

GRØN BIOMASSE

METTE TERMENSEN, MORTEN GYLLING, UFFE JØRGENSEN, JOHN HERMANSEN, LINE BLOCK HANSEN, MARIE TRYDEMAN KNUDSEN, ANDERS PETER S. ADAMSEN, MORTEN AMBYE-JENSEN, MIKKEL VESTBY JENSEN, SØREN KROGH JENSEN, HANS ESTRUP ANDERSEN OG STEEN GYLDENKÆRNE

DCA RAPPORT NR. 068 · SEPTEMBER 2015



AARHUS
UNIVERSITET

DCA - NATIONALT CENTER FOR FØDEVARER OG JORDBRUG



Grøn Biomasse

Supplerende oplysninger og præciseringer (oktober 2019)

(Michael Støcklers bidrag præciseret, Det Nationale Bioøkonomipanel's bidrag tilføjet januar 2020)

I bestræbelsen på at rapporten lever op til Aarhus Universitetets retningslinjer for transparens og deklareret af eksternt samarbejde gives følgende supplerende oplysninger og præciseringer, som er udarbejdet i samarbejde mellem en medforfatter og dekanatet ved AU-ST (oktober 2019)/AU-Tech (januar 2020):

Det fremgår af forordet, at Klaus K. Nielsen, DLF-Trifolium, og Michael Støckler, SEGES, har bidraget med input i forbindelse med udarbejdelse af rapporten. Klaus K. Nielsens bidrag er refereret på side 9 i rapporten. Michael Støckler har bidraget med teksten "Udfordringer – Lagring og logistik" på side 22.

Det Nationale Bioøkonomipanel har haft et endeligt udkast til rapporten til kommentering. Det har resulteret i, at fire linjer er udeladt af den endelige rapport. Se nærmere for processen her:

<https://bit.ly/37Sv6Rp>

GRØN BIOMASSE

DCA RAPPORT NR. 068 · SEPTEMBER 2015

KØBENHAVNS
UNIVERSITET



AARHUS
UNIVERSITET

DCA - NATIONALT CENTER FOR FØDEVARER OG JORDBRUG



AARHUS
UNIVERSITET

DCE - NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Mette Termansen¹, Morten Gylling⁵, Uffe Jørgensen², John Hermansen², Line Block Hansen¹,
Marie Trydeman Knudsen², Anders Peter S. Adamsen⁴, Morten Ambye-Jensen⁴, Mikkel Vestby
Jensen⁵, Søren Krogh Jensen², Hans Estrup Andersen³ og Steen Gyldenkærne¹

Aarhus Universitet

Institut for Miljøvidenskab¹

Institut for Agroøkologi²

Institut for Bioscience³

Institut for Ingeniørvidenskab⁴

Københavns Universitet

Institut for Fødevarer og Ressourceøkonomi⁵

GRØN BIOMASSE

Serietitel DCA rapport
Nr.: 068
Forfattere: Mette Termansen, Morten Gylling, Uffe Jørgensen, John Hermansen, Line Block Hansen, Marie Trydeman Knudsen, Anders Peter S. Adamsen, Morten Ambye-Jensen, Mikkel Vestby Jensen, Søren Krogh Jensen, Hans Estrup Andersen og Steen Gyldenkerne
Faglig kommentering: Berit Hasler, Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet
Kvalitetssikring: Vibeke Vestergaard Nielsen, DCE - Centerenhed, Aarhus Universitet
Udgiver: DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Blichers Allé 20, postboks 50, 8830 Tjele. Tlf. 8715 1248, e-mail: dca@au.dk, hjemmeside: www.dca.au.dk
Rekvirent: NaturErhvervstyrelsen
Forsidefoto: Jesper Rais, AU
Tryk: www.digisource.dk
Udgivelsesår: 2015
Gengivelse er tilladt med kildeangivelse
ISBN: 978-87-93176-99-7
ISSN: 2245-1684

Rapporterne kan hentes gratis på www.dca.au.dk

Rapport

Rapporterne indeholder hovedsageligt afrapportering fra forskningsprojekter, oversigtsrapporter over faglige emner, vidensynteser, rapporter og redegørelser til myndigheder, tekniske afprøvninger, vejledninger osv.

Forord

Nærværende notat giver en oversigt over de væsentligste potentialer og udfordringer, der ligger i en øget anvendelse af grøn biomasse i Danmark. Notatet er udarbejdet som led i ”Aftale mellem Aarhus Universitet og Fødevareministeriet om udførelse af forskningsbaseret myndighedsbetjening m.v. ved Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, 2015-2018” (Punkt BL-104 i Aftalens Bilag 2) med henblik på at indgå som fagligt grundlag for Det Nationale Bioøkonomi-panels diskussion af potentialerne for den grønne biomasse.

Udover tak til forfatterne skal tillige rettes en tak til følgende personer, der har bidraget med input i forbindelse med udarbejdelse af notatet: Lene Lange, Aalborg Universitet; Michael Støckler, SEGES; Klaus K. Nielsen, DLF-Trifolium; Gitte Blicher-Mathiesen, Aarhus Universitet og Jørgen E. Olesen, Aarhus Universitet.

Niels Halberg

Direktør, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug

Indledning

Danmarks landbrugsareal udgør godt 60 % af det samlede areal (2,6 mio. hektar). Korn er den hektarmæssigt største afgrøde med godt 1,4 mio. hektar efterfulgt af græs og grøntfoder i omdrift med knapt 0,6 mio. hektar. 77 % af kornproduktionen går til foderproduktion. En meget stor andel af landbrugsarealet går dermed til foder, og en meget lille del til human konsum. Selvom størstedelen af Danmarks landbrugsareal anvendes til foderproduktion importeres årligt ca. 1,5 mio. tons sojaskrå (biprodukt efter udvinding af olie) til produktion af foder svarende til ca. 5 % af den samlede europæiske import af sojaskrå. Sojaen bruges typisk i foderblandinger sammen med korn for at øge proteinindholdet. Udover at sojaimport er en økonomisk omkostning, knytter der sig en række problematikker til importen af soja. Dyrkning af soja, som primært sker i Sydamerika, forbindes ofte med forskellige miljøproblemer, rydning af regnskov samt sundhedsmæssige og sociale/strukturelle problemstillinger for lokalbefolkningen. Grøn biomasse har typisk et højere udbytte og højere indhold af protein end korn. Grønne biomasser kan derfor potentielt substituere sojaimporten, hvis det er muligt at ekstrahere proteindelen på kommerciel basis og danne et foderstof, der er konkurrencedygtigt med soja. Derudover har den grønne biomasse også en lang række potentialer i form af højværdiprodukter til foder- og fødevaringredienser. Konvertering af kornproduktion til græs-baseret produktion har desuden en række miljømæssige potentialer.

Indhold

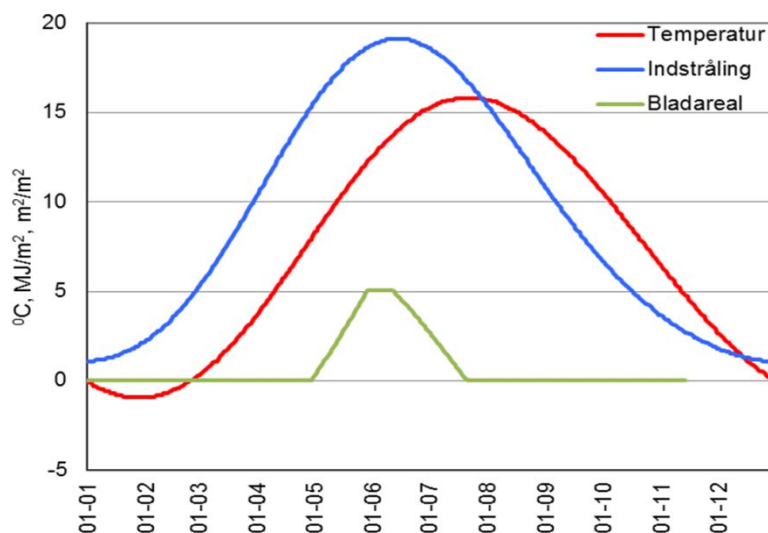
Forord	3
Indledning	5
Baggrundsbeskrivelse.....	8
<i>Grøn biomasse: Produktionsmæssigt potentiale.....</i>	<i>8</i>
<i>Bioraffinering af den grønne biomasse.....</i>	<i>9</i>
Proteinudvinding	9
Alternative systemer	10
<i>Potentialet i højværdiproduktion fra grøn biomasse.....</i>	<i>12</i>
<i>Markeder for grøn biomasse.....</i>	<i>13</i>
Markedet for foderprotein	13
Import af protein	13
Import af økologisk protein	14
Økonomisk potentiale	16
Erfaringer ved kommercialisering af proteinprodukter fra grøn biomasse	17
<i>Ikke markedsomsatte effekter af øget brug af grøn biomasse</i>	<i>18</i>
Direkte miljøeffekter af omlægning til grøn biomasseproduktion	18
Indirekte miljøeffekter af omstilling til grøn biomasse produktion	19
<i>Beskæftigelseseffekter</i>	<i>21</i>
Udnyttelse af 325.000 tons biomasse fra vedvarende græsarealer til biogas	21
Udnyttelse af 1,6 mio. tons efterafgrøder til biogas	21
<i>Udfordringer - Lagring og Logistik.....</i>	<i>22</i>
<i>Udfordringer – driftsøkonomien</i>	<i>23</i>
<i>Udfordringer – reguleringsmæssige barrierer</i>	<i>26</i>
<i>Opsummering af baggrundsinformation.....</i>	<i>26</i>
Illustration af produktions- og miljøpotentialerne i grøn biomasse	29
Konklusioner og indsatsområder	32
Kilder.....	34

Baggrundsbeskrivelse

Grøn biomasse: Produktionsmæssigt potentiale

Opdeling af biomasse i grøn, gul, blå, brun, sort og grå typer blev brugt af pædagogiske årsager i +10 mio. tons planen (Gylling et al., 2012). Grøn biomasse er betegnelsen for en levende urteagtig (i modsætning til vedagtig) og våd (i modsætning til moden/tør) biomasse. Der er ingen skarp videnskabelig definition af hvilke biomasser, der hører under den grønne biomasse, men i praksis er det oftest klart om en biomasse hører under den grønne biomasse. Grønne biomasser er f.eks. græs, kløver, roer og helsød.

Ved den nuværende produktion af korn, raps og majs udnyttes en betydelig del af vækstsæsonens solindstråling ikke til fotosyntese og biomasseproduktion. Det skyldes, at kornet fra ca. midt-juli modner, høstes i august, genses i september og først allersidst på året er der igen grønne marker. For majs er det en lang periode i foråret, der ikke udnyttes til produktion. Figur 1 viser typisk udvikling af bladarealet af en vårbyg sammenlignet med udviklingen af temperatur og indstråling over året. Samlet set vurderes det, at biomasseproduktionen per arealenhed kan øges med 70-100 % i dansk planteavl ved dyrkning af afgrøder med lang vækstsæson eller med bedre kombination af enårige afgrøder (Jørgensen et al., 2013). Nye forsøg udført af Aarhus Universitet bekræfter foreløbigt denne vurdering.



Figur 1. Principskitse for fotosynteseaktivt bladarealudvikling af en vårbygafgrøde samt temperatur og (sol)indstråling i Danmark (Modificeret fra Olesen, 2002).

Vi har i Danmark et veletableret forædlingsprogram for græs og kløver, der i årtier har leveret højt-ydende sorter primært til kvægbruget. Målene har primært været høj biomasseproduktion kombineret med høj fordøjelighed, sygdomsresistens og persistens (et stofs modstand mod nedbrydning ved na-

turlige processer). Mens græs har det høje udbyttepotentiale, udmærker rødkløver sig ved særdeles højt proteinindhold. Landsforsøgene med forskellige artsfordelinger har hidtil vist, at der er stor variation i det samlede proteinudbytte afhængig af blandingsforhold og dyrkningsmetode. Det er vurderingen, at man med en målrettet indsats mod andre egenskaber, såsom højere proteinindhold og bedre evne til sameksistens, vil kunne forhøje det samlede proteinudbytte fra kløvergræsmarkerne med 10 % (DLF-Trifolium-estimat, personlig kommunikation med Klaus K. Nielsen).

Bioraffinering af den grønne biomasse

Dyrkede græsser og græsmarksbælplanter har et højt indhold af protein (op til 30 % af tørstoffet), som udnyttes bedst af drøvtyggere (kvæg og får), mens en-mavede dyr (svin og fjerkræ) kun kan udnytte græs i meget begrænset omfang på grund af græssets fiberindhold. Fra frisk græs kan der imidlertid udvindes og oparbejdes protein i en kvalitet, som gør det muligt at erstatte sojaprotein i foderblandinger til svin og fjerkræ (Houseman & Connell, 1976 and Pirie NW, 1987).

Der etableres et pilotanlæg ved Aarhus Universitet i sommeren 2015 med henblik på at optimere og dokumentere effektivitet og kvaliteter for forskellige afgrøder.

Proteinudvinding

Processen til udvinding af protein er forholdsvis enkel. Et anlæg til proteinudvinding kan således bestå af udstyr til indfødning, neddeling, fraktionering (skruepressere og dekanter) og varmeveksling. Her ved opnås tre hovedfraktioner: fiberfraktion, proteinkoncentrat og væskefraktion med sukker, salte og ikke-protein kvælstof (NPN).

Processen i et fuldskalaanlæg kunne tænkes at foregå ved, at biomassen aflæsses i et modtageranlæg, der dimensioneres således, at der kan køres døgndrift i resten af anlægget. Biomassen opblandes, neddeles og vædes op med recirkuleret væske, hvorefter det pumpes til en eller flere skruepressere, som separeres i en fiberfraktion og en væskefraktion. Fiberfraktionen indeholder omkring halvdelen af proteinet samt hovedparten af kulhydraterne. Denne fraktion kan anvendes direkte som kvægfoder eller indgå som råvare til ethanolproduktion.

Væskefraktionen indeholder ca. halvdelen af proteinerne afhængig af sorten og plantens modenhed, samt vandopløselige stoffer. Proteinet udfældes ved opvarmning i en varmeveksler og/eller ved tilsætning af damp. De udfældede proteiner separeres fra i en dekantercentrifuge og benævnes proteinkoncentrat, da det har et proteinindhold på 40-50 % af tørstoffet og vil være anvendelige til en-mavede dyr.

Efter udvinding af proteinkoncentrat vil der være en rest, der en væskefraktion med 5-10 % organisk stof, især letopløselige kulhydrater, som vil være let at forgære til ethanol eller biogas.

```

graph LR
    subgraph Inputs [Græs etc.]
        direction TB
        I1[Frisk vægt (t/år)  
111.000]
        I2[Tørstof (t/år)  
20.000]
        I3[TS  
18%]
        I4[Råprotein af TS  
20%]
        I5[Energi (MWh/år)  
75.000]
    end

    subgraph Stage1 [Indfødnings og neddeling]
        direction TB
        S1[ ]
    end

    subgraph Stage2 [Fraktionering]
        direction TB
        S2[ ]
    end

    subgraph Stage3 [Protein-separation]
        direction TB
        S3[ ]
    end

    subgraph Outputs1 [Fiberfoder]
        direction TB
        O1_1[39.000]
        O1_2[11.600]
        O1_3[30%]
        O1_4[17%]
        O1_5[45.000]
    end

    subgraph Outputs2 [Væske til energiprod.]
        direction TB
        O2_1[59.000]
        O2_2[4.600]
        O2_3[8%]
        O2_4[4%]
        O2_5[16.000]
    end

    subgraph Outputs3 [Proteinkoncentrat]
        direction TB
        O3_1[13.000]
        O3_2[3.800]
        O3_3[28%]
        O3_4[47%]
        O3_5[14.000]
    end

    Inputs --> Stage1
    Stage1 --> Stage2
    Stage2 --> Outputs1
    Stage2 --> Stage3
    Stage3 --> Outputs2
    Stage3 --> Outputs3
  
```

Alternative systemer

- At udvinde græsprotein til en-mavede husdyr og udnytte fiberfraktionen til foder til kvæg
- At udvinde græsprotein til en-mavede husdyr og udnytte fiberfraktionen til bioethanol.

Kombination med kvægfoder

Der er vurderet udbytte og andre konsekvenser ved omlægning af korn til enten kvælstofgødet rent græs eller til kløvergræs. I Tabel 1 er vist et skøn over massebalancen for et sådant system.

Tabel 1. Omlægning af 200.000 ha korn til produktion af normgødet græs, optimalt kvælstofgødet græs af mere produktive arter eller ugødet kløvergræs.

	Normgødet	Optimalt gødet	Ugødet produktiv kløvergræs
Produceret grønt tørstof	200.000 ha á 10,5 t/ha 2,1 mio. tons	200.000 ha á 15 t/ha 3 mio. tons	200.000 ha á 7 t/ha 1,4 mio. tons
Udbytte			
Proteinkoncentrat (soja kvalitet)	420.000 tons	600.000 tons	280.000 tons
Kvægfoder (græsensilage kvalitet)	1.200.000 tons	1.700.000 tons	910.000 tons
Biogas	480.000 tons	700.000 tons	210.000 tons
Areal implikationer	I forhold til nuværende produktion kommer der netto til at mangle ca. 67.000 ha til kornproduktion*	I forhold til nuværende produktion er der ikke mangel på areal til kornproduktion	I forhold til nuværende produktion kommer der netto til at mangle 100.000 ha til kornproduktion

*1.200.000 tons kvægfoder erstatter 133.000 ha grovfoder med et udbytte på 9 tons TS/ha.

Det højere udbytte i produktive græsarter (strandsvingel, rajsvingel eller hundegræs) med høj kvælstofgødsning (fremfor korn eller kløvergræs) betyder, at der kan udvindes 600.000 tons proteinfoder uden at påvirke det samlede areal, hvor der kan dyrkes korn, hvis den producerede fibermasse bruges til kvægfoder og erstatter græs eller majs (Tabel 1). Det vil dog kræve en større anvendelse af kvælstofgødning, som ca. modsvarer den reducerede N-import i soja. Ved kløvergræs, hvor udbyttet forventes lavere (især hvis arealet skal ligge længere end to år med kløvergræs), betyder teknologien, at der på nationalt niveau kommer til at 'mangle' en væsentlig mængde korn. Ved norm gødsning vil der også være et behov for ekstra areal til kornproduktion.

Kombination med bioethanol

Det er antaget, at 2G-produktion af bioethanol typisk vil foregå med halm som base. Det er herefter vurderet, hvor meget halm, der kan erstattes, hvis fiberfraktionen fra raffineringen af den grønne biomasse anvendes til ethanolproduktion i stedet for til kvægfoder.

Eksempel:

Der anvendes 10.000 ha á 15 tons tørstof/ha, hvorved der opnås et udbytte på 150.000 tons græstørstof.

Ved raffinering fås

- 30.000 tons protein foder af sojaskråkvalitet
- 35.500 tons tørstof til biogas.

Resten (85.500 tons tørstof) kan erstatte en tilsvarende mængde halmtørstof og producere ca. 20 mio. liter bioethanol.

Kvalitet af proteinkoncentrat til en-mavede husdyr

Sammensætningen af essentielle aminosyrer i protein fra grøn biomasse er meget gunstig i forhold til husdyrenes behov, således er indholdet af de svovlholdige aminosyrer højere end i soja. I de indledende forsøg er der opnået fordøjeligheder af proteinfraktionen på omkring 85 %, og fordøjeligheder på +90 % til en-mavede dyr forventes, når processen er optimeret.

Potentialet i højværdiproduktion fra grøn biomasse

Der er meget få dokumenterede evalueringer af potentialet i højværdiproduktion fra grøn biomasse set ud fra et værdiskabelsesperspektiv. De få evalueringer, der findes, peger på at højværdiprodukterne er meget væsentlige for at skabe økonomi i bioraffinaderiprocessen (Sanders 2015). I opgørelserne fremgår det, at værdien af proteinproduktionen til foder ikke er tilstrækkelig til alene at dække omkostningerne til drift af et bioraffinaderi med den nuværende teknologi. O'Keeffe et al. (2012) beskriver en proces, hvor foderprotein produceres i kombination med isoleringsmateriale. O'Keeffe et al. (2012) og Sanders' eksempler har ikke inkluderet miljø- og klimateffekter i deres opgørelser, men kigger på den driftsøkonomiske rentabilitet. Det er derfor vigtigt, at bioraffinaderi-teknologier udvikles, så de udnytter biomassens fulde potentiale, enten ved synergier med eksempelvis biogasproduktion (som p.t. undersøges ved Aarhus Universitet) og/eller ved samtidig udvinding af særlige indholdsstoffer. Det kræver, at processen designs omhyggeligt, således at de mest værdifulde produkter ikke ødelægges under omdannelsen til mindre værdifulde produkter. Samlet set kaldes dette grundprincip for værdiskabelse ved kaskadeudnyttelse. Højværdipotentialet af den grønne biomasse består af flere komponenter. Blandt disse skal tre fremhæves: Højtoprenset proteinfraktion fra den grønne biomasse kan opnå kvalitet og næringsværdi, så det kan sælges som en babymadsingrediens (f.eks. som udviklet og opskaleret for lucerne). Metabolitter, inklusiv molekyler med medicin- og ernærings-potentiale kan oprenses og produktudvikles. Sidst, men ikke mindst, er der et meget stort potentiale i at udnytte den ret store fraktion af hemicellulose polymer (C5-sukker-polymer). C5-sukker-polymer kan forarbejdes (f.eks. via enzymatisk hydrolyse) til korte forgrenede C5-oligomeer. Sådanne korte suktermolekyler, også benævnt kostfibre er påvist at have interessant præbiotisk aktivitet. Virkningen af præbiotiske foder ingredienser er, at de stimulerer og styrker konkurrenceevnen hos den sunde del af tarmfloraen, hvorved den usunde og sygdomsfremkaldende del af tarmfloraen udkonkurreres, hvilket kan medvirke til nedsettelse af antibiotikaforbruget. Det største og mest nærliggende marked for sådanne præbiotiske produkter er derfor som foder ingredienser.

Markeder for grøn biomasse

Markedet for foderprotein

Dette afsnit redegør for det danske proteinforbrug og import. Afsnittet er sammenstillet på baggrund af Bosselmann et al. (2015). Det samlede danske forbrug af foder var i 2013 på ca. 40 mio. tons, hvoraf de 26 mio. tons var græs og grøntfoder produceret i Danmark. Den samlede import af foder var på ca. 4,1 mio. tons (~ 10 pct.), primært oliekgær fra soja, raps og solsikke, samt rodfrugter og korn. Mængden af råprotein var på i alt 2,85 mio. tons, hvoraf 1,05 mio. tons var importeret (~37 pct.). Langt størstedelen af den importerede råprotein er fra oliekgær, primært sojakager (inkl. skrå), der er den største enkelte kilde til råprotein i den danske animalske produktion.

Table 2. Forbrug af importeret og danskproduceret foder i sæsonen 2012/2013. Råprotein-indhold i pct. er ikke pr. kg tørstof, men pr. kg import. Forbruget er opgjort i 1.000 tons

	Fodervægt 1.000 tons	Heraf ren råprotein 1.000 tons			Råprotein i foder, %
Fodermiddel	I alt	I alt	Dansk	Importeret	(udregnet)
Foderforbrug i alt, heraf:		2.850	1.799	1.051	
- Kraftfoder	-	1.808	782	1.026	-
- Grovfoder	-	1.042	1.017	25	-
Vigtigste proteinfoderstoffer					
Sojakager	1.385	641	0	641	46,3 %
Solsikkekager	448	167	0	167	37,3 %
Rapskager	506	165	79	86	32,6 %
Fiskemel, -ensilage og -affald	360	88	36	53	24,4 %
Korn til foder					
Hvede	3.618	354	338	15	9,8 %
Byg	2.729	251	250	0	9,2 %
Grovfoderstoffer					
Græs & kløver i omdriften	14.546	611	611	0	4,2 %
Majs, ensilage	6.764	168	168	0	2,5 % ¹
Græs & kløver udenfor omdriften	3.170	108	108	0	3,4 %
Rodfrugter og fabriksroeaffald	2.538	54	29	25	2,1 % ¹

Kilde: Foder1-tabellen fra Statistikbanken.dk

¹ Ifølge VFL (2013) er proteinindholdet i majsensilage og roe/rod-foder på hhv. 5,2 % og 6 – 10 %.

Import af protein

Danmark importerer størstedelen af det proteinholdige kraftfoder fra en lang række lande. Sojaskrå, den vigtigste proteinkilde i en stor del af den danske animalske produktion, er traditionelt blevet importeret fra Argentina og Brasilien. Som omtalt i IFRO (2014), skyldes det formentlig den dårlige medieomtale og forbrugernes stigende opmærksomhed på sojaproduktionen i Argentina, at importen af sojaskrå fra

netop Argentina er faldet med 60 pct. siden 2011, og delvist erstattet af import fra USA, jf. Tabel 3. Importen fra Tyskland er ligeledes steget væsentligt, men dette er reeksport, som kan have oprindelse i Argentina. Det samme er tilfældet for importen fra Holland (IFRO, 2012). Foruden sojaskrå importeres også en mindre del hele sojabønner og toastede sojabønner, som ligeledes finder vej til fodertruget. Tabel 3 inkluderer også data for import af solsikkekager, som hovedsageligt importeres fra Rusland (50 %), Ukraine (23 %) og Tyskland (9 %). Importen i Tabel 3 inkluderer konventionelt og økologisk produceret sojaskrå og solsikkekager.

Tabel 3. Oversigt over importen af proteinholdige afgrøder der bruges til foder. Baseret på KN8Y-tabellen fra Statistikbanken.dk

Import af proteinafgrøder, 1.000 tons				
Sojaskrå	2013	gns. '05 - '11	Solsikkekager	2013
Argentina	493,3	1.234,5	Rusland	178,8
Tyskland	340,8	84,5	Ukraine	85,2
Brasilien	241,9	237,8	Tyskland	33,5
USA	232,8	18,5	Estland	18,8
Holland	88,4	76,1	Argentina	14,0
Canada	23,79	3,1	Litauen	11,6
Andre	43,4	35,4	Andre	21,0
I alt	1.689,9	1.464,4	I alt	362,90

Kilde: Statistikbanken.dk/KN8Y.

Import af økologisk protein

Kvalitative data vedrørende import og brug af forskellige økologiske fodermidler er blevet indhentet fra Økologikontrollen hos NaturErhvervstyrelsen og de store danske foderproducenter, mens et særudtræk fra Dansk Statistik specificerer, hvilke lande Danmark importerer proteinholdige foderstoffer fra. Man skal da være opmærksom på, at det ofte blot er indskibningshavnen, der fremgår i statistikkerne og ikke oprindelseslandet. Den samlede import af økologisk foder (undtagen umalet korn) var i 2013 på 226 mio. kr., hvilket er ca. fire gange så meget som i 2009 (Tabel 4). Over halvdelen af den økologiske foderimport kommer fra Asien (123 mio. kr.), hvilket hovedsageligt dækker over sojaskrå fra Kina. Dette er også med til at forklare den store vækst i den samlede import, da importen af økologisk foder fra Asien indtil 2012 var marginal. Den kinesiske sojaproduktion er baseret på non-GMO sorter, hvilket er et krav for økologisk certificering. Den importerede økologiske soja er certificeret af EcoCert, der oprinder i Frankrig, men bruges i en lang række lande verden over, især i Europa. Danmark importerer også økologisk sojaskrå fra Kasakhstan (siden 2012), certificeret af BIOZOO, der tidligere har været indblandet i sager vedrørende bestikkelse og import af økologisk certificeret, men konventionelt dyrket soja og korn. I udenrigshandelsstatistikken opgøres den samlede import af sojaskrå fra Kina og Kasakhstan i 2013 til 107 mio. kr. (22.500 tons). Dette udgør sandsynligvis størstedelen af den samlede import af økologisk foder

fra Asien (jf. Tabel 4), da Danmark ikke importerer foderstoffer i betydelige mængder fra andre asiatiske lande.

Tabel 4. Import af økologiske foderstoffer, undtagen umalet korn, i 2013.

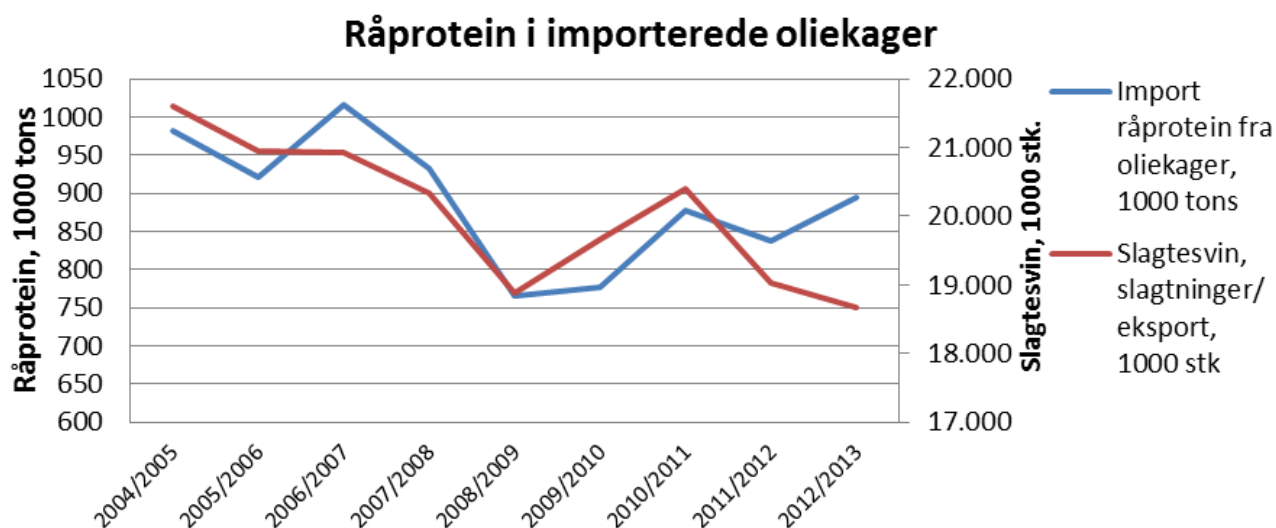
Foderstofimport, 1.000 kr.	2009	2013
ASIEN I ALT	0	122.617
EUROPA I ALT	55.409	103.814
Tyskland	12.072	40.526
Holland	5.576	35.551
Italien	31.490	22.952
I alt, 1.000 kr.	55.409	226.431

Kilde: Statistikbanken.dk/OEKO6.

Dansk produceret protein

Der er i de senere år kommet en øget opmærksomhed på faldende protein-indhold i dansk foderkorn og en deraf forventet øget sojaimport til at kompensere for det lavere proteinindhold. Det faldende proteinindhold er blevet påvist i Landsforsøgene; i de seneste to årtier er proteinindholdet i dansk hvede faldet fra 11 % til 8,5 % (Møller og Sloth, 2014).

Hvorvidt dette har fundet sted kan ikke umiddelbart understøttes med data for import af protein og produktionen af slagtesvin. I Figur 3 er den danske import af råprotein i oliekgager fra soja, raps og solsikke sammenstillet med produktion af slagtesvin til eksport og slagtning i Danmark.



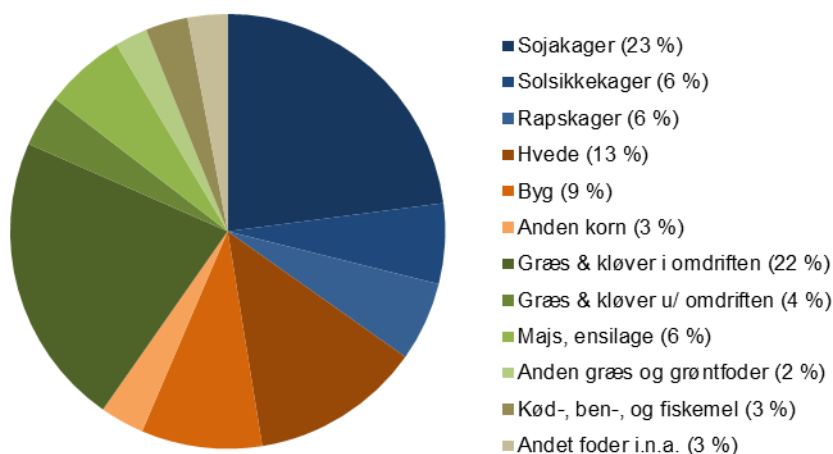
Som det ses i Figur 3 følger udviklingen i importen af råprotein fra oliekgager nogenlunde udviklingen i slagtesvin-produktionen, som jo hovedsageligt er påvirket af markedsprisen og efterspørgslen. Det er

muligt, at der har været en øget import af soja på baggrund af faldende proteinindhold i dansk foderkorn, det er dog vanskeligt at spore en effekt i data. Det er værd at bemærke, at importen af sojaskrå er faldet jævnt set over de sidste syv år, både absolut og i forhold til andre olie-kager. Det er især importen af solsikkekager, der har erstattet sojaskrå i import-statistikken. Målt i andel af importeret råprotein fra olie-kager er solsikkekager steget fra 6 % i 2005 til 19 % i 2013, mens sojaskrå er faldet fra 86 % til 72 %.

Økonomisk potentiale

Figur 4 giver et overblik over andelen af forskellige foderstoffer i forbruget af råprotein i det danske landbrug. Omkring halvdelen af rapskagerne er produceret i Danmark, mens resten af olie-kagerne er importeret. Den økologiske andel af denne import er på 6,1 % for rapskager og 1,7 og 1,9 % for hhv. solsikke- og sojakager. Korn til kraftfoder, fortrinsvis hvede og byg, er hovedsageligt produceret i Danmark (93 %). Omkring 3 % af landbrugsarealet anvendt til korn er økologisk dyrket, men andelen af økologisk korn til foder må formodes at være højere, da eksempelvis 10 % af mælkeproduktionen er økologisk, og korn udgør en væsentlig del af foderet til økologisk malkekvæg. Græs og grøntfoder er næsten udelukkende produceret i Danmark, og her er omkring 18 % af arealet dyrket økologisk.

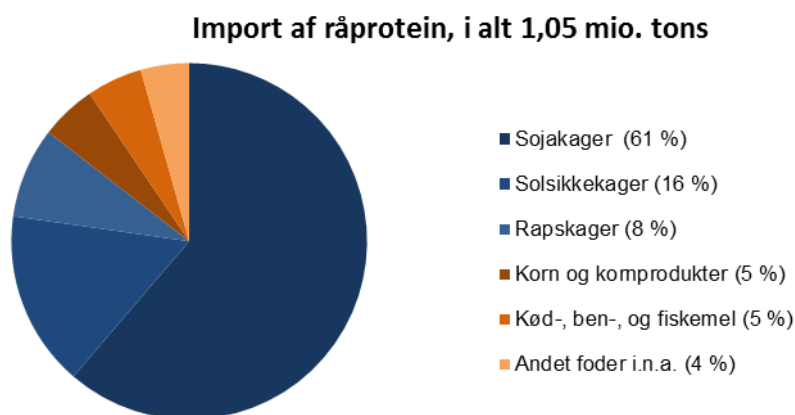
Kilder til råprotein i foder, i alt 2,85 mio. tons



Figur 4. Andelen af forskellige foderstoffer i forbruget af råprotein i 2012/13. Andelen i procent er angivet i parentes efter hver foderkilde.

Kilde: Statistikbanken/OEKO6.

Oliekager, i særdeleshed fra soja, udgør størstedelen af den importerede råprotein (Figur 5). Størstedelen af det importerede protein er sojaskrå fra Argentina, Brasilien og USA, der fortrinsvist anvendes i svineproduktionen, men også finder vej til næsten alle andre husdyrproduktioner. Solsikke- og rapskager anvendes ligeledes i en lang række produktioner, mens kød-, ben- og fiskemel især anvendes som foder til mink.



Figur 5. Andelen af forskellige foderstoffer i importen af råprotein i 2012/13. Andelen i procent er angivet i parentes efter hver foderkilde.

Kilde: Statistikbanken/OEKO6.

Erfaringer ved kommercialisering af proteinprodukter fra grøn biomasse

Som det fremgår ovenfor, er der et stort proteinmarked i Danmark, og fremstilling af proteinkoncentrat fra græs og bælgeplanter er ikke en ny idé. Processen har været kendt gennem hele det forrige århundrede, hvor denne mulighed for at udvinde næringsholdigt protein fra grønne biomasser og bruge det som supplement til human ernæring eller dyrefoder, har været forslået af flere omgange (se f.eks. Houseman & Connell, 1976 og Pirie NW, 1987). En reel bred kommercialisering har dog aldrig indfundet sig, på trods af flere tiltag rundt omkring i verden, i og med at globalisering, billig transport, handelsaftaler og fokus på høje udbytter af korn i EU, har gjort nuværende praksis med import af soja mere favorabel. Der er dog adskillige grunde (alle tidligere nævnt i dette notat) til, at der kan være et mere bæredygtigt alternativ til importen af soja.

Af nuværende kommerciel produktion af proteinkoncentrat fra grøn biomasse kendes kun én aktiv producent (som forfatterne er bekendt med). Den Franske foderproducent Désialis, som hovedsageligt sælger lucerne-hø, har en nicheproduktion af proteinkoncentrat fra lucerne til især æglæggere- og kæledyrsfoder. Ifølge Désialis har deres koncentrat ud over et højt proteinindhold (>50%) også et sundt indhold af vitamin, jern, og omega-3 fedtsyrer. Désialis' produktion og markedsføring viser på

mange måder mulighederne for en reel kommercialisering af proteinkoncentrat fra grønne biomasser (<http://www.desialis.com/en/our-products/cae-concentrated-alfalfa-extract>). Se også Ecker et al. (2012) og Houseman & Connell (1976).

Ikke markedsomsatte effekter af øget brug af grøn biomasse

Ved analyse af miljøeffekter opdeles effekterne ofte i direkte og indirekte effekter. I forbindelse med dyrkning af grøn biomasse i Danmark er de direkte effekter relateret til den ændrede arealanvendelse og de afledte miljømæssige konsekvenser. De væsentligste af disse er ændring i kvælstofudvaskning, reduktion i klimagasemissioner og reduceret pesticidanvendelse. Ved store ændringer i importen af protein, som følge af forøget egenproduktion vil arealændringerne i Danmark også have effekter i andre lande. I forbindelse med dyrkning af grøn biomasse til foderprotein er det specielt relevant at analysere substitution af soja med danskproduceret grøn biomasse.

Direkte miljøeffekter af omlægning til grøn biomasseproduktion

Permanent plantedække, som kan opnås ved dyrkning af den grønne biomasse, har positive miljøeffekter: Lang vækstsæson og permanent rodsystem bidrager til en mere effektiv næringsstofhusholdning (Jørgensen et al., 2013), hvilket har langt større betydning for næringsstofftab end mængden af gødning, der tilføres. Effekt på kvælstofudvaskning fra rodzonen af omlægning fra normal landbrugsdrift til vedvarende græs er i Virkemiddelkatalog 2014 (Eriksen et al., 2014) estimeret til 50 kg N/ha på grundlag af en modelberegnet, gennemsnitlig udvaskning fra arealer i normal landbrugsdrift på 62 kg N/ha (Børgesen et al., 2013) og en gennemsnitlig målt udvaskning fra arealer i vedvarende græs på 12 kg N/ha. Der er i Virkemiddelkatalog 2014 ikke skelnet mellem effekten på ler- og sandjord. Andersen et al. (2012) angiver effekten ved omlægning til vedvarende græs til hhv. 34 kg N/ha på lerjord og 61 kg N/ha på sandjord.

Effekt af omlægning af normal landbrugsdrift til græs i omdrift kan estimeres til ca. 20 kg N/ha på grundlag af en modelberegnet, gennemsnitlig udvaskning fra arealer i normal landbrugsdrift på ca. 62 kg N/ha (Børgesen et al., 2013) og en modelberegnet, gennemsnitlig udvaskning fra græs- og kløvergræsmarker i omdrift på ca. 42,5 kg N/ha dækkende perioden 2005 – 2011 (Danish Environmental Protection Agency, 2015). Benyttes samme forhold mellem effekt på ler- og sandjord som i Andersen et al. (2012) kan effekten opdelt på jordtyper skønnes til hhv. 14 kg N/ha på lerjord og 26 kg N/ha på sandjord. Ved nuværende dyrkning af græs i landbruget er det standardpraksis at omlægge med 2-3 års mellemrum. Det betyder oftest en stor udvaskning i den efterfølgende afgrøde. For grøn biomasseproduktion, hvor miljøeffekten er væsentlig for at opnå samfundsøkonomisk gevinst, er det vigtigt, at omlægning foretages med længere mellemrum og/eller effektiv genetablering af græs efter omlægning, hvis kvælstofudvaskningen skal reduceres markant. DCA/AU har i aktuelle forsøg gødet med op til 500 kg N/ha i slætgræs, hvorfra der er målt en anelse lavere koncentration af nitrat i det afstrømmende jordvand end fra den ugedede kløvergræs (dog næppe signifikant). Ved leverance til bioraffinaderier eller biogasanlæg vil kontinuert produktion og gødskning give mening. Det antages derfor (i beregningerne i afsnit 3), at omlæg-

ning af græsarealerne foretages med 5-7 års mellemrum, tre slæt årligt, og at der ved omlægning straks udlægges græs i en efterfølgende vårbyg.

I en række tidligere udredninger (f.eks. Eriksen et al., 2014) er det konkluderet, at udvaskning fra flerårige energiafgrøder set over en hel rotation vil være 10-30 kg N/ha. Samme niveau vil være relevant at regne med fra slætgræs med ovenstående management. Dette gælder uanset, om det er ugødet kløvergræs eller gødet rent græs. Det vurderes ligeledes af DCA, at omdriftslængde på 5-7 år er muligt uden væsentlig produktionsnedgang (Eriksen et al., 2004). Virkemiddelkataloget angiver en reduktion af nitratudvaskningen ved omlægning af et gennemsnitligt sædskifte til flerårige energiafgrøder på lerjord på 34 kg N/ha og 51 kg N/ha på sandjord (Eriksen et al., 2014). I dette arbejde antages det, at optimeret biomasseproduktion i lang omdrift potentielt kan opnå samme reduktion på udvaskningen, men dette kan ikke verificeres på foreliggende grundlag og bør vurderes nøje over de kommende år.

Ud over kvælstofeffekten forventes en øget kulstoflagring i jorden fra produktive flerårige afgrøder end fra enårig korn- og frøafgrøder, men denne virkning er mere usikkert kvantificeret. Virkemiddelkataloget estimerer effekten af omlægning fra et kornsædskifte til græs på 1,8 t CO₂/ha/år. Denne opbygning vil ske over en længere årrække, indtil en ny ligevægt i jorden er indtrådt (anslået 20-40 år). Derudover er der en effekt af ændringen i N-tilførsel ved forskellige dyrkningssystemer pga. ændringer i lattergas emissionerne. F.eks. vil ændring fra et korn-sædskifte til intensiv græs i omdrift medføre en stigning i lattergasemissionerne svarende til 1-1,3 t CO₂-æquivalenter/ha som følge af et øget N-forbrug. Endelig har græs et minimalt pesticidbehov (Behandlingsindeks på 0,04 ifølge Bekæmpelsesmiddelstatistikken) i forhold til kornafgrøderne (Behandlingsindeks på 2,7- 4,3 (vårsæd/vintersæd)).

Indirekte miljøeffekter af omstilling til grøn biomasseproduktion

Globalt set sker der en stadig udvidelse af dyrkningsarealet som følge af den stigende efterspørgsel efter biomasse til fødevarer, herunder foder til husdyrene, samt til bioenergiformål. Når skov eller savanne inddrages i dyrkningen, sker der en udledning af CO₂ fra den eksisterende biomasse over eller under jorden, og i mange tilfælde vil der også være en markant reduktion af biodiversitet.

Betydningen af disse arealændringer anslås at svare til ca. 12 % af verdens samlede drivhusgasemissioner, hvor landbruget som sektor (eksklusivt de afledte arealændringer) til sammenligning bidrager med ca. 14 %.

Audsley et al. (2009) beregner, at hver ha beslaglagt dyrkningsareal indebærer en indirekte CO₂-emission på 1,43 tons CO₂, som følge af det øgede pres på jordressourcen. Det fremkommer ved at antage en øget kulstofudledning som følge af ændret arealanvendelse på i alt 8,5 Gt CO₂/år, hvoraf ca. 58 % skyldes landbrugsproduktion, mens den øvrige del skyldes andre forhold som f.eks. infrastruktur. Denne udledning deles groft sagt ud på verdens landbrugsareal (3.457 Mha).

Searchinger et al. (2008) fandt at beslaglæggelse af areal til bioenergi i USA betød en indirekte CO₂-emission på ca. 600 g per m², der blev beslaglagt som følge af ændret global arealanvendelse.

Schmidt et al. (2012) har modelleret CO₂-udledningen (som følge af arealændringer) ved at beslaglægge en ekstra ha dyrkningsjord. Ved denne marginalbetragtning finder de en værdi på 7,83 t CO₂ ækvivalenter per ha landbrugsareal – eller 783 g CO₂ ækvivalenter per m² – som et globalt gennemsnit. Der er dog specifikke estimater for forskellige arealanvendelser og regioner afhængig af den potentielle netto primærproduktion. Denne model gælder for såkaldte 'small scale changes' – altså ændringer, der ikke ændrer de overordnede markedstendenser, og der er ikke inkluderet priselasticitet. Modellen antager, at arealændringer er forårsaget af ændringer i efterspørgslen efter jord, og der antages et globalt marked for jord.

I forbindelse med Kommissionens arbejde med bioenergipolitikken har Kommissionen fået IFPRI (The International Food Policy Research Institute) til at vurdere de indirekte arealændringer ved øget efterspørgsel efter biomasse til bioenergi (Baggrundsrapporten "Assessing the Land Use Change Consequences of European Biofuel Policies"). I et notat til Fødevareministeriet (Hermansen og Knudsen, 2012) er disse tal sammenlignet med estimater, der ville fremkomme efter Schmidt et al.'s metode, og det er konkluderet, at størrelsesordenen af effekterne er den samme.

Ligesom øget efterspørgsel efter biomasse til energiformål giver anledning til arealændringer, vil en omlægning til grøn biomasse gøre det samme. I forhold til udnyttelsen af grønne proteiner vil det således være afgørende for iLUC (indirect land use change), om der opnås et højere eller lavere udbytte ved denne metode. Som det fremgår af det foregående, forventes netop et højere samlet udbytte ved dyrkning af kvælstofgødet græs fremfor korn, hvilket vil være med til at reducere de indirekte arealændringer som den danske husdyrproduktion forårsager.

I eksemplet, hvor der af højtydende kvælstofgødet græs udvindes proteiner til en-mavede husdyr, mens resten anvendes til kvægfoder, er det vurderet, at dette overordnet set kan ske uden at udvide dyrkningsarealet eller at reducere andre afgrøder i Danmark. Dvs. den indirekte effekt er alene en effekt af at reducere arealanvendelse uden for Danmark svarende til den opnåede ekstra produktion af 600.000 tons sojaskrå samt den CO₂-udledning, der er forbundet med dyrkning og transport heraf til Danmark.

Dyrkning, processering og transport til Danmark udleder ca. 520 kg CO₂ per ton sojaskrå (Mogensen et al. 2015). Hertil kommer GHG-udledning som følge af ændret arealanvendelse globalt set med inddragelse af savanne og skov i dyrkningen. Som nævnt er der stor usikkerhed om disse estimater, men tages der udgangspunkt i resultaterne fra Audsley et al. (2009) og Searchinger et al. (2008) ligger de mellem 140 og 600 g CO₂ / m². Der går ca. 3,5 m² til at producere 1 kg sojaskrå (korrigeret for den samproducerede mængde olie) (Dalgaard et al., 2008). Dvs. de indirekte CO₂-udledninger udgør fra 490

kg til 2,1 ton CO₂ per ton sojaskrå. Samlet set vil den øgede produktion af 600.000 ton sojaskrå-
'ækvivalenter' således spare fra 0,6 - 1,6 mio. ton CO₂-emission uden for Danmark.

Beskæftigelseseffekter

Beregninger og vurderinger af beskæftigelseseffekterne ved anvendelse af biomasse til eksempelvis energiformål eller bioraffinering, har hovedsageligt omfattet "gule biomasser" eller en blanding af biomasser, medens der kun er foretaget nogle få vurderinger af beskæftigelseseffekterne ved anvendelse af grøn biomasse. Copenhagen Economics har netop publiceret rapporten "Geografiske beskæftigelsespotentialer i bioøkonomi", rapporten bygger i vid udstrækning på resultaterne fra "+10 mio. tons planen". CE vurderer, at en fuld udrulning af bioøkonomien vil skabe en samlet vedvarende beskæftigelseseffekt i størrelsesordenen 23.700 årsværk. Heraf vurderes knapt 80 % svarende til 18.500 årsværk at være knyttet til landdistrikterne.

Der er ikke i rapporten foretaget vurderinger af beskæftigelseseffekterne af anvendelse af grøn biomasse til proteinproduktion, men det anføres dog i rapporten, at udnyttelse af den grønne biomasse vil have væsentlige positive beskæftigelsesmæssige effekter.

I de to nedenstående eksempler er der beregnet beskæftigelseseffekter på specifikke eksempler, der delvist kan sammenlignes med anvendelse af græs til bioraffinering.

Udnyttelse af 325.000 tons biomasse fra vedvarende græsarealer til biogas

Som det er tilfældet med halm, er der også behov for forbehandling af græs ved hjælp af en ekstruder, hvis græsset skal afgasses i gyllebaserede biogasanlæg. I notatet af Hermansen et al. (2014) regnes med et årligt realiserbart biomassepotentiale på 325.000 tons fra græs, svarende til et vedvarende græsareal på 50.000 ha. Græs skal forbehandles ved hjælp af en ekstruder, hvis græsset skal afgasses i et gyllebaseret biogasanlæg. De 325.000 tons ekstra biomasse angives at kunne behandles på 13 anlæg.

Den direkte beskæftigelseseffekt er estimeret til 92 fuldtidsstillinger pr. år, mens afledte beskæftigelseseffekter er opgjort til 14 fuldtidsstillinger.

Udnyttelse af 1,6 mio. tons efterafgrøder til biogas

I modsætning til tørt græs, så kan biomasse indhøstet fra efterafgrøder umiddelbart anvendes i biogasanlægget uden forbehandling. Notatet af Hermansen et al. (2014) opgør, at der er et potentiale på 1,6 mio. tons efterafgrøde, svarende til 650.000 tons tørstof eller 430.000 ha med efterafgrøder. Dette vil dog kræve optimeret dyrkning.

Den afledte effekt på brutto faktor indkomsten (BFI-effekt) er beregnet til 53 mio. kr. årligt, fortrinsvis relateret til bjærgning af biomassen, og direkte og afledte beskæftigelseseffekter andrager ca. 800 fuldtidsbeskæftigede, heraf over 700 i primærproduktionen. Ved indførelse af en arbejdskraftbesparende teknologi reduceres beskæftigelseseffekten til 444 fuldtidsbeskæftigede.

I rapporten "Analyse af det regulerings- og støttemæssige landskab for biomasseanvendelse" (COWI feb. 2015) har COWI anslået, at der ved anvendelse af grøn biomasse til proteinfoder vil blive skabt to varige (1,99) arbejdspladser for hver million kr., der investeres i branchen.

Dette vil svare til, at der for det nedenfor beskrevne centrale bioraffinaderi-eksempel vil blive skabt i størrelsesordenen 1.000 arbejdspladser ved investering i et centralt bioraffinaderi (jf. tabel 6).

Udfordringer - Lagring og Logistik

Omkostningerne til håndtering, lagring og transport udgør en væsentlig del af de samlede udgifter ved produktion fra grøn biomasse. Logistikken i forbindelse med håndtering og udnyttelse af de grønne biomasser kan opdeles i fire logistikniveauer: markniveau, mellem marker, mellem sektorer og inter-regionalt. For en del af de gule biomasser, som f.eks. træflis og –piller, er der en stor interregional logistik, men for de grønne biomasser vil denne være begrænset, da biomassen indeholder meget vand. Det kan derfor være en nødvendig del af optimeringen af logistikken at få reduceret mængden af vand, som bringes videre. Fælles for alle de grønne biomasser gælder, at de kun er tilgængelige i en del af året på vores breddegrader. I en lang periode fra sidst på efteråret frem til foråret er det ikke muligt at bjærge frisk biomasse. Det kan derfor være nødvendigt at opbevare biomasserne eller produkter heraf i en længere periode for at sikre en kontinuert produktion eller leverance af produkter.

Når de grønne biomasser skal anvendes til højværdiprodukter og energi, er det vigtigt for produktionen at have en kontinuert tilførsel af en biomasse i en forudsigelig kvalitet. Både for selve produktionen, men også da dette kan nedbringe anlægsomkostningerne til eksempelvis lagerkapacitet og reaktortanke i forbindelse med etableringen af faciliteterne. Fælles for de grønne biomasser er ligeledes, at de har et så højt vandindhold, at de ikke umiddelbart er lagerstabile, når de høstes. For at gøre biomasserne lagerstabile skal de enten tørres eller holdes iltfrie, således at forringelse af kvaliteten undgås. Tørring er dyrt, med mindre biomassen kan tørres på marken af sol og vind. Iltning mindskes ved ensilering, pakning og gastæt opbevaring eller ved at foretage en behandling af biomassen, som konserverer produkter eller mellemprodukter, således at disse bevarer deres værdi. Derudover afhænger lagertab også af faktorer såsom biomassens sukkerindhold, temperatur og pH.

Der er lang erfaring med høst, bjærgning og lagring af grøn biomasse til foderbrug. Generelt gælder, at det drejer sig om at foretage så få operationer i håndteringen som muligt, og at biomassen lagres hurtigst muligt efter høst og eventuel tørring. Høsttidspunktet er afhængigt af anvendelsen af biomassen. For græs gælder det eksempelvis, at proteinindholdet ændres gennem sæsonen. Da der høstes 3-4 gange for at opnå optimal biomasseproduktion, kan kvaliteten af de enkelte slet variere.

Der findes en række værktøjer til optimering af logistik specielt til ruteoptimering mellem forskellige destinationer. Desuden er der på universiteterne udviklet programmer til optimering af høst og indsamling af biomasser på de enkelte marker, og der arbejdes på at gøre oplysninger i forbindelse med de enkelte operationer tilgængelige online.

Udfordringer – driftsøkonomien

I afsnit 2.1 er beskrevet den grønne biomasses produktionspotentialer, mens afsnit 2.2 beskriver potentialerne ved bioraffinering af grøn biomasse. I dette afsnit vurderes de økonomiske potentialer ved produktion af ”grøn protein” og andre højværdiprodukter gennem bioraffinering af grøn biomasse. Tabel 5 viser dækningsbidragskalkuler for produktion af græs henholdsvis som flerårig sædskiftegræs og ved optimeret dyrkning (se afsnit 2.1).

Da den optimerede driftsform ikke praktiseres i Danmark på nuværende tidspunkt, er denne kalkule forbundet med større usikkerhed end kalkulen for normgødsket græs i omdrift. Kalkulerne til udregning af dækningsbidragene har taget udgangspunkt i afgrøden ”vedvarende græs til slæt” opstillet i budgetkalkulerne 2014 (farmtalonline.dk). Der er dog foretaget justeringer i udbytter, N, P og K input, antal slæt og omkostninger til maskiner for at reflektere de forskellige typer produktion. Som det fremgår ligger dyrkningsomkostningerne på 694 kr./t TS for optimeret grøn biomasse på lerjord til 874 kr./t TS for flerårig sædskiftegræs på vandet sandjord.

Ved produktion og salg af en fiberfraktion og en proteinfraktion som beskrevet i afsnit 2.2 vil der med de anførte priser i alle tilfælde være tale om et positivt dækningsbidrag II. Det er dette beløb der skal dække omkostningerne til bioraffineringen.

Tabel 5. Produktivitet og dækningsbidragskalkule for forskellige dyrkningssystemer for sand/vandet sand/ler*.

	Græs i omdrift (Norm) (350 kg N/ha)	Optimeret grøn biomas- se (425 kg N/ha)
PRODUKTIVITET		
Tørstof (ton)	9/10/10	13/14/14
Foderenheder fiberfraktion (FE)	4644/5080/5080	6628/7257/7257
Foderenheder protein (FE)	2179/2383/2383	3109/3404/3404
DÆKNINGSBIDRAG		
Nettoindtægt** kr./ha	11087/12184/12184	15839/17406/17406
Omkostninger til udsæd, N, P, K (kr./ha)	3817/3817/3697	6183/6183/6183
Dækningsbidrag I, kr./ha	7270/8357/8487	9657/11223/11223
Maskin- og arbejdsomkostninger (kr./ha)	3474/4716/3501	3474/4716/3501
Dyrkningsomkostninger pr. ton tørstof (kr./t TS)***	821/874/737	761/781/694
Dækningsbidrag II (kr./ha)	3796/3651/4986	6182/6508/7722

*De tre niveauer i hver celle refererer til niveauerne for hhv. sand/vandet sand/ler.

**Pris på 1,18 kg/FE fiberfraktion; 2,54 kr./FE protein

***Omkostninger er uden ensilering.

Tabel 6 viser estimerede resultatopgørelser for to bioraffinaderi "eksempler", henholdsvis et centralt og et decentralt bioraffinaderi på lerjord. Der er således mulighed for at sammenligne de to størrelser af bioraffinaderier.

Tabel 6. Resultatopgørelse for bioraffinering af grøn biomasse på lerjord på centralt og decentralt anlæg.

Bioraffinering	Centralt anlæg	Decentralt anlæg
Protein koncentrat		13.410.000
Opgraderet protein koncentrat	170.992.400	
Græsfibre	97.758.900	13.983.650
Indtjening, kr.	268.751.300	27.393.650
Dyrkning	104.871.429	13.982.857
Transport	27.937.500	
Omkostning I, kr.	132.808.929	13.982.857
DB I, kr.	135.942.371	13.410.793
Energiforbrug, kr.	44.700.000	1.788.000
Aflønning, kr.	5.587.500	745.000
Vedligehold, kr.	20.860.000	745.000
Omkostning II, kr.	71.147.500	3.278.000
DB II, kr.	64.794.871	10.132.793
Rente og afskrivning, kr. pr. år	41.846.509	1.435.500
Raffineringsomkostning pr. ton TS	940	236
Samlede omkostninger, kr.	245.802.938	18.696.357
Resultat af primærdrift, kr.	22.948.362	8.697.293
Intern rente, %	10,84	67,98

Beregningerne bygger hovedsageligt på Ambye-Jensen og Adamsen (2015b) samt egne beregninger til dette notat. Data stammer fra projekteringsmateriale, der beskriver de to bioraffinaderi-eksempler, udarbejdet i forbindelse med BIOVALUE-projektet og opbygningen af AU BIOBASE. Det centrale bioraffinaderi-eksempel bygger på et anlæg, der behandler 150.000 ton tørstof grøn biomasse/år, anlægget er tænkt placeret i forbindelse med et biogasanlæg og har opgraderet proteinkoncentrat og græsfibre som salgsprodukter. Det decentrale anlæg er også tænkt placeret i tilknytning til et biogasanlæg og behandler 20.000 ton tørstof grøn biomasse/år. Salgsprodukterne er her proteinkoncentrat og græsfibre.

Som det fremgår af Tabel 6 giver begge anlægsstørrelser et positivt økonomisk resultat, dog sådan at målt på forrentning af investeret kapital er det decentrale klart det bedste. Se i øvrigt Ambye-Jensen og Adamsen (2015b) for en nærmere beskrivelse af de økonomiske resultater. Det skal her bemærkes, at ovenstående resultater afviger noget i forhold til resultaterne beskrevet i Ambye-Jensen og Adamsen (2015). Det skyldes, at råvareomkostningerne er sat væsentlig højere end beregnet i dette notat. Da råvareomkostningerne udgør omkring halvdelen af de samlede omkostninger, vil dette naturligvis påvirke det samlede økonomiske resultat.

Udfordringer – reguleringsmæssige barrierer

Omstilling til indlandsproduktion af grøn biomasse har potentielt en række miljømæssige gevinster, som beskrevet ovenfor. Disse gevinster kommer dog ikke til udtryk i det driftsøkonomiske afkast fra landmandens arealanvendelse, og den enkelte landmand har derfor ikke et incitament til at inddrage disse effekter i beslutningstagning om arealanvendelsen. Kvælstofudledning fra landbruget har i Danmark været reguleret væsentligst gennem normreguleringen, hvor N-tilførslen til en afgrøde er begrænset til en mængde, der ligger 10 % under den økonomisk optimale tildeling. Nye resultater viser, at N-tilførslen ved N-normen nu reelt ligger 16 % under den økonomisk optimale tildeling (DØRS 2015, side 51). Denne model betyder, at N-reguleringen er baseret på restriktioner i anvendelse af kvælstof i produktionen. Det ville være fordelagtigt i stedet at regulere på udvaskningen (emissioner til vandmiljøet), da dette er miljøeffekten, som man ønsker at regulere for at opnå forbedring af vandkvaliteten i ferske og marine økosystemer. Den eksisterende regulering af forbruget af kvælstof betyder, at der ikke er et incitament for landmanden til at omlægge til afgrøder, som har en mindre kvælstofudvaskning. Miljøgevinsten for samfundet ved at konvertere fra kornbaseret drift til produktion af grøn biomasse bliver derfor ikke indregnet som en gevinst i den gældende regulering. Der er væsentlige praktiske udfordringer i at basere regulering på emissioner til vandmiljøet, da det ikke er muligt at måle emissionerne fra den enkelte bedrift. Der er dog blevet foreslået andre reguleringsmodeller for i højere grad at regulere kvælstof på en mere økonomisk optimal måde. Se f.eks. kapitel i rapporten fra det miljøøkonomiske råd i 2015 (DØRS, 2015).

EU-regulering tilsiger, at græs skal omlægges minimum hvert 5. år for at kunne kvalificere til EU's grundbetaling til landbrugsproduktion i omdrift. Overholdes dette krav ikke, overgår arealet til permanent græs. En stor del af udvaskningen fra græsarealer er relateret til omlægningen. Som beskrevet i afsnit 2.4 vurderes det, at det er muligt at opretholde produktiviteten i græs over længere perioder end de omdriftsperioder, der typisk praktiseres i Danmark på 2-3 år. Dette er dog ikke muligt under eksisterende regulering uden væsentlig reduktion i EU-støtten.

En øget N-norm for græs til bioraffinering er dog også forbundet med reguleringsmæssige udfordringer, da det vil være vanskeligt at kontrollere, om den øgede kvælstofmængde bliver anvendt på de marker, der producerer den grønne biomasse og derfor har lav udvaskning. Der kan opstå incitamenter til at anvende det ekstra kvælstof på andre marker.

Opsummering af baggrundsinformation

Langt størstedelen af det danske landbrugsareal anvendes til dyrkning af korn. Korn er forholdsvis nemt at dyrke, høste, transportere, opbevare og forarbejde. De almindelige kornarter er imidlertid ikke særlig effektive i forhold til at udnytte hverken sollys eller gødning. I modsætning hertil vokser græs og flere andre grønne afgrøder i en langt større del af året og er således bedre til at udnytte sollys og gødning. De grønne afgrøder kan under danske forhold give et langt højere udbytte end korn. Samtidig er der typisk mindre nitratudvaskning fra de grønne afgrøder og næsten intet behov for anven-

delse af pesticider. Langt størstedelen af det korn, som dyrkes på de danske marker, anvendes til grisefoder, men kornet har et for lavt proteinindhold i forhold til grisens behov. Derfor består en del af grisens foder af importeret sojaprotein. Sojaen kommer primært fra Sydamerika, hvor den danske import har indflydelse på arealanvendelsen og dermed også afledte miljøproblemer forbundet med sojadyrkningen. Det er derfor interessant at afdække, om det er muligt at producere proteinfoder på basis af grønne biomasser dyrket i Danmark. Perspektivet er at trække det vandopløselige protein ud, konservere eller tørre det og anvende det som letfordøjeligt protein som substitut for soja. Den resterende fraktion kan anvendes til kvægfoder, bioenergi og biobaserede materialer. Det vil være i overensstemmelse med visionerne om at erstatte fossile råstoffer med biobaserede råstoffer. Eksemplerne i notatet viser, at på grund af den højere produktivitet af græs, er det muligt at producere protein af kvalitet som sojaskrå og samtidig producere den samme mængde kvægfoder som under den nuværende produktion.

Proteinproduktionen til foder er potentielt et meget stort marked, men også et meget prisfølsomt marked. Konkurrencedygtig teknologi vil derfor være en forudsætning for, at potentialerne i den grønne biomasse vil blive realiseret i foderproduktionen.

Protein til foder er imidlertid ikke det eneste potentiale i de grønne biomasser. Specielt har de grønne biomasser et potentiale i forhold til foder og fødevaringredienser samt produkter med medicin- og ernæringspotentiale. Sådanne produkter er mindre prisfølsomme, men den potentielle markeds- og produktudvikling er mere usikker.

Der er dog nogle udfordringer, som skal løses før grøn biomasse kan udfylde potentialet. Den første udfordring er at få proteinet ud af de grønne biomasser i en kvalitet og til en pris, som er konkurrencedygtig i forhold til sojaprotein. Dernæst er der en udfordring i at omsætte restproduktet til et produkt, der er efterspørgsel på. Endelig er der en række udfordringer, som knytter sig til høst, transport, lagring og forarbejdning af de grønne biomasser. Især er den store vandmængde en udfordring.

Under den eksisterende praksis i græsdyrkning viser budgetkalkulerne, at græs på mange jorde ikke vil være konkurrencedygtig med et almindeligt kornsædskifte, da disse sædskifter har højere dækningsbidrag end græs i omdrift. Optimeret græsdyrkning kan dog potentielt være konkurrencedygtig. Disse dyrkningssystemer er dog på nuværende tidspunkt kun afprøvet i forskningsprojekter og afprøvning under mere praksisnære forhold vil være nødvendig for endelige konklusioner.

Effekten af omlægning fra et kornsædskifte til græs i kort omdrift på kvælstofudvaskningen til overfladevand fra dyrkede marker kan estimeres til ca. 20 kg N/ha. Det vurderes, at optimeret græsproduktion i lang omdrift vil kunne opnå en væsentlig højere kvælstofreduktion svarende til hidtidige målinger i vedvarende græsarealer, der viser en reduktion på 50 kg N/ha. Foreløbige forskningsresultater understøtte dette, men det er nødvendigt at følge forsøgene i en længere årrække for mere

præcist at kunne validere de potentielle effekter på vandmiljøet af omlægning til optimeret grøn biomasseproduktion i lang omdrift. Effekten på emissionen af klimagasser er ligeledes forbundet med usikkerhed.

Baggrundsinformationerne peger ligeledes på en række reguleringsmæssige barrierer for, at grøn biomasse kan opfylde det produktions- og miljømæssige potentiale. Specielt peges på at normreguleringen ikke giver et incitament til at fremme afgrøder, der giver reduktioner i udvaskningen til vandmiljøet. Derudover modarbejdes dyrkning af græs i lang omdrift af kravet om omlægning af græsmarkerne mindst hvert 5. år for at opnå EU-støtte.

Illustration af produktions- og miljøpotentialerne i grøn biomasse

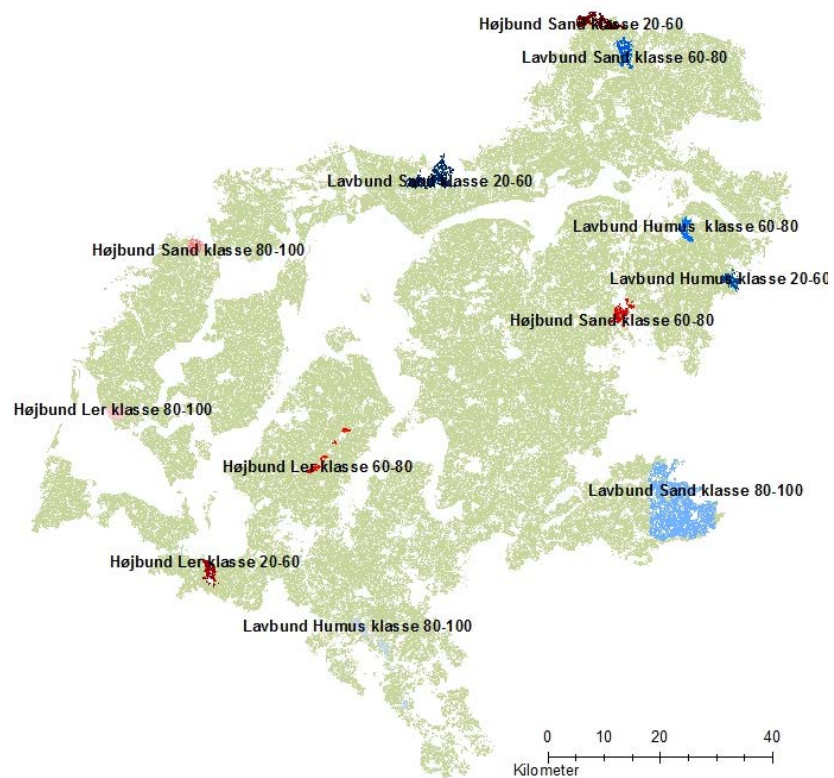
For at få en øget indsigt i de driftsøkonomiske og miljøøkonomiske konsekvenser af konvertering fra kornsædskifte til græs i omdrift er der foretaget en analyse for 12 konkrete områder i Limfjordenens opland. Hvert af områderne er udvalgt, så de repræsenterer et areal, der ville kunne føde et lille decentralt bioraffineringsanlæg. Det hollandske mobile anlæg (Sanders, 2015), der har en kapacitet på 500 ha grøn biomasse er brugt som inspiration. Disse anlæg er dermed væsentlig mindre end de decentrale anlæg, man har analyseret i Danmark. Da driftsøkonomien, kvælstof- og klimaeffekterne vil variere med jordtype og hydrologi, er områderne valgt, så de repræsenterer de mulige kombinationer af jordbundstype (ler, sand), retention (høj, middel, lav) og højbund/lavbund (Figur 6). Områderne er dermed valgt for at illustrere variationen i oplandet.

Den udførte analyse skal illustrere forskellen på den eksisterende drift og scenarier for konvertering til grøn biomasse for det beregnede samlede dækningsbidrag og miljøeffekterne. Ændringen i dækningsbidraget er dermed forskellen mellem dækningsbidraget for græsproduktionen beregnet under forudsætningerne givet i afsnit 2.8 og dækningsbidraget for den nuværende afgrødeproduktion i området, beregnet ud fra budgetkalkulerne i farmtalonline (2015). Kvælstofeffekten er beregnet på baggrund af effekterne angivet i afsnit 2.5 og værdisat ud fra en skyggeprisberegning (marginalomkostningerne, der er taget fra DØRS 2015; Hasler et al., 2015). Dermed er værdien af konvertering udtrykt ved reduktion i omkostningerne ved at opnå vandmiljømålene i Limfjorden. Klimaeffekten er estimeret ud fra effekterne angivet i afsnit 2.5 og værdisat på baggrund af den marginale CO₂-reduktionsomkostning ved den danske målsætning for den ikke kvotebelagte sektor, KEBMIN (2013). Dette betyder, at beregningerne opgjort i Tabel 7 kun inkluderer de miljøeffekter, der er omfattet af de danske kvælstofmålsætninger og de klimaeffekter, der inkluderes i de danske opgørelser af klimagasser. Potentielle afledte effekter i form af iLUC er ikke medtaget i disse beregninger.

Tabel 7. Økonomiske konsekvenser for dækningsbidrag, kvælstof- og klimaeffekt som følge af omlægning til normgødet græs til bioraffinering i kort omdrift og optimeret græsproduktion i lang omdrift. Variationen (i parenteserne) dækker over forskelle mellem jordtyper og retentionsforhold.

Kr/ha	Norm gødet græs kort omdrift	Optimalt gødet græs lang omdrift
Ændring i dækningbidrag gns (min:max)	27 (-1653:1309)	2637 (1084:3828)
Ændring i kvælstofværdien gns (min:max)	547 (2:1145)	1128 (4:2247)
Ændring i klimaværdien Gns (min:max)	723 (445:838)	419 (165:532)
Ændring i økonomisk værdi (biomasse, vandmiljø og klima) gns (min:max)	1296 (-537:2904)	4184 (2346:6288)

Beregningerne viser, at der er store forskelle i det driftsøkonomiske og miljøøkonomiske potentiale af konvertering til græs mellem de 12 illustrerede lokaliteter for placering af et decentralt bioraffinaderi. Det privatøkonomiske incitament til omlægning af kornsædskifte til normgødet græs i omdrift er meget lille. Ifølge beregningerne er gevinsten i gennemsnit 27 kr./ha. Ved at inkludere miljø- og klimagevinster øges denne gevinst til 1296 kr./ha. Beregningerne viser også, at der synes at være en netto privatøkonomisk gevinst ved omlægning til optimeret græsdyrkning til bioraffinering i de 12 områder, og at denne gevinst er større, når miljø- og klimagevinsterne indregnes. Der er store usikkerheder på opgørelsen af klimaeffekter ved konvertering af kornsædskifter til græsdyrkning. Det har stor betydning hvilke forudsætninger, der gøres omkring hvilke arealer, der konverteres og den økonomiske værdi af CO₂ binding. I nærværende arbejde forudsættes det, at det er kornafgrøder, der konverteres, og alternativomkostningen i den ikke kvotebelagte sektor bruges til at ansætte værdien af klimaeffekten.



Figur 6. Udvalgte områder til illustrative beregninger af produktions-, kvælstof- og klima-effekter.

Konklusioner og indsatsområder

Den store import af protein ønskes fra flere sider erstattet af dansk produceret protein, bl.a. af hensyn til klimapåvirkning og lokalmiljøet, hvor den importerede protein kommer fra. Nye kilder til grønne proteiner, produceret i Danmark og med færre miljøpåvirkninger, er i fokus i flere forskningsprojekter. Der er dog en række udfordringer, der skal løses inden den sydamerikanske soja kan erstattes af grønne proteiner. Den største udfordring er teknologisk udvikling inden for bioraffinering af biomasse af forskellig oprindelse til højproteinfødestoffer, der er optimeret til hhv. en-mavede og flermavede dyr. Med teknologisk udvikling kan det forventes, at produktionen af protein fra nye kilder optimeres, også miljø- og klimamæssigt. Hvor meget afhænger af udviklingen af nye produktionssystemer, i hvilken grad de erstatter eller supplerer nuværende proteinkilder, og ikke mindst prisen og kvaliteten sammenlignet med eksisterende proteinkilder. Landbrugserhvervet og fødestofproducenter er i global konkurrence og foruden regulering og krav fra forbrugere, er det prisen, der afgør hvilke proteinfødestoffer, der indgår i husdyrproduktionen. Der er identificeret et potentiale for udvikling og produktion af højværdiprodukter fra den grønne biomasse, men der er kun få eksempler på kommercialisering af produkterne.

Græsdyrkning har hidtil været optimeret mod fødestofproduktion til kvæg, og der vil være et potentiale i at udvikle dyrkningssystemer og sorter, som er optimeret til biomasseproduktion. Proteinindholdet i græsser er væsentligt lavere end i kløver, men med udbytter på over 20 tons tørstof pr. ha, som man eksempelvis høster i rajsvingel i forskningsforsøg, vil selv en moderat forbedring af proteinindholdet have en markant effekt på det samlede proteinudbytte. Miljøpåvirkningerne vil også kunne reduceres markant ved omlægning fra traditionelle enårige sædskifter til flerårige afgrøder eller ved optimering af enårige dyrkningssystemer med dobbeltafgrøder o.l.. Der er dog behov for at få yderligere verificeret miljøeffekterne af konvertering fra kornsædskifte til græs til bioraffinering. Desuden er der behov for øget viden om optimal proteinsammensætning og -tilgængelighed, antinutritionelle faktorer mm., og nye lovende forædlingsværktøjer (præcisionsforædling) vil kunne bruges til at forædle græsserne mod bioraffinering.

Den nuværende kvælstofregulering er ikke et incitament til, at der dyrkes med henblik på fuld udnyttelse af det miljømæssige potentiale af den grønne biomasse. Landbrugsreguleringens krav om omlægning af græsmarker kan også være en barriere for den mest optimale græsproduktion. Med udfordringerne omkring vandmiljøet og klimamålsætningerne er det vigtigt, at initiativer på bioøkonomi-området sammentænkes med øvrige politikker, der påvirker landbrugets arealanvendelse. Analyserne i notatet peger på, at der er væsentlige miljømål, der kan hjælpes på vej ved optimeret dyrkning af grøn biomasse. Analyserne peger dog også på, at valg af dyrkningssystem er meget væsentligt for de opnåede effekter, og at der er stor geografisk variation i miljøeffekterne. Det er derfor vigtigt, at disse forhold indtænkes i eventuelle reguleringsinitiativer på området.

Fra forskning på området ses det, at Holland har gjort en stor indsats omkring udvikling af grundlaget for bioøkonomien. Det kan derfor være fordele for Danmark ved at engagere sig tættere med relevante partnere i Holland. Eksempelvis har hollænderne erfaring med udvikling og afprøvning af decentrale anlæg, som Danmark med fordel kan lære af for at opnå praksisnære erfaringer med logistik, proces og produktudvikling.

Både Holland og Danmark er højt udviklede landbrugs- og fødevareproducerende lande. Samtidigt er både Danmark og Holland engagerede i at fremme en bæredygtig bioøkonomi. I Holland har især regeringen og industrien været drivere for bioøkonomien, og både for den danske regering og danske virksomheder kan det være interessant at erfaringsudveksle med hollandske interessenter.

Kilder

Andersen, Hans Estrup, Ruth Grant, Gitte Blicher-Mathiesen, Poul Nordemann Jensen, Finn P. Vinther, Peter Sørensen, Elly Møller Hansen, Ingrid K. Thomsen, Uffe Jørgensen, Brian Jacobsen. 2012. Virkemidler til N-reduktion – potentialer og effekter. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi 30. januar 2012. Revideret: 27. februar 2012.

Ambye-Jensen, M. & Adamsen, A.P.S. 2015. Green Biorefinery concept producing local feed protein feasibility study and comparison of central vs. decentral implementation. 11th International Conference on Renewable Resources and Biorefineries (RRB11), York, UK, June 3-5, 2015. Available at Researchgate.net.

Audsley E, Brander M, Chatterton J, Murphy-Bokern D, Webster C, Williams A (2009) How low can we go?. An assessment of greenhouse gas emissions from the UK food system and the scope for reducing them by 2050. WWF-UK.

Bosselmann, A. S., Jensen, M. V., & Gylling, M., (2015). Proteinforbrug i danske konventionelle og økologiske husdyrproduktioner, 13 s., (IFRO Udredning; Nr. 2015/02).

Børgeesen, C.D., Jensen, P.N., Blicher-Mathiesen, G., Schelde, K. 2013. Udviklingen i kvælstofudvaskning og næringsstofoverskud fra dansk landbrug for perioden 2007-2011. Evaluering af implementerede virkemidler til reduktion af kvælstofudvaskning samt en fremskrivning af planlagte virkemidlers effekt frem til 2015. DCA rapport nr. 31, 153 pp. Aarhus Universitet.

CE, 2015. Geografiske beskæftigelsespotentialer i bioøkonomi. Copenhagen Economics, Fagligt Fælles Forbund 16 Juni 2015

COWI, 2015. Analyse af det regulerings- og støttemæssige landskab biomasseanvendelse.

Dalgaard, R., Schmidt, J. et al. 2008. LCA of Soybean Meal. International Journal of LCA 13, s. 240–254. DCA, 2014. Notat vedr. Udviklingen af kvaliteten af dansk korn. Aarhus Universitet, Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug.

Danish Environmental Protection Agency, 2015. Danish Report in accordance with the Commission Decision 2005/294/EC, 2008/664/EC and 2012/659/EU.

DØRS (2015). Vandramme direktiv og kvælstofregulering, kapitel i Økonomi & Miljø 2015.

Ecker J., Schaffenberger M., Koschuh W., Mandl M., Böchzelt H.G., Schnitzer H., Harasek M., Steinmüller H., 2012. Green Biorefinery Upper Austria – Pilot Plant operation. Separation and Purification Technology 96, 237–247.

Eriksen, J, Vinther, FP, Søgaard, K. (2004) Nitrate leaching and N₂-fixation in grasslands of different composition, age and management. *Journal of Agricultural Science* (2004), 142, 141–151.

Eriksen, J., Jensen, P. N., Jacobsen, B. H. (redaktører). 2014. Virkemidler til realisering af 2. generations vandplaner og målrettet arealregulering. DCA rapport Nr: 052. DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug.

Farmtalononline (2015): Budgetkalkuler. Tilgængelig på:
www.farmtalononline.dk, [Set 13. Maj 2015].

Gylling, M, Jørgensen, U. Bentsen, N.S. Toft, I. Dalsgaard, T. Felby, C. Kvist, V. (2012). +10 mio. tons planen: muligheder for en øget dansk production af bæredygtig biomasse til bioraffinaderier Fødevarerøkonomisk Institut, Københavns Universitet, 2012. 32 s.

Hasler, B; Hansen, L B; Andersen, H E; Konrad, M. (2015) Modellering af omkostningseffektive reduktioner af kvælstoftilførslerne til Limfjorden. Dokumentation af model og resultater. Aarhus University, DCE - Danish Centre for Environment and Energy, 31 s.

Hermansen, JE og Knudsen, MT. 2012. Notat til Fødevarerministeriet vedrørende: Grundlaget for ILUC måltal for raps og soja i forslag til revidering af EU direktiver vedrørende biobrændstoffer, 6pp

Hermansen, JE, Jørgensen, U, Lærke, PE, Møller, HB. (2014) Notat om mulige støtteordninger under det danske landdistriktsprogram til fremme af bioøkonomi og biomasseproduktion. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug 17 februar 2014

Houseman, RA & Connel, J. 1976. The utilization of the products of green-crop fractionation by pigs and ruminants. *Proc. Nutr. Soc.* 35, 213-220.

IFRO, 2014. Miljømæssige konsekvenser ved den danske import af majs og soja til svinefoderproduktionen. IFRO Udredning. Bosselmann, A.S., Gylling, M. Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, KU.

IFRO, 2012. Danmarks rolle i de globale værdikæder for konventionel og certificeret soja og palmeolie. IFRO Udredning 2012/13. Bosselmann, A.S., Gylling, M. Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, KU.

Jørgensen, Uffe; Elsgaard, Lars; Sørensen, Peter; Olsen, Preben; Vinther, Finn Pilgaard; Kristensen, Erik Fløjgaard; Ejrnæs, Rasmus; Nygaard, Bettina; Krogh, Paul Henning; Bruhn, Annette; Rasmussen, Michael Bo; Johansen, Anders; Jensen, Søren Krogh; Gylling, Morten; Bojesen, Mikkel. Biomasseudnyttelse i Danmark - potentielle ressourcer og bæredygtighed. DCA - Nationalt center for fødevarer og jordbrug, 2013. 127 p. (DCA Rapport; No. 033).

KEBMIN (2013). Regeringens Klimaplan: På vej mod et samfund uden drivhusgasser.

Mogensen, L., Hermansen, J.E., Nguyen, L., Preda, T. 2015. Environmental impact of beef. DCA report 61, 81 pp

Møller, S., Sloth, N.M. 2014. Videncenter for Svineproduktion, Notat nr. 14XX. 6 pp. Næringsindhold i korn fra høsten 2014 - foreløbige resultater.

O'Keeffe, S., R. Schulte, J. Sanders and P. Struik (2012). "II. Economic assessment for first generation green biorefinery (GBR): Scenarios for an Irish GBR blueprint." Biomass and Bioenergy 41: 1-13.

Olesen JE, 2002. Climate effects on crop and biomass production in Northern Europe. In Fenger, J., Bruaset, U. (Eds.) Climate impacts on energy production and energy use in the Nordic and Baltic region. Proceedings of workshop organised by Nordic Energy Research. p. 19-20.

Pirie NW, 1987. Leaf Protein - And Its By-products in Human and Animal Nutrition, Cambridge University Press, ISBN 0521330300, 9780521330305

Sanders, J. (2015). Præsentation til arbejdsgruppen for grøn biomasser under det nationale bioøkonomi panel.

Searchinger, T., Heimlich, R., Houghton, R.A., Dong, F., Elobeid, A., Fabiosa, J., Tokgoz, S., Hayes, D., Yu, T.H. 2008 . Use of U.S croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. Science 329: 1230-1240

Schmidt JH, Reinhard J, Weidema B (2012) A model of indirect land use change. 8th international conference on LCA in the agri-foodsector, Rennes, France, 2-4 October 2012.

DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug er den faglige indgang til jordbrugs- og fødevareforskningen ved Aarhus Universitet (AU). Centrets hovedopgaver er videnudveksling, rådgivning og interaktion med myndigheder, organisationer og erhvervsvirksomheder.

Centret koordinerer videnudveksling og rådgivning ved de institutter, som har fødevarer og jordbrug, som hovedområde eller et meget betydende delområde:

Institut for Husdyrvidenskab
Institut for Fødevarer
Institut for Agroøkologi
Institut for Ingeniørvidenskab
Institut for Molekylærbiologi og Genetik

Herudover har DCA mulighed for at inddrage andre enheder ved AU, som har forskning af relevans for fagområdet.