UNIVERSITY OF COPENHAGEN

Københavns Universitet

+10 mio. tons planen

muligheder for en øget dansk produktion af bæredygtig biomasse til bioraffinaderier

Gylling, Morten; Jørgensen, Uffe; Bentsen, Niclas Scott; Kristensen, Inge Toft; Dalgaard, Tommy; Felby, Claus; Johannsen, Vivian Kvist

Publication date:
2012

Document version
Også kaldet Forlagets PDF

Citation for published version (APA):
Gylling, M., Jørgensen, U., Bentsen, N. S., Kristensen, I. T., Dalgaard, T., Felby, C., & Johannsen, V. K. (2012). *+10 mio. tons planen: muligheder for en øget dansk produktion af bæredygtig biomasse til bioraffinaderier*. Fødevareøkonomisk Institut, Københavns Universitet.

Download date: 07. Oct. 2026

+ 10 MIO. TONS PLANEN

muligheder for en øget dansk produktion
af bæredygtig biomasse til bioraffinaderier

Indhold

Indhold	2
Om 10 millioner tons planen	3
Sammendrag og løsningsforslag	4
Rapportens løsningsforslag	5
Arealanvendelse	6
Ny teknologi kan forbedre samspillet mellem fødevarer, foder og industriel anvendelse	8
Rammebetingelser for øget biomasseproduktion	10
Vi kan fordoble biomasseproduktionen med smartere dyrkningssystemer	12
De tre scenarier	14
10 millioner tons ekstra biomasse kan nås	16
Ændret arealanvendelse	18
Hvad vil øget biomasseudnyttelse betyde for miljøet?	20
Vurdering af effekter på økonomi og beskæftigelse	24
Kan samfundet acceptere en sådan udvikling?	27
Virkemidler for at nå målet	28

Om 10 millioner tons planen

Ønsket om at skabe bæredygtige løsninger inden for energisektoren har fået forskere på Københavns Universitet, Aarhus Universitet og forsknings- og udviklingsmedarbejdere fra DONG Energy til at indgå en samarbejdsaftale, der vil starte konkrete initiativer inden for forskning og uddannelse i grøn energi. En vigtig del af samarbejdet er en undersøgelse af, hvordan vi kan producere yderligere biomasse i forhold til i dag uden at det går ud over fødevareproduktionen, foderproduktionen eller miljøet. Undersøgelsen er her offentliggjort under titlen »10 millioner tons planen« og viser, at det kan lade sig gøre gennem en samlet satsning på bæredygtig teknologi og biologi.

Rapporten beskriver også effekterne af at etablere en dansk forsynet bioraffinaderisektor. For at virkeliggøre det kræves yderligere forskning og udvikling, særligt inden for land- og skovbrug men også inden for biologisk og kemisk konvertering af biomasse.

Initiativet understøtter BioRefining Alliance som samler danske virksomheder, offentlige partnere og organisationer med verdensklasse viden og teknologi inden for bioraffinering.

Projektet er del af den samarbejdsaftale, som Københavns Universitet, Aarhus Universitet og DONG Energy indgik i december 2011, der skal være med til at lancere konkrete initiativer inden for forskning og uddannelse i grøn energi.

Sammendrag og løsningsforslag

Grøn vækst og omstillingen til en bio-baseret økonomi er centrale i forhold til en bæredygtig udvikling i en verden med knappe ressourcer. Men hvordan gøres det i praksis og hvad vil det helt konkret betyde for ikke bare dansk økonomi, og energiforsyning men også for miljø og natur? Er det muligt for dansk land- og skovbrug at producere biomasse til en ny bioraffinaderisektor uden, at det forringer miljø eller fødevareproduktion, og hvad vil en sådan omstilling betyde i forhold til økonomisk vækst og beskæftigelse?

Disse spørgsmål har dannet baggrund for en samlet undersøgelse af hvordan miljø, teknologi og økonomi kan kombineres til at inddrage biomasse i omstillingen til en grøn økonomi, og et sammendrag af den fulde undersøgelse præsenteres i denne rapport. Arbejdet er udført i fællesskab mellem Københavns Universitet og Aarhus Universitet

Udgangspunktet for undersøgelsen var, om det var muligt at øge den danske produktion af biomasse fra land- og skovbrug med 10 millioner tons. Samtidig måtte der ikke ske nogen reduktion i fødevareproduktionen, landbrugsarealet måtte ikke udvides ligesom man skulle søge løsninger som ville give positive effekter i forhold til vandmiljø og biodiversitet. Derudover er der også taget hensyn til bevarelse af jordens frugtbarhed og kulstofindhold.

Rapporten beskriver 3 scenarier:

- Et business as usual scenarie hvor vi blot øger udnyttelsen af det land- og skovbrug vi har i dag.
- Et biomasseoptimeret scenarie hvor både land- og skovbrug tilpasses til den maksimale biomasseproduktion.
- Et miljøoptimeret scenarie hvor udledning af næringsstoffer reduceres mest muligt og biodiversiteten styrkes ved udlægning af urørt skov.

For business as usual scenariet kan målet om de 10 millioner ekstra tons biomasse ikke opfyldes, mens det biomasseoptimerede og det miljøoptimerede scenarier ligger lidt over og under målet.

Ydermere viser resultaterne, at der er muligheder for ganske betydelige forbedringer i forhold til miljøet. Udledningen af nitrat fra landbrugsjord kan reduceres med ca. 23.000 tons ligesom biodiversiteten kan øges.

Anvendes den ekstra biomasse i en dansk bioraffinaderisektor vil det give en afledt produktion på mellem 14 og 26 milliarder kroner. Dette vil give 12.000-21.000 nye arbejdspladser hovedsaligt indenfor produktion og industri. En stor del af de nye jobs vil skabes i provinsen. Der er ikke medtaget effekter fra indtægter og beskæftigelse ved samtidig teknologieksport.

Produktionen fra en dansk bioraffinaderisektor vil for 10 millioner tons biomasse svare til ca. 20 % af vores naturgasforbrug og 30-50 % af vores benzin og dieselforbrug. Dertil kan komme en produktion af foderprotein m.m. De endelige niveauer afhænger dog af den teknologiske udvikling.

Rapportens løsningsforslag

Vi kan producere 10 millioner tons ekstra biomasse frem til 2020 inden for rammerne af vores allerede eksisterende land- og skovbrug uden at det påvirker foder- eller fødevareproduktionen. Samtidig kan vi reducere miljøpåvirkningen markant og øge biodiversiteten i Danmark. Dette er blandt andet muligt fordi:

- Vi kan øge halmopsamlingen fra markerne med 15 % gennem let optimering af landmændenes høstudstyr.
- Skifte til mere halmrige kornsorter.
- Vi kan fordoble afgrødeproduktionen pr. hektar ved at lægge om til dyrkningssystemer med længere vækstsæsonen i form af flerårige afgrøder som pil eller græs eller dobbeltafgrøder.
- Vi kan reducere nitratudvaskningen fra landbruget markant ved at omlægge til mere miljøvenlige dyrkningssystemer som flerårige afgrøder, flere efterafgrøder og øget skovrejsning.
- Vi kan øge mobilisering af biomasse fra skovene.
- Vi kan øge væksten i skovene gennem forædling og øget anvendelse af hurtigtvoksende træarter.
- Vi kan høste biomasse fra ca. 70.000 ha engarealer, og samtidig skabe øget biodiversitet ved at de ikke gror til i brændenælder og pil. Samtidig kan man fjerne biomasse og næringsstoffer fra ca. 7.000 ha vejrabatter så der opnås en mere varieret flora.
- Vi kan forbedre udnyttelse af gylle fra den animalske produktion.

For landbrugets vedkommende vil den ekstra biomasse kunne fremskaffes ved en forbedret bjergningsteknik for halm, et ændret sortsvalg i retning af mere halmrige sorter og endelig ændrede dyrkningssystemer. De to første tiltag vil kunne iværksættes indenfor en 5 års periode, mens en overgang til nye dyrkningssystemer i storskala næppe kan forventes implementeret inden 2020.

For skovbrugets vedkommende vil en øget mobilisering af biomasse kunne iværksættes indenfor en kort tidshorisont, mens forædling og tilplantning med andre træarter i sagens natur har et længere tidsperspektiv.

I rapportens scenarier reduceres det areal der skal til for i 2020 at producere ligeså meget foder og fødevarer som i dag) med ca. 9 %. Men det vil alligevel være muligt at opretholde den nuværende fødevareproduktion. Et af de forventede produkter fra bioraffinaderierne er nemlig foder, og hvis 10 % af den gule og grønne biomasse (halm og græs) i scenarierne omsættes til foder vil det mere end erstatte produktionen fra det reducerede foderareal.

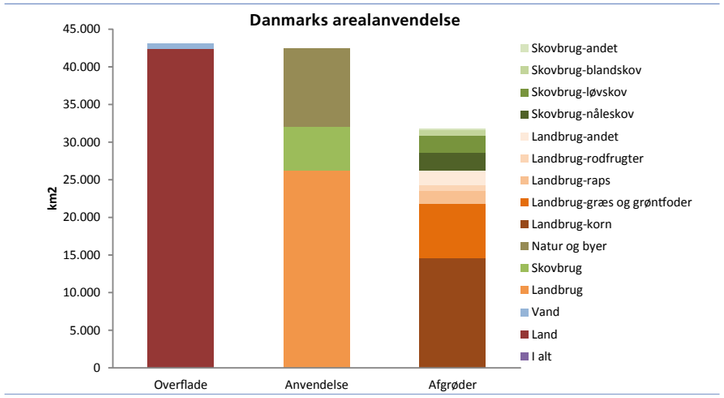
Scenariernes biomasseproduktion svarer nogenlunde til den mængde, som Klimakommissionen har anslået vil være til rådighed for vores energisystem fra nationale kilder i 2050. Det afhænger dog af, hvor effektivt biomassen udnyttes og hvor stor en andel der udtages til foder.

Det er en omfattende proces at indføre nye dyrknings- og høstmetoder samt nye afgrøder i landbruget. Og det er en udvikling der ikke kommer af sig selv, hvis ikke landmændene kan se fordele i det. Der skal derfor etableres aktivt samarbejde mellem industri, landbrug, myndigheder og forskning.

Det vil også være vigtigt med valg og fravalg i processen. Det er langt fra ligegyldigt, hvilke produktionssystemer der vælges til dyrkning af store mængder biomasse, hvis vi også vil opnå store miljøfordele. Der kan f.eks. være 3 gange højere nitratudvaskning fra enårige dyrkningssystemer end fra flerårige.

Arealanvendelse

Danmark er stærkt præget af kultivering (figur 1). Af et samlet landareal på 43.100 km² bruges 26.000 km² til landbrug, svarende til 62 % af landarealet. Skov dækker ca. 5.800 km² (14 %), hvoraf det meste er dyrket skov. De resterende ca. 11.300 km² (24 %) bruges til natur, strande, byer, bygninger, veje og anden infrastruktur m.m.

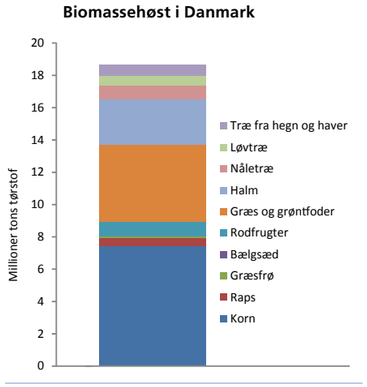


Figur 1. Arealanvendelse i Danmark i 2009. Opgørelsen er baseret på data fra FN's fødevareorganisation, FAO og på Danmarks Statistik.

Biomasseproduktion

Land- og skovbrug

Den høstede biomasse fra land- og skovbrug udgør i alt ca. 18 millioner tons tørstof (figur 2), mens produktionen er godt 2 millioner tons større. Korn, græs og grøntfoder samt halm udgør de største dele af produktionen, men hvor en del af halmen ikke bjærges men nedmuldes. Landbrugsarealet er næsten 5 gange større end skovarealet, men 'producerer' 11 gange så meget biomasse. Dette skyldes ikke kun at landbrugsproduktion generelt er mere intensiv end skovproduktion mht. gødskning og plantebeskyttelse. I traditionel landbrugsproduktion høstes en større del af den biologiske primærproduktion end det normalt er tilfældet i skovbruget. I Danmarks skove høstes omkring 1,5 millioner tons tørstof ud af en samlet overjordisk produktion på 2,4 millioner tons. Således bliver 40 % af den producerede overjordiske biomasse i skovene brugt dels til at forøge lageret af træbiomasse i skovene, dels som uudnyttet biomasse der omsættes løbende, hvoraf noget i sidste ende indgår i mere permanente kulstofpuljer. I landbruget lagres kun i sjældne tilfælde biomasse i stående afgrøder udover den årlige omsætning. Men også her efterlades en vis mængde biomasse i form af stubbe, blade, toppe og ikke bjerget halm, som bidrager til jordens kulstofpulje.



Figur 2. Biomassehøst fra land og skovbrug i Danmark i 2010. Baseret på data fra Danmarks Statistik og Energistyrelsen.

Anden træbiomasse

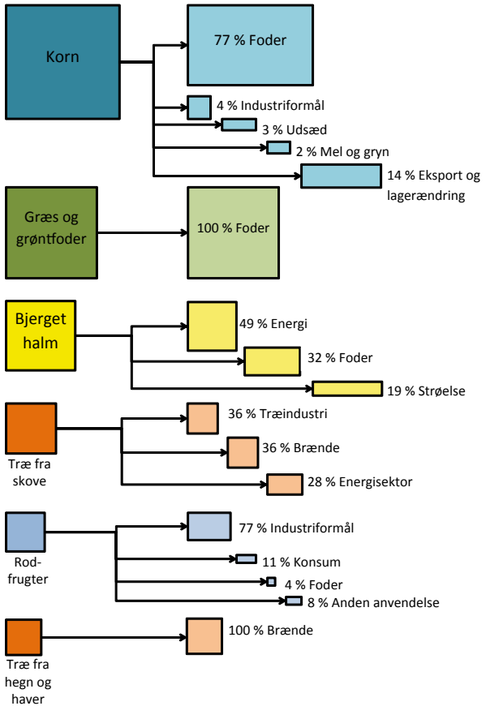
Der vokser også træer uden for skovene. Foreløbige undersøgelser tyder på at træer i levende hegn, langs vej og jernbaner, i parker og haver dækker mellem 100.000 og 200.000 ha. Produktionen på sådanne arealer er ukendt, men udgør formentlig en væsentlig ressource. Det er estimeret, at der på nuværende tidspunkt høstes brænde fra hegn og haver svarende til ca. 0,7 millioner tons tørstof.

Affald

Den samlede affaldsproduktion udgjorde i 2009 13,9 millioner tons, svarende til 2,5 tons pr dansker. Herafer en stor del er biologisk materiale (tabel 1). De danske affaldsressourcer udnyttes i høj grad allerede. En stor del forbrændes til produktion af el og varme. En del af de biologiske affaldsfraktioner genanvendes til papir og pap (papir og pap), kompost (grene, blade, græs), spånplader (træ) og biogas (slam). Der er således ikke en stor uudnyttet ressource, der kan indgå i produktionen af 10 millioner tons ekstra biomasse, men der er betydeligt potentiale for en øget grad af genanvendelse af den forbrændingsegnede fraktion ved en højere grad af sortering.

Biomasseanvendelse

Den danske primærproduktion af biomasse bruges til mange forskellige formål (figur 3). De areal- og mængdemæssigt store afgrøder i landbrugsproduktionen (korn, græs og grøntfoder) anvendes overvejende til foder, mens f.eks. frugt og grønt primært anvendes direkte til mad. Af den mængde halm, der bjerges, bruges omkring halvdelen til energiproduktion og den andel halvdel i forbindelse med husdyrhold. Træbiomassen anvendes for en stor dels vedkommende til energiformål, enten som brænde i private husholdninger eller i den decentrale el- og varme produktion. 36 % af hugsten fra skovene anvendes i træindustrien.



Figur 3. Anvendelse af de mængdemæssigt store fraktioner af primær biomasseproduktion i Danmark.

Tabel 1. Produktion og anvendelse af biologiske affaldsfraktioner i Danmark i 2009. Baseret på data fra Miljøstyrelsen.

Anvendelse	Genanvendelse	Forbrænding	Deponi
Fraktion	**Millioner tons (friskvægt)**		
Forbrændingsegnet		2,9	0,007
Papir og pap	0,7		
Madspild	0,2		
Grene, blade, græs	0,8		
Træ	0,1		
Slam	0,6	0,3	0,02

Ny teknologi kan forbedre samspillet mellem fødevarer, foder og industriel anvendelse

Biomasse er hovedsageligt opbygget af kulhydrater og lignin. Kulhydraterne kan deles op i cellulose, hemicellulose, stivelse og sukre. Cellulosen og hemicellulosen findes i stængler og blade mens stivelse findes i kerner og frø. Lignin er en helt anden slags organisk stof, som er opbygget af phenoler. Funktionen af lignin er at tilføje planterne stivhed og modstandskraft mod angreb fra nedbrydende svampe. Derudover indeholder biomasse mindre mængder af proteiner og olier, men der er meget stor forskel på de forskellige typer af biomasse, og selv indenfor de samme arter kan der være en del variation. Dette giver en udfordring for de teknologier der skal bruges til at konvertere biomassen, men det giver også muligheder for en langt bredere anvendelse og tilpasning af biomasse og teknologi.

For affaldsbiomasse gælder at det er en blanding af flere forskellige typer af biomasse, hvor fødevarerester og papir udgør de største andele. Affald fra husdyrproduktion, bedre kendt som gylle, indeholder udover de almindelige indholdsstoffer også en del organiske syrer.

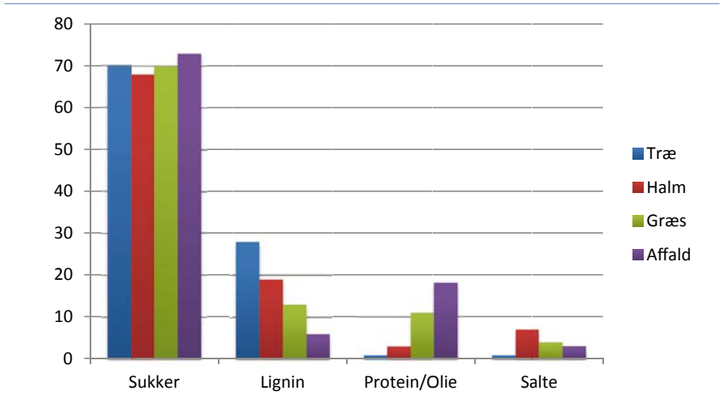
Biomassekonvertering
Konvertering af biomasse kan følge tre grundlæggende veje; termokemisk, biokemisk eller katalytisk-kemisk konvertering.

Ved termokemisk konvertering nedbrydes biomassen ved høj temperatur. Er der tilstrækkelig ilt til stede får man en forbrænding som giver varmeenergi. Fjernes ilten bliver biomassen til gas. Dette kaldes forgasning. Gassen kan brændes af i en motor eller turbine til elektricitetsproduktion eller renses og omdannes til flydende brændsler. I dag bruges hovedsaligt forbrænding til at fremstille varme og elektricitet. Fremstilling af flydende brændsler fra forgasning er endnu på forsøgs- og demonstrationsstadiet.

Den biokemiske fermentering af sukre til ethanol er en hyppigt anvendt konvertering af biomasse, der allerede kører i industriel skala. Biogasproduktion (også fermentering) tilhører også det biokemiske konverteringsspor. Kendetegnende for biokemisk konvertering er tilstedeværelsen af levende organismer som gær, svampe eller bakterier, der ved deres stofskifte omdanner sukker, olie eller protein fra biomassen. Lignin kan ikke omdannes ved biokemisk konvertering.

Katalytisk-kemisk konvertering bruges oftest sammen med andre konverteringsmetoder og medfører som navnet antyder en kemisk omdannelse af biomassens enkeltkomponenter. Dette kan f.eks. være hemicellulose omdannelse til den kemiske byggesten furfural eller omdannelsen af rå planteolie til biodiesel ved hjælp af transesterificering.

Biomasse og konvertering skal passe sammen
Biomassens sammensætning har væsentlig indflydelse på hvordan den kan konverteres. Træbiomasse har et lavt indhold af salte, men et højt indhold af lignin og er derfor velegnet til forbrænding og forgasning. Biomasse fra halm og græsser har et højt indhold af salte, men et lavere indhold af lignin og de er derfor velegnede til fermentering f.eks. til ethanol. For biogas gælder, at halm kræver forbehandling for at give høj omdannelse mens græsser, majs og lignende nemt omdannes.



Figur 4. Typisk sammensætning af forskellige biomasser. Data fra Jørgensen et al. og Jensen et al.

Man kan godt forgasse halm ved lavtemperatur forgasning, men det er endnu ikke så effektivt ifald man vil producere andet end varme og elektricitet. Omvendt gælder for fermentering, at nåletræ godt kan laves til ethanol, men det høje indhold af lignin sænker effektiviteten og øger omkostningerne.

Biomasse med et meget højt vandindhold som f.eks. gylle og husholdningsaffald er mindre egnede til forbrænding eller forgasning, men det kan godt lade sig gøre med et forholdsvis stort tab. Omvendt er de samme biomasser meget velegnede til en biogasproces.

Konvertering af biomasse kan bevare eller nedbryde næringsstoffer og foder
Når biomassen konverteres ved forbrænding eller forgasning mistes alt kvælstoffet. For fosfor vil forbrænding og højtemperatur forgasning gøre dette utilgængeligt for planterne. Lavtemperatur forgasning bevarer næringsstofferne fosfor og kalium, men kvælstof mistes i processen. Biologisk konvertering af biomassen bevarer alle næringsstofferne i en form der er tilgængelig for planterne, og disse kan tilbageføres til planteproduktionen, hvis det ønskes.

I træ og halm findes kvælstof og fosfor kun i meget lave koncentrationer sammenlignet med gylle og affald. Tilbageførsel af næringsstoffer er særligt vigtig hvis biomassen indeholder høje koncentrationer af disse.

Indeholder biomassen protein eller olier af foderkvalitet vil disse blive bevaret og typisk forbedret når biomassen konverteres til ethanol. Ved forbrænding, forgasning og biogas ødelægges alle foderkomponenter.

FOTO: UFFE JØRGENSEN

Optimeret konvertering af biomasse
Det er muligt at tilpasse biomasse og konvertering til hinanden således at der udover energi også produceres fødevarer, foder og materialer. Samtidig vil man kunne tilbageføre alle næringsstofferne til de marker og skove de oprindeligt kom fra. Dette er også kendt som bioraffinering og har et stort potentiale både i forhold til økonomi og bæredygtighed. Teknologien er stadig i en opbygningsfase, men de grundlæggende processer er udviklet.

Princippet er at anvende biomassens komponenter der, hvor de gør størst nytte og derfor typisk også har størst værdi. Det vil i praksis sige, at cellulose og hemicellulose omdannes til sukre og fermenteres til brændsler og kemikalier. Lignin skal forbrændes til produktion af varme og elektricitet eller forgasses og raffineres til brændsler og materialer, og endelig skal proteiner og olier udvindes til foder og fødevarer. Når alt andet er udvundet af biomassen omdannes den resterende del til biogas sammen med affald og gylle.

Der tales i praksis om forskellige teknologiplatforme til omdannelse af biomasse; en sukkerplatform, en lignin platform og en forgasningsplatform. Et bioraffinaderi vil indeholde alle tre platforme og kombinere disse så der opnås maksimalt udbytte i forhold til energi, foder og materialer. De enkelte teknologier hertil er udviklet, men der forestår stadig meget arbejde med at opbygge og integrere dem.

Et vigtigt element ved anvendelse af ny teknologi til optimeret konvertering af biomasse er, at det vil reducere arealanvendelsen. Ved at udnytte biomassens komponenter optimalt kan der produceres flere ydelser fra det samme areal. Heri ligger der en stor og vigtig værdi i forhold til reduceret miljøbelastning og effektiv anvendelser af ressourcer.

Rammebetingelser for øget biomasseproduktion

Effektiv produktionen af biomasse fra skov- og landbrug vil sammen med ny teknologi i form af bioraffinaderier være en central og nødvendig platform for udviklingen af en grøn bioøkonomi.

Dette vil stille store krav til jordbrugets evne til på en bæredygtig og etisk acceptabel måde at øge leverancen af biomasse, uden at det påvirker forsyningen af foder og fødevarer. Det er i denne sammenhæng også et spørgsmål om dette kan lade sig gøre indenfor de gældende rammebetingelser.

Der produceres i dag omkring 20 millioner tons tørstof (biomasse) i det danske skov- og landbrug, hvor hovedparten af produktionen fra landbruget anvendes til foder og fødevarer, mens kun en mindre del anvendes til energi og industrielle formål. I skovbruget går ca. halvdelen af hugsten til gavntræ og ca. halvdelen direkte til energi.

Jordbruget er reguleret af en række miljø- og naturhensyn, der alle giver nogle rammer for jordbrugets produktionsmuligheder. De overordnede mål er at sikre kvaliteten af vandmiljøet, sikre produktionsgrundlaget og naturen. Der er derfor en række generelle restriktioner gældende for hele jordbruget i forhold til anvendelse af gødning og plantebeskyttelsesmidler (pesticider) ligesom der er forskellige restriktioner af dyrkningen af særligt følsomme eller naturmæssigt værdifulde arealer. Der vil bl.a. blive udlagt 10 meter randzoner omkring en række vandløb hvor dyrkning ikke er tilladt.

Et andet væsentligt element er restriktioner i anvendelse af husdyrgødning og krav om efterafgrøder i kornsædskifter med det formål at nedbringe næringsstofudvaskningen.

Skovbruget har færre reguleringer – men gennem Skovloven er store dele af arealet pålagt at gennemføre bæredygtig skovdrift. Anvendelse af gødning er begrænset til ganske få unge bevoksninger.

Der er derfor indenfor de eksisterende rammevilkår kun relativt få muligheder for at øge biomasseproduktionen gennem en intensivering af den nuværende produktion ved øget anvendelse af indsatsfaktorer som gødning og pesticider.

Der er derimod betragtelige muligheder for en øget produktion af biomasse gennem en omlægning af produktionssystemerne, valg af afgrøde og sort samt en differentieret arealanvendelse. En del af disse tiltag vil kunne ske indenfor de allerede eksisterende regler, mens andre vil kræve en tilpasning af reglerne i retning af en mere differentieret regulering. Der kan således være tale om en ekstensivering af de følsomme arealer mod en intensivering af de mere robuste arealer.

FOTO: VIVIAN KVIST JOHANNSEN

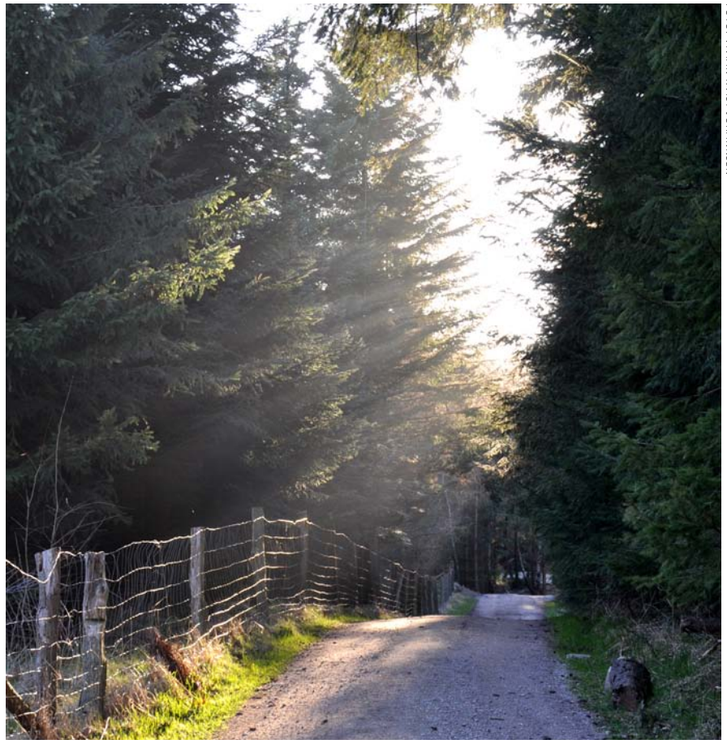


FOTO: VIVIAN KVIST JOHANNSEN

Der er et politisk ønske om at fremme et mere bæredygtigt jordbrug og samtidig øge den samlede biomasseanvendelse til energi og industrielle formål, for derigennem at fremme et mere grønt samfund og en grøn økonomi.

Grøn Vækst planen, der blev vedtaget i 2010, er et udtryk for dette ønske, hvor særligt landbruget som leverandør af grøn energi er et af elementerne.

Der kan også i løbet af de næste år forventes en række ændringer i EU's landbrugspolitik i retning af en mere grøn landbrugspolitik. Som det ser ud for nuværende er der især tale om tre elementer, der vil kunne påvirke landbrugets produktionsmuligheder:

Afgrøde diversificering. Landbrug over en vis minimumsstørrelse, skal dyrke mindst tre forskellige afgrøder. Ingen af disse tre afgrøder må dyrkes på mindre end 5 % af arealet, og hovedafgrøden må ikke dyrkes på mere end 70 % af arealet.

Opretholdelse af permanente græsarealer på bedriftsniveau: Landbrugere skal opretholde de permanente græsarealer, som de angiver i deres støtteansøgning for 2014 i årene fremover.

Miljøfokusarealer. Landbrugere skal afsætte mindst 7 % af deres landbrugsareal undtagen permanent græsareal, til miljøfokus areal, som kan omfatte brakarealer, landskabstræk og bræmmer mv. Dette skal gælde på bedriftsniveau

Skovbruget forventes ikke i samme grad påvirket af EU's politik, men skovbruget vil blive påvirket af den forventede stigende efterspørgsel på biomasse fra skove.

Vi kan fordoble biomasseproduktionen med smartere dyrkningssystemer

Der er muligheder for at hente mere biomasse ud af de eksisterende landbrugssædskifter og skove gennem forholdsvis enkle tiltag. Men der er også muligheder for at skrue helt nye bioraffinaderisædskifter sammen, som yderligere kan øge biomasseudbyttet, samtidigt med at miljøpåvirkningen reduceres (se senere afsnit).

Udnyt solen hele sommeren

Kornafgrøder udnytter ikke solens stråler i hele vækstsæsonen, da de fra juli til og med september modner, høstes, pløjes og gensås. Afgrøder, der er grønne og produktive gennem hele vækstsæsonen (f.eks. græsafgrøder og træer), har derfor et større udbyttepotentiale. Men også roer, som godt nok kommer sent i gang om foråret, formår at udnytte en meget stor del af det totale udbyttepotentiale. Hvis hele vækstsæsonens indstråling udnyttes til biomasseproduktion, vil det teoretisk være muligt at producere over 30 tons tørstof pr. hektar i Danmark. Dagens høstudbytte af tørstof i landbrugets største afgrøde, hvede er ca. 9 tons pr. hektar, når kerne og halm lægges sammen, så der er et stort potentiale for mere effektiv lagring af solens energi i biomasse.

En forbedret udnyttelse af indstrålingen vil kunne opnås ved at høste kornet før det er helt modent og lagre det i gastætte siloer. Det vil giver mulighed for at høste et større og muligvis lettere omsætteligt halmudbytte og at så efterafgrøder eller nye hovedafgrøder midt på sommere.

Fotosyntesen kan blive mere effektiv

Med et varmere klima bliver det aktuelt at udnytte afgrøder med den såkaldte C_4-fotosyntese, der under varme forhold omsætter solindstrålingen ca. 30 % mere effektivt end afgrøder med C_3-fotosyntese. Majs er i dag den eneste større landbrugsafgrøde, der udnytter denne mulighed, og majsen er meget produktiv på trods af dens forholdsvis korte vækstsæson. Elefantgræs, der dyrkes på et betydeligt areal i England, men endnu kun meget begrænset i Danmark, har en mere kuldetolerant C_4-fotosyntese end majs og kan derfor udnytte solindstrålingen over en større del af året. I en undersøgelse gennemført i USA's majsbælte, gav elefantgræs ca. 60 % større tørstofudbytte over en vækstsæson end majs. En anden mulighed for at udnytte sollyset året rundt i Danmark er at dyrke majs med C_4-fotosyntese om sommeren og en kuldetolerant C_3-afgrøde (f.eks. vinterrug) over vinter og forår.

Ved at udvikle og udnytte disse forskellige muligheder er der potentiale for, at totaludbyttet af biomasse kan fordobles (til 15-20 tons tørstof pr. hektar) i forhold til dagens udbytter i fødevare- og foderafgrøder. Og hvis bioraffinering af den fordobledede produktion, ud over energi og materialer, kan producere foderprodukter, kan den nuværende fødevareproduktion i dansk landbrug opretholdes.

FOTO: UFFE JØRGENSEN

FOTO: VIVIAN KVIST JOHANNSEN

De umiddebare muligheder

Der er også muligheder for på den korte bane at øge udbyttet fra de eksisterende produktionssystemer. De nuværende sorter af korn er alle udvalgt over mange års forædlingsindsats efter maksimalt kerneudbytte. Halm har været et biprodukt, som der samlet set var mere af, end der var afsætning for, og landmændene har ikke haft et incitament for at dyrke halmrige sorter. Flere undersøgelser viser dog, at der er mulighed for at øge halmudbyttet ved ændret sortsvalg, uden at det behøver at reducere kerneudbyttet. Hvis der er efterspørgsel efter halm og dermed gode priser, vil det være attraktivt for landmændene at skifte til halmrige sorter.

At halm ikke har været et primært produkt ved korndyrkning afspejles også i, at der ved de gængse høstmetoder efterlades en betydelig del af den producerede halm på marken. Specielt de små dele som avner og blade bjærges ikke. Ved ændringer i mejetærskernes udformning eller ved at benytte sig af totalhøst eller ribbehøst af kornet kan man øge de bjærgede halmmængder med mellem 12 og 30 %.

Forædling af skovtræer

For løvtræarterne i Danmark gælder, at der i dag benyttes et genetisk materiale, som kun sjældent er forædlet – poppel er dog undtaget. For nåletræerne har der været en forædlingsindsats på især rødgran og sitkagran, men også lærk og i mindre grad på douglasgran. Men det er en forædling, der har været fokuseret på vigtige egenskaber for gavntræproduktion som stammerethed og vedegenskaber men ikke egentlig biomasseproduktion. Der er stadig et bredt genetisk materiale til rådighed som er i afprøvning.

Sammenlignet med forædling af landbrugsafgrøder tager skovtræforædling lang tid, da træarter er adskillige år gamle før de blomstrer. Fra dansk side har man været med blandt pionererne og arbejde fra Forstbotanisk Have og senere Arboretet har været banebrydende. Der er opbygget en meget væsentlig pulje af forsøg og viden om enkelttræers produktionsevne, der kun i begrænset omfang er udnyttet. For de almindeligste nåletræarter i Danmark vurderes det, at vedproduktionen kan øges med 25-35 % ved udnyttelse af forædlet plantemateriale.

Blandt de dyrkede træer i Danmark er det særligt de indførte nåletræarter, der udviser stor produktion. En af årsagerne hertil er, at nåletræer, bortset fra lærk, ikke taber produktionsapparatet (nåle/blade) om efteråret og derfor er i stand til at udnytte solindstråling over en længere periode end løvtræer og de fleste landbrugsafgrøder.

De tre scenarier

I analyserne sammenligner vi tre scenarier for øget biomasseproduktion og udnyttelse i år 2020 med udnyttelsen og den samlede arealanvendelse som den var i år 2009. I business-as-usual scenariet antages en øget udnyttelse af den allerede tilgængelige biomasse i f.eks. halm, gylle og rapsolie, men der gennemføres ingen tekniske optimeringer af høstteknik, sorts- eller artsvalg.

I det biomasseoptimerede scenario gennemføres en række optimeringer for at øge biomassemængden, og i det miljøoptimerede gennemføres yderligere en række tiltag for at fremme bæredygtigheden i form af f.eks. reduceret nitratudvaskning, øget lagring af kulstof i jord og øget biodiversitet.

En kortfattet oversigt over indholdet i de enkelte scenarier ses herunder. I ingen tilfælde indregnes hele ressourcen af biprodukter (halm, gylle, enggræs og vejkanter), idet der er anslået en maksimal teknisk udnyttelse ofte på 70-80 % af den samlede ressource. For detaljer om de anvendte forudsætninger henvises til baggrundsnotater.

Business-As-Usual (BAU)

- Ingen ændringer i arts- og sortsvalg eller høstteknologi, men restbiomasse (halm, gylle og enggræs) udnyttes.
- Historisk stigning i udbytte, fodereffektivitet, arealudtag og økologisk jordbrug indregnes (svarende til Klimakommissionens forudsætninger). Fremtidig ændring i EUs landbrugspolitik indregnes ikke.
- Eksport og import af korn, soja o.a. indregnes ikke i biomassegrundlaget.
- Eksisterende tilplantning med flerårige energiafgrøder fremskrives.
- 1.900 ha årlig skovrejsning.
- Artssammensætning som det nuværende skovareal.
- Øget mobilisering af skovbiomasse, men hugst mindre end tilvækst.

Biomasseoptimeret (Biomasse)

- Omlægning til kornsorter med 15 % mere halm.
- Øget halmopsamling (15 %) ved ændret høstteknologi.
- Raps på planteavlsbedrifter lægges om til roer (tørstofudbytte 14 t rod + 5 t top).
- Lavbundsarealer uden gødningsaftaler gødskes til maksimering af græsudbytte.
- Samme kornareal som omlægges i miljøscenariet (ca. 149.000 ha) lægges om til roer.
- Vejrabatter, grødeskæring og efterafgrøder udnyttes (efterafgrødeareal fremskrevet som følge af Grøn Vækst og krav i forbindelse med husdyrgodkendelser).
- 1.900 ha årlig skovrejsning.
- Udstrakt brug af hurtigt voksende træarter som ammetræer og indblanding i skovkulturer og ved skovrejsning.

FOTO: UFFE JØRGENSEN

- Forædlingsgevinst for træer udnyttes.
- Nåleskov forynges med nåleskov, og løvskov forynges med 50/50 løv- og nåleskov.
- Stærkt øget mobilisering af skovbiomasse omtrent af samme størrelse som tilvækst.

Miljøoptimeret (Miljø)

Som biomasseoptimeret, men:

- Ingen halmfjernelse i områder med kritisk lavt kulstofindhold i jorden.
- Øget efterafgrødeareal (81.000 ha).
- Flerårige energiafgrøder i stedet for roer (frem til 2020 forventes udbyttet at blive ca. 15 t/ha med en forventning om senere at nå roers udbytte).
- Ingen korn i områder med nitratretention under 35 % - i stedet flerårige energiafgrøder.
- Lavbundsarealer gødskes ikke (dog evt. med K).
- 4.500 ha årlig skovrejsning.
- Forædlingsgevinst for træer udnyttes
- 47.000 ha løvskov, der er mere end 100 år gammel udlægges som urørt.
- Løvskov forynges med løvskov og nåleskov forynges med 50/50 løv- og nåleskov
- Hugst væsentlig mindre end tilvækst.

Grundlag for beregningerne.

Data for dansk landbrugs arealanvendelse, udbytter, husdyrgødningsproduktion m.m. er indhentet fra en række databaser: Det Generelle LandbrugsRegister (GLR), Centralt HusdyrbrugsRegister (CHR), Statistikbanken, DJF-geodata, oplysninger fra gødningsregnskab, ansøgning om enkeltbetaling fra Fødevareministeriet; GIS-kort over veje, vandløb, by- og skovområder, markblokkort, kort over forskellige lokaliteters evne til at tilbageholde kvælstof (retention), samt kort over forholdet mellem ler og kulstofindhold i jord (Dexterindeks). Disse data er samlet i en regnearksmodel og danner udgangspunktet for fremskrivning af potentiel biomasseudnyttelse i 2020 i de tre scenarier.

FOTO: PALLE MADSEN

For så vidt angår skovbiomasse er de væsentligste elementer omfanget af skovrejsning og udlæg af urørt skov, artsvalg og kulturmetoder, samt mobilisering af træbiomasse. Scenarierne bygger på data fra Danmarks Skovstatistik (NFI), vækstmodeller og på generelle sortimentsfordelinger der afspejler biomasseudnyttelsen.

De netop vedtagne randzoner på ca. 50.000 ha er ikke specifikt indregnet i scenarierne, da vi ikke har viden om, hvilke arealer de vil fortrænge. I en del tilfælde vil det dog være vedvarende græs. I scenarierne har vi indregnet høst af ca. 70.000 ha vedvarende græs på lavbund. I miljøscenariet er det forudsat, at gødskning af græsarealerne ophører, således som det kræves for randzonearealet. Det antages derfor, at randzonearealet mere eller mindre kan indeholdes i tiltaget »høst af vedvarende græs på lavbund«. Randzonernes miljømæssige effekt vil også være bedst, hvis de høstes, så der sikres en næringsstoffjernelse.

10 millioner tons ekstra biomasse kan nås

Scenarierne viser (figur 5), at der ved at udnytte mere af den eksisterende biomasseproduktion (BAU) kan findes ca. 4 millioner tons tørstof årligt, ud over de ca. 4 mio. tons der udnyttes i dag i skov- og landbrug. Ved at gennemføre en række optimeringer vil det formentlig være muligt at øge biomasseleverancen med yderligere 6 millioner tons tørstof (Biomasse). Ved at indtænke hensyn til reduceret nitratudvaskning, kulstof i jord og biodiversitet i en øget biomasseudnyttelse (Miljø) vil i alt kunne produceres godt 11 millioner tons tørstof. Langt den største del af det yderligere biomassepotentiale findes i landbruget.

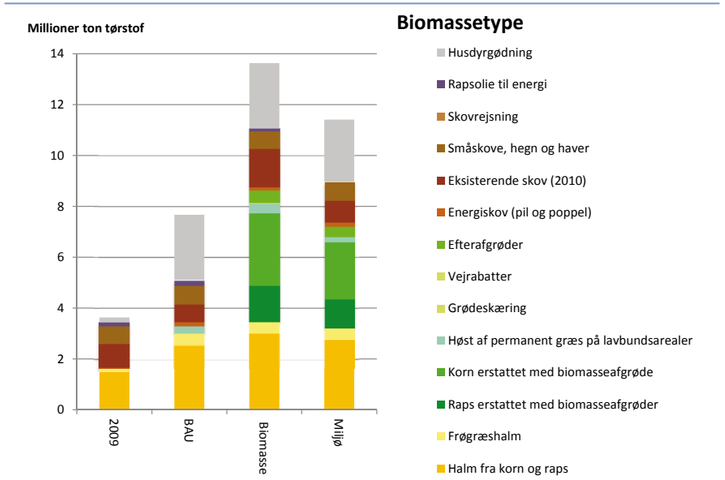
For landbrugsdelens vedkommende vil den ekstra biomasse kunne fremskaffes ved en forbedret bjergningsteknik for halm, et ændret sortsvalg i retning af mere halmrige sorter og endelig ændrede dyrkningssystemer. De to første tiltag vil kunne iværksættes indenfor en 5 års periode, mens en overgang til nye dyrkningssystemer i storskala næppe kan forventes implementeret inden 2020.

Scenarierne for skovbruget viser, at der i BAU scenariet i 2020 kan findes ca. 0,8 millioner tons tørstof svarende nogenlunde til det, der udnyttes i dag. Ved at gennemføre en række optimeringer (Biomasse) vil det formentlig være muligt at øge biomasseleverancen fra skovbruget med yderligere med 0,75 millioner tons tørstof. Væsentligst er en øget mobilisering og en aktiv brug af andre træarter og nye dyrkningssystemer. I det miljøoptimerede scenarie er biomasse potentialet i 2020 ca. 0,15 millioner tons højere end i BAU scenariet primært på grund af øget skovrejsning.

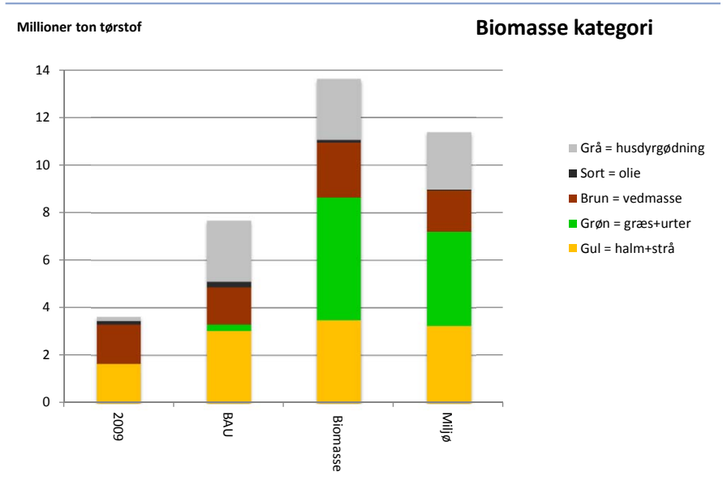
Biomassetyperne kan samles i fem større kategorier, der egner sig til forskellige energiteknologier (fig. 6). I dag repræsenterer gul biomasse i form af halm fra korn, raps og frøgræs den største biomasseudnyttelse fra landbruget. Halmen afbrændes primært, men en mindre mængde udnyttes til bioraffinering i en biologisk proces. Udnyttelsen af gul biomasse kan øges yderligere, og med forholdsvis enkle tiltag i form af ændret sortsvalg og optimeret halmhøst vil denne kategori samlet set kunne bidrage med 100 % mere end i dag.

Størst potentiale findes dog i den grønne biomasse (græs, roer o.l.) med højt vandindhold egnet til biologisk omsætning. Fuld udnyttelse af dette potentiale vil kræve ændringer i afgrødevalget i landbruget, udvikling af høst og lagringsteknikker til store mængder grøn biomasse samt af effektive konverteringsteknikker. En stor del af den grønne biomasse kan ved ændret afgrødevalg skifte til brun kategori (hvis der plantes pil, poppel eller andre vedplanter), som egner sig bedre til termokemisk omsætning. Eller der kan plantes kraftige flerårige græsser (f.eks. elefantgræs), der enten kan høstes grønne om efteråret eller tørre om foråret (gul kategori). Endelig er der et betydeligt potentiale i husdyrgødning (grå kategori), der formentlig bedst egner sig til biogas.

I dette arbejde er der på nær for vejgrøfter ikke opstillet scenarier for udviklingen i produktion af affaldsbiomasse og biomasse fra andre arealer end landbrug og skovbrug. Den nuværende produktion af træbiomasse fra hegn og haver på anslået 0,7 millioner tons tørstof forudsættes også til stede i 2020. Miljøstyrelsen forventer, at affaldsmængden stiger fra 13,9 millioner tons i 2009 til ca. 15 millioner tons i 2020 og topper omkring 2040 med ca. 17.5 millioner tons. Selvom disse tal ikke indeholder opdeling på affaldsfraktioner må det forventes, at der vil være mere affaldsbiomasse til rådighed for bioraffinaderier i fremtiden.



Figur 5. Beregnet totalt biomassepotentiale i land- og skovbrug i de tre scenarier for 2020 samt udnyttelsen til energi i 2009.



Figur 6. Biomassekategorier i scenarierne og i 2009. Gul biomasse er halm og strå. Grøn biomasse er græs og roer. Brun biomasse er træ. Grå biomasse er husdyrgødning. Olie er rapsolie.

FOTO: UFFE JØRGENSEN

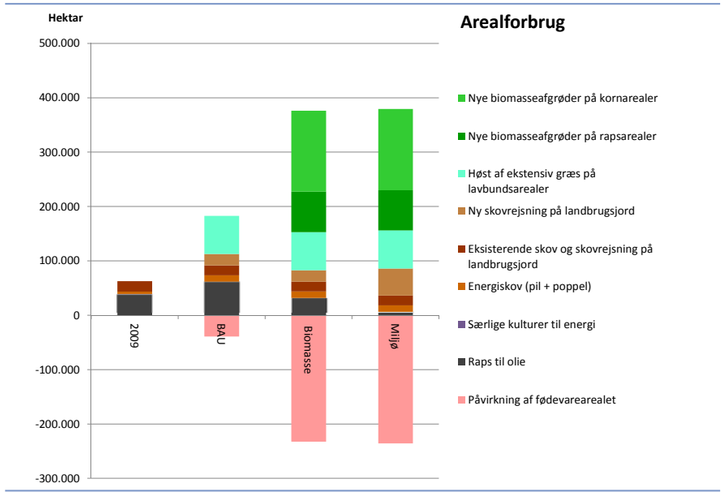
Ændret arealanvendelse

Scenarierne vil påvirke arealanvendelsen af de godt 2,7 millioner ha, der er i landbruget i dag (Fig. 7). I 2020 forventes der at være knapt 2,6 millioner ha landbrugsjord tilbage, idet der løbende overgår jord til veje, byggeri og skovrejsning. I 2009 udnyttedes ca. 0,04 millioner ha til bioenergiproduktion, primært i form af rapsolie til biodiesel (vi har regnet med at 40 % af rapsarealet anvendes til decideret bioenergiproduktion, idet ca. 60 % af udbyttet er rapskage, der bruges som foder). I biomasse- og miljøscenariet øges arealet til decideret produktion til energiværker og bioraffinaderier til knapt 0,4 millioner ha. Det vil betyde, at arealet til fødevareproduktion vil blive reduceret med godt 0,2 millioner ha, efter at en forventet øget produktivitet på det resterende areal er indregnet. En del af det mistede areal til fødevareproduktion, nemlig ca. 0,07 millioner ha vedvarende græs på lavbundsjord, er dog i dag ret ekstensivt udnyttet.

Det vil til gengæld være muligt at producere foder i bioraffinaderierne, som kan erstatte noget af det korn, der i dag produceres til foderbrug i dansk landbrug. Hvis f.eks. realistisk 10 % af tørstoffet i den gule og grønne biomasse omsættes til foder, vil både i biomasse- og miljøscenariet opnås en lidt større foderproduktion, end der mistes fra det reducerede korn- og rapsareal.

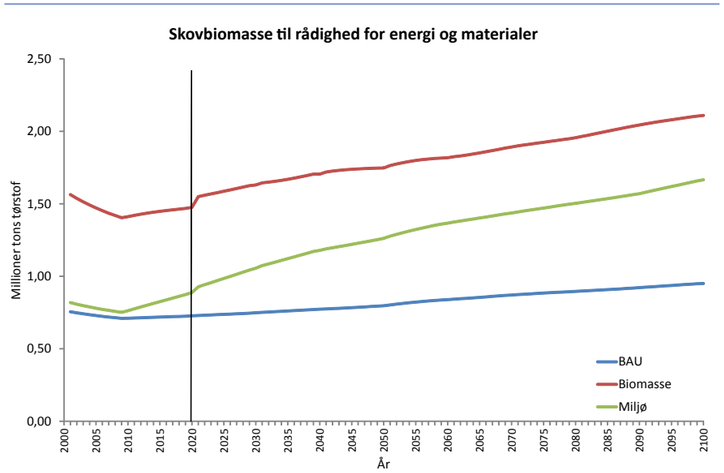
Kendetegnende for skovscenarierne er den langsomme omstilling til nye produktionsmål. Med et længere tidsperspektiv vil biomassescenariet kunne producere 2,1 millioner tons tørstof i 2100, mens miljøscenariet kunne producere 1,7 millioner tons og BAU 0,95 millioner tons (figur 8).

FOTO: HENNING JØRGENSEN



Figur 7. Arealforbrug til decideret produktion af biomasse i dansk landbrug i 2009 og i tre scenarier for 2020. Tillige er angivet nettoeffekten på det fødevareareal, der skal til for at levere samme produktion af foder og fødevarer som i 2009.

FOTO: PALLE MADSEN



Figur 8. Udviklingen i mængden af skovbiomasse til rådighed for bioraffinaderier fra 2000 til 2100 i de tre scenarier.

Hvad vil øget biomasseudnyttelse betyde for miljøet?

Produktion og udnyttelse af biomasse til bioraffinaderier er kontroversielt, fordi det spiller sammen med produktionen af tømmer og fødevarer samt med natur, miljø og landskab. Ofte antages det, at biomasseudnyttelse har negativ indflydelse på miljø, natur og landskab – og der er da også eksempler på biomasseproduktion med negative konsekvenser. Biomasseproduktion kan på den anden side også bidrage med positive effekter på miljø og natur. Der er dog behov for mere viden om effekterne samt for politisk styring, der sikrer at de på langt sigt kloge løsninger vælges frem for de på kort sigt nemmeste. At der kan være god driftsøkonomi i at vælge løsninger, som ikke bidrager med samfundsmæssige værdier i form af forbedret miljø skyldes, at effekterne på miljøet i de færreste tilfælde inkluderes i prisen på produkterne.

Nitratudvaskning

Reduceret udvaskning af nitrat fra landbrugsarealerne er et eksempel på, hvordan miljøet kan forbedres ved at øge udnyttelsen af biomasse. Reduceret nitratudvaskning er et højt fokuseret indsatsområde i dansk og europæisk miljøpolitik, som er blevet adresseret i flere nationale vandmiljøplaner og nu i Vandrammedirektivet. Vi har beregnet, at gennemførslen af de tre scenarier for øget biomasseudnyttelse i landbruget kan reducere nitratudvaskningen fra afgrøderne med mellem 7 og 23.000 tons kvælstof årligt (tabel 2). Det kan sammenlignes med, at den samlede nitratudvaskning fra dansk landbrug er beregnet til at være ca. 157.000 ton i 2007. Til opfyldelse af Vandrammedirektivet mangler stadig virkemidler til at opfylde godt halvdelen af kvælstofmålsætningen, og gennemførsel af miljøscenariet vil omtrent levere den nødvendige reduktion. I BAU- og biomassescenarierne er det udnyttelsen af tørstof fra husdyrgødning, der bidrager mest til den samlede reduktion af nitratudvaskningen. Men i miljøscenariet opnås den største andel af udvaskningsreduktionen ved omlægningen til mere miljøvenlige dyrkningssystemer (flerårige afgrøder, flere efterafgrøder, øget skovrejsning).

Valg og fravalg er vigtige

Der er mange andre miljøeffekter tilknyttet landbrugsproduktion, og effekterne af at øge biomasseudnyttelsen kan trække i flere retninger. F.eks. vil udnyttelse af kulstoffet i husdyrgødning og halm til energi og materialer betyde at mindre kulstof tilbageføres til jorden. Omvendt vil omlægning af raps eller korn til flerårige biomasseafgrøder øge lagringen af kulstof i jorden, bl.a. fordi jorden ikke længere pløjes hvert år. Pesticidforbruget er højt i roer og raps, men lavt i græsser og andre flerårige biomasseafgrøder. Ved skovrejsning bruges stort set ikke pesticider. Tab af fosfor til vandmiljøet sker primært ved partikelbåret transport som følge af erosion. På risikoarealer for fosforerosion anbefales derfor generelt brug af flerårige afgrøder, som bedst beskytter jordoverfladen. Det er altså meget vigtigt at vi foretager valg og fravalg af biomasseudnyttelser for at sikre en samlet set positiv effekt på miljøet.

FOTO: UFFE JØRGENSEN

Biodiversitet

Biodiversitet eller naturindhold er meget brede begreber og derfor svære at beskrive entydige effekter på. Oftest vil produktionsarealer dog have en lavere diversitet end naturarealer, hvis disse da ikke er overbelastede med næringsstoffer, som det er tilfældet for mange af vores engarealer og vejgrøfter i dag. Høst af ca. 70.000 ha vedvarende græsarealer på lavbundsjord og 7.000 ha vejgrøfter i biomasse- og miljøscenariet vil fjerne næringsstoffer og kan derfor bidrage til øget biodiversitet. Etablering af flerårige biomasseafgrøder i stedet for noget af det nuværende raps- og kornareal i miljøscenariet kan bidrage til en øget biodiversitet på landskabsniveau, da nogle arter (f.eks. regnorme) foretrækker arealer, der ikke forstyrres hvert år. Mere sjældne plante- og dyrearter findes primært i deciderede naturområder, herunder på nogle af de enge, hvorfra der fjernes næringsstoffer ved biomassehøst.

FOTO: THOMAS NORD-LARSEN

Uden menneskelig indgriben ville Danmark stort set være dækket af skov, og en stor del af den truede biodiversitet er tilknyttet skov, og særligt gammel skov. Mængden og sammensætningen af skov har således stor betydning for biodiversiteten. De hjemmehørende træarter (f.eks. bøg, eg, ask, skovfyr og taks) er generelt bedre til at tilgodese biodiversitet end de indførte arter (f.eks. ahorn, rødgran, sitkagran og douglasgran).

I miljøscenariet udlægges 47.000 ha gammel løvskov urørt. Dette vil have en positiv effekt på biodiversiteten i skov. Derudover accelereres skovrejsning fra de nuværende ca. 1.900 har om året til 4.500 ha om året. Dette vil på kort sigt være gavnligt for kvælstofudvaskning (se tabel 2) og jordbundsfauna, og på længere sigt også for biodiversiteten generelt.

Biomassescenariet forudsætter en oppriortering af nåletræ på bekostning af løvtræ. En sådan udvikling af skovenes artssammensætning vil alt andet lige være negativt for biodiversiteten.

Tabel 2. Overslag over scenariernes effekter på udvaskningen af nitrat fra landbrugsarealet (ton N årligt).

Biomassetype	BAU	Biomasse	Miljø
Husdyrgødning	-5.752	-5.752	-5.487
Energiskov (pil og poppel)	-248	-248	-248
Omlægning af rapsarealer til biomasseafgrøder		-3.142	-6.085
Omlægning af kornarealer til biomasseafgrøder		775	-5.040
Skovrejsning	-847	-847	-2.005
Efterafgrøder			-4.212
I alt	-6.846	-9.214	-23.077

Indirekte Land-Use-Change

Én sag er direkte effekter på miljø og natur i Danmark, men indirekte effekter i andre lande diskuteres også meget. Hvis mindre fødevareproduktion i Danmark betyder, at naturarealer i andre verdensdele lægges under plov, kan den samlede effekt på

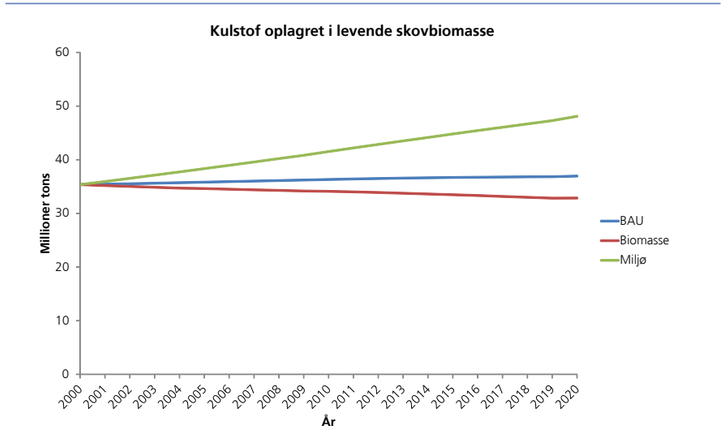
drivhusgasemission, miljø og natur blive negativ. Men hvis det kan lykkes os at dyrke bioraffinaderiafgrøder med et dobbelt så stort udbytte som i vores korn og rapsafgrøder i dag, og producere en andel foder eller fødevarer i bioraffinaderierne, behøver produktionen af energi og materialer ikke at medføre en reduktion i fødevareproduktionen.

Et andet eksempel er anvendelsen af hvedehalm til bioethanol, foder og fast brændsel. Foderandelen, som kan fremstilles ud fra halmens hemicellulose, vil give en ekstra foderproduktion i størrelsesordenen 10-20 %, som skal lægges oveni det foder, der fås fra kernerne. Derved skal der bruges mindre areal til at producere den samme mængde foder samtidig med, at der produceres energi i form af flydende og faste brændsler.

Lagre eller fortrænge kulstof?

Skoven adskiller sig fra landbrug ved dens evne til at oplagre store mængder kulstof i den levende biomasse. Den gennemsnitlige vedmasse i danske skove er 199 kubikmeter træ pr. ha, svarende til 68 tons kulstof pr. ha. I forhold til det europæiske gennemsnit på 107 kubikmeter træ pr. ha er der meget biomasse i danske skove, men der er mulighed for at oplagre mere. Det er relativt nemt at øge lageret af kulstof i skovene ved at indstille hugsten og udnyttelsen af skovene, men oplagringen reducerer på den anden side mængden af fossile brændsler og materialer som træet ellers vil kunne fortrænge. På længere sigt vil skovene dog nå en ny ligevægt og derefter ikke længere være i stand til at binde mere kulstof. Hvornår ligevægten opstår og på hvilket niveau vides ikke præcist.

Miljøscenariet forudsætter dels øget skovrejsning, dels reduceret udnyttelse af skovene, og rummer et betydeligt potentiale for at oplagre mere kulstof i den levende biomasse. Det estimeres, at i 2020 vil miljøscenariet medføre, at der oplagres 48 millioner tons kulstof i levende skovbiomasse mod 33 millioner tons i biomassescenariet. Det årlige biomassepotentiale i miljøscenariet er dog tilsvarende lavere, 0,89 millioner tons tørstof i 2020 mod 1,47 millioner tons fra biomassescenariet.



Figur 9. Mængden af kulstof oplagret i levende skovbiomasse i de tre scenarier.

FOTO: PALLE MADSEN

Vurdering af effekter på økonomi og beskæftigelse

En forøgelse af biomasseproduktionen fra jordbruget og skovbruget samt en inddragelse af hidtil uudnyttet biomasse til bioraffinering vil kunne have konsekvenser for økonomi og beskæftigelse. Der vil være tale om såvel direkte effekter i umiddelbart berørte sektorer som jordbrug, skovbrug og bioraffinaderier, men der kan også være tale om afledte effekter gennem disse sektorers efterspørgsel efter råvarer og andre inputs fra andre industrier.

Der er gennemført økonomiske vurderinger for de tre alternative scenarier for udviklingen af en biomasse-sektor i Danmark: *BAU*, *biomasse* og *miljø*.

Der er opereret med fire kilder til fremskaffelse af biomasse:

- omlægning af den egentlige planteproduktion, f.eks. omlægning af afgrødesammensætning, efterafgrøder mv.
- indsamling af eksterne biomasseressourcer (vejrabatter, grødeskæring osv.) .
- biomasse i husdyrgødning.
- øget produktion af biomasse fra skovbruget.

De økonomiske effekter for landbruget af en omlagt planteproduktion er beregnet ved hjælp af Fødevareøkonomisk Instituts landbrugssektormodel ESMERALDA, hvor der også tages hensyn til tilpasningen af den del af planteproduktionen, som ikke anvendes til bioraffinering. Omkostninger til høst af ekstern biomasse er estimeret på grundlag af omkostningerne til drift af vedvarende græsarealer, og for biomasse i husdyrgødning er der regnet med en fast omkostning pr. ton tørstof til bl.a. transport. Omkostningerne for skovbrug er baseret på bl.a. afsætningsprisen for træflis.

Produktionsomkostninger i de primære erhverv

I nedenstående tabel 3 er vist de foreløbige beregningsresultater for de ekstra omkostninger i tre scenarier i landbrug og skovbrug. Resultaterne skal fortolkes som summen af omkostninger til gødning, pesticider, energi, tjenesteydelser, maskiner og arbejdskraft (inklusiv brugerens egen arbejdsindsats) i de relevante driftsgrene (fortrinsvis raps, sukkerroer, energipil, vedvarende græs og korn).

De samlede ekstra produktionsomkostninger for landbrug og skovbrug beløber sig til mellem 3,5 og 5,7 mia. kr. årligt, afhængig af det valgte scenarie. Beregningerne viser, at omkostningerne til høst af hidtil uudnyttede biomasseressourcer (ekstern biomasse), som f.eks. høst af permanente græsarealer i lavbundarealer og vejrabatter, grødeskæring mv. udgør en stor del af omkostningerne i alle tre scenarier. I biomassescenariet forudsættes der en betydelig omlægning af korn- og rapsarealer til sukkerroer, hvor omkostningerne pr. hektar er noget større end for korn, mens der i det miljøoptimerede scenario sker en betydelig omlægning til energipil, hvor omkostningsniveauet pr hektar er en smule lavere end for korn.

Tabel 3. Omkostninger til produktion af biomasse i de primære sektorer

Mia. kr.	BAU	Biomasse	Miljø
Omlægning af landbrugets afgrødeproduktion	0,03	0,86	-0,58
Ekstern biomasse	3,08	3,76	3,20
Husdyrgødning	0,51	0,51	0,49
Øget biomasse fra skovbruget	0,38	0,77	0,46
Produktionsomkostninger i alt	4,00	5,70	3,57

Samfundsøkonomiske konsekvenser

De afledte effekter af de tre scenarier på den øvrige økonomi er analyseret ved hjælp af en såkaldt input-output model for dansk økonomi, hvor det antages at:

- Der er ledig kapacitet i den øvrige økonomi, således at bioraffineringssektorens efterspørgsel ikke har effekt har på inputpriserne, herunder løndannelsen.
- Beregningerne måler den isolerede effekt af en øget biomasseproduktion og -raffinering, dvs. der antages ikke at fortrænges anden produktion.
- Der er set bort fra indkomstdannelsen i selve bioraffineringssektoren i analysen på grund af utilstrækkelige data vedrørende økonomien (navnlig arbejdskraft- og kapitalforbrug) i bioraffinering.

Udover omkostninger til selve biomassen forbruger bioraffineringssektoren også en række andre råvarer og halvfabrikata og tjenesteydelser, herunder enzymer og vand, energi og transportydelser. Bioraffineringssektorens omkostninger til raffinering af biomassen er anslået på baggrund af en rapport fra Bloomberg (i 2012) og af Larsen et al. (2008), justeret bl.a. for produktivitetsudviklingen ved fremstilling af enzymer. Omkostningerne er således beregnet med udgangspunkt i en ethanol teknologi og antages at være dækkende for fremtidige anlæg, hvor der bl.a. også produceres diesel og naturgas ækvivalenter. Bioraffinaderiernes omkostninger til råvarer, halvfabrikata og tjenesteydelser er således opgjort til mellem 8,5 mia. kr. (for BAU-scenariet) og 16 mia. kr. (for biomassescenariet) årligt, mens det for det miljøoptimerede scenario er i størrelsesordenen 11-12 mia. kr., hvoraf ca. 90 % kommer fra indenlandske leverancer.

En fremtidig raffinering af den i de tre scenarier specificerede biomasse vil afføde en produktion i den øvrige økonomi på mellem godt 14 og knap 26 mia. kr., hvis vi ser bort fra evt. fortrængning af eksisterende produktion, som f.eks. at noget af den eksisterende fossilt baserede produktion ville falde bort til fordel for en øget eksport af råolie.

Bioraffinaderiernes efterspørgsel genererer ud over produktion også en afledt beskæftigelse. Som det fremgår af tabel 5, vurderes 13.000 og knap 22.500 personer i de tre scenarier, heraf mellem ca. en tredjedel og halvdelen i landbrug, fiskeri og råstofindvinding (inklusiv skovbrug).

Tabel 4. Afledt produktion, mia. kr.

Sektor	BAU	Biomasse	Miljø
Landbrug, fiskeri og råstofudvinding	5,07	7,74	4,83
Industri	3,38	6,55	4,84
Energi- og vandforsyning	1,42	3,07	2,38
Bygge og anlæg	0,63	1,35	1,03
Handel, hotel og restauration	0,68	1,18	0,82
Transport, post og tele	1,06	2,22	1,69
Finansiering og forretningsservice	1,61	2,87	2,01
Offentlige og personlige tjenester	0,15	0,26	0,17
Foreninger, kultur og renovation	0,11	0,21	0,15
I alt	14,11	25,45	17,92

FOTO: UFFE JØRGENSEN

Bioraffinaderiernes inputefterspørgsel fører endvidere til en afledt indkomstskabelse i den øvrige økonomi. Af tabel 6 fremgår det, at de tre scenarier vil føre til en afledt bruttofaktorindkomst på mellem 5,9 og 10,9 mia. kr. Som for beskæftigelsen skabes den største indkomst også her i landbrug, fiskeri og råstofudvinding. Dog er det relative bidrag noget mindre end det der er gældende for beskæftigelsen.

De samfundsøkonomiske beregninger medtager ikke de tilpasninger, der vil ske i den øvrige økonomi. Disse tilpasninger kan f.eks.

evalueres ved inddragelse af mere avancerede økonomiske modelværktøjer, som f.eks. generelle ligevægtsmodeller, hvor bioraffinaderier inkluderes på lige fod med andre sektorer i den danske økonomi. Dette vil dog kræve et mere præcist datamateriale vedrørende produktionsteknologien og markedet for raffinerede produkter end det har været muligt at opstille i forbindelse med nærværende analyse.

Som nævnt viser resultaterne de isolerede effekter af en fremtidig bioraffineringssektor i Danmark. F.eks. kan det tænkes, at biobaserede produkter vil fortrænge produktion af fossilt baserede produkter. Resultaterne kan således opfattes som bruttostørrelser.

Da det ikke har været muligt at fremskaffe troværdige data for kapital- og arbejdskraftsbenyttelse har det ikke været muligt at inkludere beskæftigelse og indkomstskabelsen fra selve bioraffinaderisektoren. Derfor har det heller ikke været muligt at analysere rentabiliteten af en fremtidig bioraffinaderisektor samt dens afhængighed af afsætningspriser og eventuelle subsidier.

Tabel 5. afledt beskæftigelse, antal personer.

Sektor	BAU	Biomasse	Miljøoptimeret
Landbrug, fiskeri og råstofudvinding	5.978	8.897	5.448
Industri	1.842	3.558	2.623
Energi- og vandforsyning	399	857	663
Bygge og anlæg	421	863	653
Handel, hotel og restauration	823	1.455	1.020
Transport, post og tele	879	1.842	1.401
Finansiering og forretningsservice	1.607	2.865	2.016
Offentlige og personlige tjenester	246	420	276
Foreninger, kultur og renovation	112	208	149
I alt	12.306	20.965	14.249

Tabel 6. Bruttofaktorindkomst, mia. kr.

Sektor	BAU	Biomasse	Miljøoptimeret
Landbrug, fiskeri og råstofudvinding	2,04	3,24	2,06
Industri	1,09	2,16	1,62
Energi- og vandforsyning	0,80	1,74	1,35
Bygge og anlæg	0,19	0,40	0,30
Handel, hotel og restauration	0,33	0,57	0,40
Transport, post og tele	0,43	0,61	0,69
Finansiering og forretningsservice	0,88	1,56	1,09
Offentlige og personlige tjenester	0,10	0,18	0,12
Foreninger, kultur og renovation	0,06	0,11	0,08
I alt	5,92	10,87	7,71

Kan samfundet acceptere en sådan udvikling?

Der en række etiske diskussioner især knyttet til brugen og produktionen af bioenergi som ofte kommer til at tage sig ud som forsimplede diskussioner mellem 'for' og 'imod'.

Det er derfor vigtigt at få dannet et mere nuanceret billede af, hvad disse diskussioner egentlig drejer sig om, så det bliver muligt at arbejde mere reflekteret og gennemskueligt med anvendelse af biomasse til energi og industrielle anvendelser.

Det Etiske Råd har i sin redegørelse fra maj 2012 om bioenergi, fødevarer og etik, taget udgangspunkt i fire kriser/udfordringer: energi-, fødevare-, klima- og natur- og miljøkriser og påvirkningen af disse ud fra bl.a. et overordnet men ikke specificeret princip om ikke at skade miljøet[1]. Denne tilgang medfører i forhold til en øget produktion af biomasse til energi følgende overvejelser fra Rådet:

- En øget hjemlig produktion af biomasse kan være etisk acceptabelt,
  - hvis omfanget i den globale fødevareproduktion opretholdes og/eller fødevarepriserne ikke stiger (med indvendingen: ikke nogen sikkerhed for dansk fødevareproduktion kommer verdens sultende til gode)
  - hvis forbruget af animalske produkter nedbringes, og der kan skaffes yderligere arealer (med indvendingen: hovedparten af dansk husdyrproduktion går til eksport/ hvis dele af husdyrproduktionen flyttes til andre lande, kan det gå ud over hensyn til dyrevelfærd, natur og miljø)
  - måske, med brug af nye grønne teknologier (herunder genmodificering til at skaffe større udbytte)
- Det er ikke etisk acceptabelt,
  - hvis der er tale om afgrøder, der vil konkurrere med fødevareproduktion, eller hvis der er tale om at sætte en truet natur yderligere under pres, eller hvis det går ud over jordens langsigtede frugtbarhed (i form af fjernelse af kulstof i form af halm)
  - da øget produktion ikke er svaret, men der derimod bør fokuseres på at nedsætte forbruget.

Som det fremgår, finder etisk råd at en dansk anvendelse af dansk produceret biomasse må betragtes som etisk forsvarligt så længe der er tale om en bæredygtig produktion.

[1] Det Etiske Råd 2012. Redegørelse om bioenergi, fødevarer og etik i en globaliseret verden. www.etiskraad.dk

FOTO: UFFE JØRGENSEN

Virkemidler for at nå målet

Der er identificeret en række temaer, der vil være nødvendige for at kunne understøtte en øget leverance af biomasse ud fra de her skitserede måder.

Forskningsbehov 10 millioner tons plan
Som et led i arbejdet med + 10 millioner tons planen er der identificeret en række forskningsområder/temaer der samlet set vil kunne understøtte målet om at øge leverancen af biomasse med 10 millioner tons fra dansk skov- og landbrug til en bioenergi- og bioraffinaderi sektor.

Forsknings- og udviklingsprogrammet vil kunne medvirke til at sikre mulighederne for at der kan fremskaffes 10 millioner tons ekstra biomasse fra skov- og landbrug indenfor en rimelig tidshorisont til anvendelse i en bioenergi og bioraffineringssektor. Et forsknings- og udviklingsprogram kan naturligvis ikke stå alene man skal understøttes af pilot og demonstrationsfaciliteter således at resultaterne kan afprøves i fuldskala lignende leveringskæder hvor der samtidig kan afprøves forskellige organisatoriske modeller.

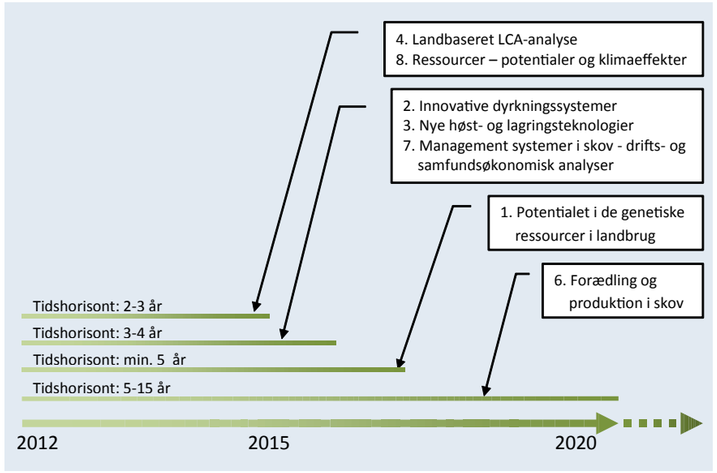
En række af de afgrøder/biomasser der udgør grundlaget for +10 millioner tons planen er ikke traditionelle salgsafgrøder og der skal derfor sikres markedsorienterede samarbejdsformer der gør at producent (jordbruget) og aftager (bioraffinaderisektoren) sikres både afsætning og råvarer. Det må her forventes at dette bedst kan sikres gennem længerevarende kontraktlige relationer.

Hverken industrien eller jordbruget vil dog gå ind i en så væsentlig omlægning af produktionen og opbygningen af bioraffinaderier uden der er sikret et marked for de bioraffinerede produkter.

For landbrugets vedkommende vil den ekstra biomasse kunne fremskaffes ved en forbedret bjergningsteknik for halm, et ændret sortsvalg i retning af mere halmrige sorter og endelig ændrede dyrkningssystemer. De to første tiltag vil kunne iværksættes indenfor en 5 års periode, mens en overgang til nye dyrkningssystemer i storskala næppe kan forventes implementeret inden 2020.

For skovbrugets vedkommende vil en øget mobilisering af biomasse kunne iværksættes indenfor en kort tidshorisont, mens forædling og tilplantning med andre træarter i sagens natur har et længere forløb.

Der er brug en politisk strategi der opstiller nogle klare mål for udviklingen af en biobaseret økonomi og en koordineret anvendelse af tilskud og støtteordninger i fornødent omfang for at sikre udviklingen



Figur 10. Tidslinje for iværksættelse og implementering af forskningsaktiviteter og resultater, der er nødvendige for at sikre at målene i 10 millioner tons planen kan nås til tiden og på bæredygtig vis.

FOTO: UFFE JØRGENSEN

Forpligtigende private offentlige partnerskaber (POP) vil være et redskab til at fremme denne udvikling. Biorefinery Alliance er her et godt eksempel på et partnerskab, hvis formål er at fremme en grøn omstilling

Nedenfor er skitseret væsentlige områder og emner som bør indgå i kommende forsknings og udviklingsaktiviteter. Disse kan evt. kombineres i et eller flere tværgående initiativer. Det er dog vigtigt at der sikres mulighed for i tilstrækkelig grad at forstå og udvikle de basale sammenhænge i biomasseproduktionen for efterfølgende at kunne anvende disse til at forbedre miljø som produktivitet. Den optimale tidsmæssige sammenhæng og koordinering af de enkelte forskningsbehov er vist i figur 10. Det anslåede behov for forskningsmidler hertil er i størrelsesordenen 90-120 millioner DKK.

Landbrug

1. Potentialet i de genetiske ressourcer

a. Muligheder for at øge halmudbyttet i kornafgrøder gennem forædling af sorter med tykkere og stærkere strå
b. Nye højtydende, flerårige græsser til grøn biomasse. Tolerance overfor abiotisk stress (temperatur og vand) for at sikre en lang vækstsæson
c. Optimering af kvalitet til lagring og konvertering

2. Innovative dyrkningssystemer

a. Muligheder for gennem nye dyrkningsstrategier at øge halmudbyttet uden at kompromittere kerneudbyttet (plantetæthed, timing af kvælstoftilførsel etc.)
b. Nye sædskifter med tidlig høst af højt ydende kornafgrøder (f.eks. triticale), efterfulgt af efterafgrøder mhp. at opnå to afgrøder pr. vækstsæson
c. Nye jordforbedringsmidler og metoder til opretholdelse af jordens kulstofpulje
d. Udnyttelse af C_4-afgrøder; enten enårige i kombination med C_3-afgrøder om vinteren eller flerårige afgrøder
e. Opretholdelse af høj produktivitet ved lang rotation i græsafgrøder

3. Nye høst- og lagringsteknologier

a. Opsamling af kornavner og -blade, der i dag ikke udnyttes
b. Tidligere høst af korn, gastæt lagring og betydning for kernernes foderværdi og udbyttet af halm
c. Ensilering af fugtig biomasse og effekt på konverterbarhed
d. Forbehandling af grøn biomasse før eller efter lagring

4. Landbaseret LCA-analyse

a. Analyse af nye dyrkningssystemers miljøprofil målt både pr. produktenhed og pr. areal
b. Kortlægning af regionale forskelle mellem robuste og sårbare jorder
c. Effekt af forskellige typer af arealanvendelse i oplande til biorafinaderier (bæredygtighedsanalyse)
d. Både direkte og indirekte effekter på forurening, biodiversitet, drivhusgasudledning samt forbrug af energi og andre ikke-fornybare ressourcer (LCA)

5. Socioøkonomiske og etiske aspekter

a. Økonomisk optimering af primærbedrifterne og landbrugssektorens tilpasning mod en øget biomasseproduktion til anvendelse i bioraffinaderier
b. Tilpasning og integration af modelapparat til analyse af sektor og samfundsøkonomiske konsekvenser af udviklingsscenarier

mod en biobaseret økonomi.

c. Indbygning af en egentlig bioraffinaderi sektor i en samfundsøkonomiske sektormodel.
d. Forståelse af bæredygtighedsudfordringer – bagvedliggende værdier og mulige konflikter ved afvejning af hensyn
e. Håndtering af bæredygtighedsudfordringer – betydning af governance-strategier i en national og international kontekst

Skovbrug

6. Forædling, produktion i skov

a. Forædling af skovtræarter i forhold til produktivitet og kvalitet i relation til nye efterspørgselsmønstre

7. Management systemer - drifts- og samfundsøkonomisk analyser

a. Udvikling og implementering af nye managementsystemer for øget mobilisering af skovbiomasse
b. Drifts- og samfundsøkonomisk optimering af nye managementsystemer

8. Ressourcer - potentialer og klimaeffekter

a. Analyse af potentialer for øget mobilisering af biomasse fra skove
b. Analyse af klima trade-offs mellem oplagring af C i skove og fortrængning af fossilt C, herunder LCA – nationalt og globalt
c. Opgørelse af vedmasseressourcer uden for skove og analyse af produktion- og anvendelsespotentiale
d. Analyse af bæredygtighed og langsigtet produktivitet ved øget biomasseproduktion
e. Analyse og dokumentation af miljøeffekter - og herunder effekt ift. biodiversitet - ved øget biomasseproduktion

FOTO: LEA VIG MCKINNEY

Politiske virkemidler

Det er vigtigt, at der er entydige politiske signaler og helst en klar politisk strategi der opstiller mål for opbygningen af et biobaseret samfund.

- Tilpassede støtteprogrammer.
- Støtte til opbygning af markeder

Organisation og demonstration

Der skal opbygges en organisation af alle interessenter i bio-værdikæden der kan sikre adgang til pilot- og demonstrationsfaciliteter.

Kolofon

Titel

+ 10 mio. tons planen – muligheder for en øget dansk produktion af bæredygtig biomasse til bioraffinaderier

Forfattere/redaktører

Morten Gylling[1], Uffe Jørgensen[2], Niclas Scott Bentsen[1], Inge T. Kristensen[2], Tommy Dalgaard[2], Claus Felby[1] og Vivian Kvist Johannsen[1]

[1] Københavns Universitet
[2] Aarhus Universitet

Forsidefotos

Henning Jørgensen, Københavns Universitet

Udgiver

Fødevareøkonomisk Institut
Det Natur- og Biovidenskabelige fakultet
Københavns Universitet
Rolighedsvej 25, 1958 Frederiksberg C

Layout og dtp

Karin I. Kristensen, Københavns Universitet

ISBN

978-87-92591-16-6
978-87-92591-19-7 (on-line)

Bedes citeret

Morten Gylling, Uffe Jørgensen og Niclas Scott Bentsen (2012): + 10 mio. tons planen – muligheder for en øget dansk produktion af bæredygtig biomasse til bioraffinaderier, Frederiksberg, 2012. 32 s. ill.

Tryk

Prinfo Aalborg

NORDISK MILJØMÆRKNING
541 370
TRYKSAG

Københavns Universitet
Det Natur- og Biovidenskabelige fakultet
Fødevareøkonomisk Institut,
Rolighedsvej 25
1958 Frederiksberg C

KØBENHAVNS UNIVERSITET

Aarhus Universitet
Institut for Agroøkologi - Klima og Bioenergi
Høegh-Guldbergs Gade 10
8000 Aarhus

AARHUS
UNIVERSITET