstof, man leverer til biogasanlægget og at man får en ejerandel, der svarer til ens leverancer.

Halm og græs får større værdi i den cirkulære bioøkonomi end husdyr og deres gødning, og derfor kan man på sigt kigge på andre biogas-anlægstyper, der kan håndtere mere tørstof i reaktoren.

Desuden vil det øge incitamentet til at gå efter kulstofværdien af producerede afgrøder end først at skulle have det gennem husdyrene.

Dermed kan vi tage væsentlige skridt mod en mere kulstofbaseret biocirkulær økonomi.





Mere viden



Mere viden

[Fra foder til Føde II](#)

Danmarks Naturfredningsforening, Dansk Vegetarisk Forening, Dyrenes Beskyttelse, Foreningen for Regenerativt Jordbrug, Foreningen Klimabevægelsen i Danmark, Greenpeace, Rådet for Grøn Omstilling, World Animal Protection og Økologisk Landsforening, 2023.

[Prioritering af Danmarks areal i fremtiden. Fonden Teknologirådet](#)

Arler, F. et al.

Fonden Teknologirådet, 2017

[Bæredygtige byggeklodser til fremtiden](#)

Bioøkonomipanelet, 2019

[Bioøkonomipanelets vision og anbefalinger](#)

Bioøkonomipanelet, 2022

[Vejen til effektiv CO₂ lagring med biokul](#)

CIP fonden, 2024

[Potential Danish biomass production and utilization in 2030](#)

Gylling M. et al.

Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, 2023

Podcast: Et grundstofs historie kan forklare klimakrisen. Og hvordan vi kan løse den.

Hebsgaard, T.

Zetland, 2024

[Illustration af arealanvendelse i Danmark, og fordelingen på forskellige typer af landbrug](#)

Odgaard et al.

Aarhus Universitet, Department of Agroecology, 2021

[Scenarier for anvendelse af biomasseressourcer i fremtidens produktionssystemer for fødevarer, energi og materialer inden for rammerne af gældende politik for landbrug, miljø, klima, natur og energi](#)

Rasmussen, C. et al.

Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, 2022

[Vision for en bio-methan og elektro-methan platform for fremtidens kulbrinteforsyning](#)

Wentzel, H. et al.

Syddansk Universitet, 2019