

# MERPRODUKTION OG MINDRE UDLEDNING I GRÆSMARKEN

**Omlægning til flerårige græsser kan sikre opfyldelse af en række miljømålsætninger i landbruget og understøtte en lokal produktion af protein**

---

Uffe Jørgensen seniorforsker Inst. for Agroøkologi, Aarhus Universitet. uffe.jorgensen@agro.au.dk  
og

Poul Erik Lærke seniorforsker Inst. for Agroøkologi, Aarhus Universitet. poule.laerke@agro.au.dk

## **Sammendrag**

Produktion af flerårige afgrøder reducerer tabet af næringsstoffer, nedsætter behovet for pesticider samt understøtter jordens kulstofindhold sammenlignet med produktion af enårige korn- og frøafgrøder. Omlægning til flerårige afgrøder kan således være med til at understøtte gennemførelsen af EU's Vandrammedirektiv og Nitratdirektivet samt understøtte de nye EU-mål for reduktion af drivhusgasser i landbruget.

Danmark har et særligt sårbart vandmiljø på grund af et stort landbrugsareal, en stor andel med sandjord, en lang kystlinje og meget nedbør. I nogle landbrugsområder skal kvælstofudvaskningen reduceres markant for at opfylde kravene i Vandrammedirektivet, og der vil kræves radikale ændringer for stadig at kunne opretholde en rentabel afgrødeproduktion. Nationale scenarier viser, at der kan produceres op til 10 millioner tons ekstra biomasse i Danmark uden at reducere fødevarerproduktionen eller øge det dyrkede areal, hvis industriel bioraffinering udvikles og implementeres. I et af scenarierne, hvor der blev opnået yderligere miljøfordele, blev der estimeret en reduktion af nitratudvaskningen på ca. 23.000 tons N årligt fra afgrødernes rodzone. Det svarer omtrent til den reduktion, der kræves for at kunne opfylde Vandrammedirektivets krav for Danmark. Selvom langt mere organisk materiale vil blive anvendt til bioraffinering, skønnes kulstofniveauet i jorden at være stort set uændret i dette miljøscenario. Scenariet blev beregnet ved at konvertere ca. 9 % af landbrugsjorden fra etårige afgrøder til flerårige græsser.

Nye forsøgsresultater understøtter, at forbedrede dyrkningssystemer i nogle tilfælde fordobler det samlede biomasseudbytte, samtidig med at kvælstofudvaskningen reduceres markant, når der omlægges arealer fra kornproduktion til græsproduktion. Græsser og bælg-sæd har et højere indhold af protein med bedre kvalitet (højt lysin- og methioninindhold) end korn- og frøafgrøder. Hvis det lykkes at ekstrahere og formulere græsproteinet til et konkurrencedygtigt foderprodukt, giver det en interessant mulighed for at erstatte noget af den importerede protein fra sojabønner.

Denne artikel er baseret på kapitlet "Perennial Grasses for Sustainable European Protein Production" trykt i "Perennial Biomass Crops for a Resource-Constrained World. Barth, S., Murphy-Bokern, D., Kalinina, O., Taylor, G., Jones, M. (eds.), Springer International Publishing Switzerland (2016), s. 33-41".

## Europæisk landbrug er udfordret

Nytænkning i landbruget har gennem tiderne været med til at understøtte udviklingen af det moderne samfund. Udviklingen er sket ved en kombination af mange små trinvis innovationer (inkrementel innovation) samt enkelte store ændringer baseret på radikale innovationer (van der Veen, 2010).

Gennem de seneste århundreder er der sket en omfattende optimering i europæisk landbrug og de nuværende systemer er meget effektive. For at nå målet for yderligere bæredygtig intensivisering af landbrugets systemer vil det være nødvendigt med nytænkning og udvikling af nye fødevarer-kæder (Kuyper og Struik, 2014). Et oplagt eksempel er udvikling af alternativer til høj-input, høj-emissions etårige korn- og frø-afgrøder, som er ansvarlige for hovedparten af emissionerne fra dansk planteavl. I Danmark anvendes i øjeblikket 77 % af kornproduktionen til energifoder (Gylling et al., 2013), hvilket ikke er et højprismarked.

I 2012 blev omkring 20 % af verdens svinekød og 15 % af verdens kyllingekød produceret i EU. Dette skaber en stor efterspørgsel efter højkvalitetsprotein, som er egnet til intensiv produktion af enmavede dyr. EU er nettoimportør af højværdige proteinprodukter og er næsten 70 %

afhængig af import (tabel 1); for sojabønneprodukter er det over 97 % med en årlig import af omkring 30 millioner tons sojamel (Parajuli et al., 2015). Denne afhængighed af en enkelt råvare gør den europæiske husdyrproduktion sårbar over for prisændringer (EIP-AGRI, 2014).

En anden stor udfordring for Europa er at reducere de miljømæssige påvirkninger fra landbruget efter de retningslinjer, som er fastsat i flere direktiver og politikker såsom Vandrammedirektivet (VRD), Nitratdirektivet og den nye klimapolitik for EU med specifikke reduktionsmål for drivhusgasser i landbruget. Disse mål kan være meget vanskelige at nå i nogle områder med de nuværende produktionssystemer, i det mindste på en omkostningseffektiv måde. Danmark har et særligt sårbart vandmiljø på grund af et stort landbrugsareal, store sandjordsarealer, en lang kystlinje til indre farvande og meget nedbør. Danmark har siden 1980'erne halveret nitratudvaskningen ved at gennemføre en række foranstaltninger vedrørende forbedret gødningshåndtering, faste N-normer for alle afgrøder, lovpligtige efterafgrøder m.v. (Dalgaard et al., 2014). Alligevel skal nitratudvaskningen reduceres yderligere i nogle områder for at opfylde kravene i Vandrammedirektivet, og der kræves radikale ændringer for at kunne reducere

**Tabel 1. Oversigt over proteinrige fodermidler i EU i 2012 (EIP-AGRI, 2014)**

Fødevarer	EU produktion (Mt)		EU forbrug (Mt)	
	Produkter	Protein	Produkter	Protein
Sojabønner / -mel	1.189	452	34.134	15.904
Raps- og solsikkefrø / mel	27.481	5.213	19.721	6.329
Anden bælgfrugt	3.045	670	2.800	616
Grøntpiller	4.056	771	3.900	741
Andet planteprotein	2.877	654	5.859	1.260
Subtotal	38.648	7.760	66.414	24.850
Fiskemel	398	275	599	433
Total	39.046	8.035	67.013	25.283

næringsstoffet og samtidig opretholde en rentabel landbrugsproduktion.

### **Enårige afgrøder versus flerårige afgrøder**

Produktion af flerårige afgrøder reducerer tabet af næringsstoffer, reducerer behovet for pesticider samt understøtter jordens kulstofbeholdning sammenlignet med produktion af enårige korn- og frøafgrøder (Cadoux et al., 2014; Pugesgaard et al., 2014; Pugesgaard et al., 2015).

Selvom vandkvaliteten vil blive forbedret i afgrødesystemer med lang vækstsæson, kan vandinfiltreringen til grundvand og fødnings af åer reduceres på grund af en højere årlig fordampning. Ny forskning viser imidlertid, at ikke alle flerårige afgrøder øger vandforbruget (Ferchaud et al., 2015). Derudover er der en øget vandinfiltrationskapacitet i græs i forhold til enårige afgrøder (Franzluebbers et al., 2014), hvilket kan reducere tabet ved overfladisk afstrømning af vand. Disse forhold bør dog analyseres nærmere.

Potentialet for en sikker vandforsyning til afgrøderne over en lang vækstperiode er højest i det nedbørsrige Nordvesteuropa, selvom optimeringer også kan lade sig gøre i vandbegrænsede områder såsom ved brug af vinterdyrket grøn biomasse (Tsiplakou et al., 2014). I de fugtige tempererede regioner kan flerårige græsser og bælgplanter fange solens stråler mere effektivt end enårige korn- og frøafgrøder. En stor del af vækstsæsonen i enårige korn- og frøafgrøder anvendes til afgrødens modning, høst, jordbearbejdning og såning (Cadoux et al., 2014; Dohleman og Long, 2009; Pugesgaard et al., 2015). Potentielt kan biomasseudbyttet fordobles og det forventes at stige i Danmark under klimaændringer (Jørgensen et al., 2012). Græs med  $C_3$

fotosyntese er mest lovende under kølige forhold i nordlige egne og  $C_4$  græsser er mest lovende i sydlige egne (Cadoux et al., 2014; Jiao et al., 2016).

### **Grøn bioraffinering af græsser kan give bæredygtigt foderprotein og bioenergi**

Høst af grøn biomasse passer ikke godt ind i de nuværende landbrugsmarkeder, der er mere rettet mod håndtering af korn og frø til foder til enmavede dyr. Men udvikling af teknologi til industriel separation og opgradering af grøn biomasse er en lovende mulighed for at koble de bedste agronomiske potentialer med nye industrielle teknologier i et radikalt forbedret agro-industrielt system (Kammes et al., 2011; Parajuli et al., 2015; Sanders og Bos, 2013; Sharma et al., 2011).

Det høje indhold af protein med en god aminosyresammensætning (højt indhold af lysin og methionin) i græs og bælgplanter er af særlig interesse (Houseman og Connell 1976; Maciejewicz-Rys og Hanczakowski, 1990). Europæisk produceret bladproteinkoncentrat kan være en egnet erstatning for proteinprodukter fra sojabønner, hvis produktion kan have store miljøpåvirkninger i f.eks. Brasilien (Harvey, 2014). Selvforsyning med proteinfoder er især interessant for økologiske produktionssystemer, hvor GMO, pålidelig certificering og høje priser sætter spørgsmålstegn ved en fremtidig bæredygtig udvikling af en økologisk animalsk sektor baseret på importeret soja.

Den grønne biomasse separeres i en saft der indeholder de letopløselige proteiner, samt en fiberfraktion, som kan anvendes til kvægfoder med høj fordøjelighed (det kan være nødvendigt at tilsætte melasse) (Klop et al., 2015), og Aarhus Universitet har etableret et pilotanlæg til test og udvikling af denne proces (<http://dca.au.dk/>

forskning/biobase/groen-protein/). Fiberfraktionen indeholder stadig fiberbundne proteiner, der muligvis vil kunne passere vommen.

Et igangværende PhD-projekt under bioraffineringsplatformen BioValue SPIR undersøger fiberfraktionens egnethed til kvægfoder i detaljer. En sådan simpel decentral separering af den lokalt dyrkede biomasse til højværdige foderfraktioner (der anvendes til henholdsvis en- og flermavede dyr) vil være værdifuld og reducere behovet for import (Seppala et al., 2014), men det er stadig usikkert om der kan udvikles en god forretning på konceptet (Termansen et al., 2015). Det vil formentlig, ud over yderligere udvikling af teknologien, kræve at de reducerede miljøpåvirkninger tilskrives en værdi, som kan indregnes i forretningsplanen.

Ud over at øge produktionen af proteinfoder i Europa, vil omlægning til mere produktive dyrkningssystemer resultere i biprodukter, som vil være til rådighed for enten biobaserede materialer eller til bioenergi. Hvis udbyttet af biomasse per arealhed øges kan biproduktet, efter fremstilling af fødevarer eller foder, være tilgængeligt uden negativ miljøeffekt forårsaget af indirekte arealændringer (ILUC). ILUC-effekten bevirker i nogle tilfælde, at produktion af for eksempel raps-biodiesel og deciderede energiafgrøder ikke er bæredygtig (Tonini og Astrup, 2012).

Bladprotein er også blevet foreslået produceret direkte til konsum, hvilket yderligere vil øge ressourceeffektivitet af fødevarereproduktionen. Der er flere eksempler på brugen af f.eks. lucerneprotein i fødevarer, omend kun i begrænset omfang (Linemann og Dijkstra, 2002). Men udnyttelsen til direkte konsum er langt mindre ligetil end brugen til foder (Chiesa og Gnan-

sounou, 2011). Derfor vil den første udnyttelse af grøn protein formentlig primært ske i den animalske sektor, der bruger 30 % af jordens samlede areal (mest vedvarende græsarealer), men også 33 % af det globale areal med agerjord anvendes til at producere foder til husdyr (Steinfeld et al., 2006), og fodersektoren har en stor økonomisk betydning.

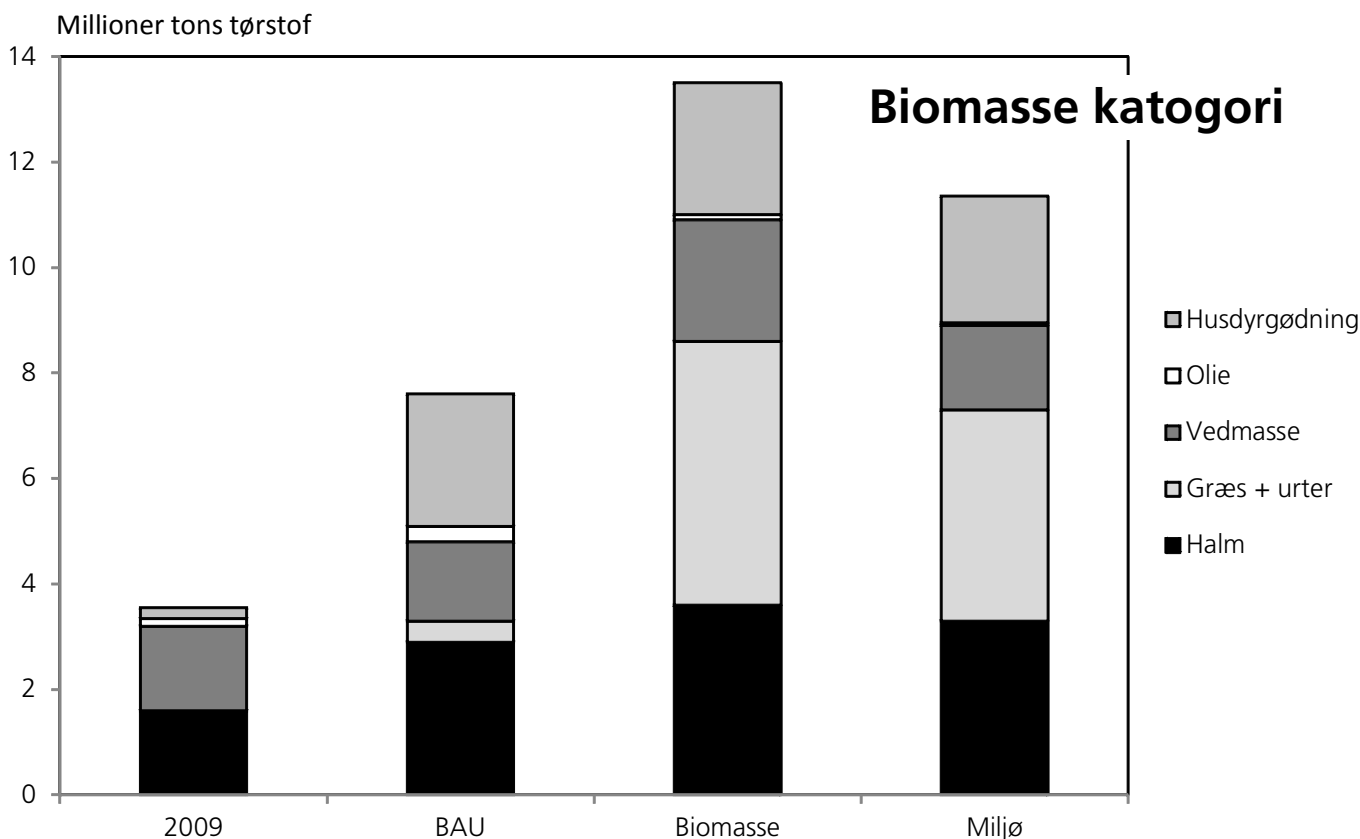
### **Et scenario for øget produktion af biomasse og udnyttelse til bioraffinering i Danmark**

Gyilling et al. (2013) har undersøgt, om det ville være muligt at øge produktionen af biomasse fra landbrug og skovbrug med 10 millioner ton i Danmark uden at forårsage en reduktion i fødevarereproduktionen, uden at øge af omfanget af opdyrkede områder, og uden negativ indvirkning på vandmiljøet og biodiversitet. Bevarelse af jordens frugtbarhed og kulstofindhold var ligeledes vigtige faktorer.

Rapporten beskriver tre scenarier: 1) Et business-as-usual scenario blot med en øget udnyttelse af de eksisterende ressourcer i landbrug og skovbrug. 2) Et biomasse-optimeret scenario, hvor både landbrug og skovbrug er justeret til at producere maksimal eksport af biomasse. 3) Et miljø-optimeret scenario med flerårige græsser der kan forbedre både produktiviteten og miljøvenligheden.

Resultaterne viste, at de optimerede scenarier var i stand til at levere yderligere 8-10 millioner tons biomasse til bioraffineringsindustrien i 2020 (figur 1). Dette er muligt, uden at gå på kompromis med fødevarereproduktionen, hvis 10-15 % af de grønne og gule kategorier af biomasse omdannes til dyrefoder i raffinaderierne. Især den store grønne biomassekategori (græsser i miljø scenariet) vil være i stand

**Figur 1. Scenarier for øget levering af biomasse til danske bioraffinaderier i forhold til anvendelse af biomasse til energi i 2009**



Kilde: Gylling et al. (2013).

Note. Scenarierne er: business-as-usual (BAU), biomasse-optimeret, og miljø-optimeret.

til at levere betydelige mængder af proteinfoder. Men meget afhænger af, hvor effektivt biomassen omdannes, og hvordan foder kan udvindes, lagres og udnyttes effektivt i husdyrsektoren. Processen med at indføre nye dyrkningssystemer, høstmetoder og nye afgrøder til landbruget er kompleks, og gennemførelsen vil ikke ske automatisk, hvis landmændene ikke ser fordele ved det. Et aktivt samarbejde mellem industri, landbrug, myndigheder og forskning skal derfor etableres (Gylling et al., 2013; Parajuli et al., 2015).

I miljø-scenariet blev der estimeret en reduktion af nitratudvaskningen fra rodzonen på ca. 23.000 tons N årligt for Danmark (Gylling et al., 2013). Det svarer omtrent til den reduktion, der kræves for at

sikre den manglende målopfyldelse i Vandrammedirektivet (De Økonomiske Råd, 2015). Selvom langt mere organisk materiale vil blive mobiliseret til bioraffinering, har vi vurderet, at jordens kulstofniveau vil være stort set uændret i miljø-scenariet (Jørgensen et al., 2013). Dette gælder specielt, hvis der fastholdes en tilbageførsel af tungt omsætteligt kulstof med afgasset gylle i stedet for f. eks. at afbrænde fiberfraktionen.

Nye resultater fra projektet GrassMargins EU ([www.grassmargins.org](http://www.grassmargins.org)) og fra danske projekter (f.eks. [www.biovalue.dk](http://www.biovalue.dk)) bekræfter, at den forventede stigning i det samlede udbytte af biomasse, samtidig med at kvælstofudvaskning reduceres, er realistisk hvis jord, der i øjeblikket anvendes

des til enårige afgrøder, konverteres til græsproduktion. Udvalgte resultater beskrives i det følgende.

### Forsøgsmetodik

Der blev etableret markforsøg på tre lokaliteter med henholdsvis grovsand (JB1), sandjord (JB4) og sandblandet lerjord (JB6). Græsarterne rørgræs (*Phalaris arundinacea*), strandsvingel (*Festuca arundinacea*), hundegræs (*Dactylis glomerata*), elefantgræs (*M. x giganteus*), rajsvingel (hybrid mellem *Festuca* og *Lolium*) og to kløvergræsblandinger sammenlignes med forskellige kombinationer af enårige arter og med reference til traditionelle sædskifter eller monokulturer (f.eks. majs efter majs) med fire gentagelser på hver lokalitet.

Afgrøderne blev tildelt gødning, pesticider og vandet på de niveauer, der var forventet for at sikre optimal vækst. Kløver-

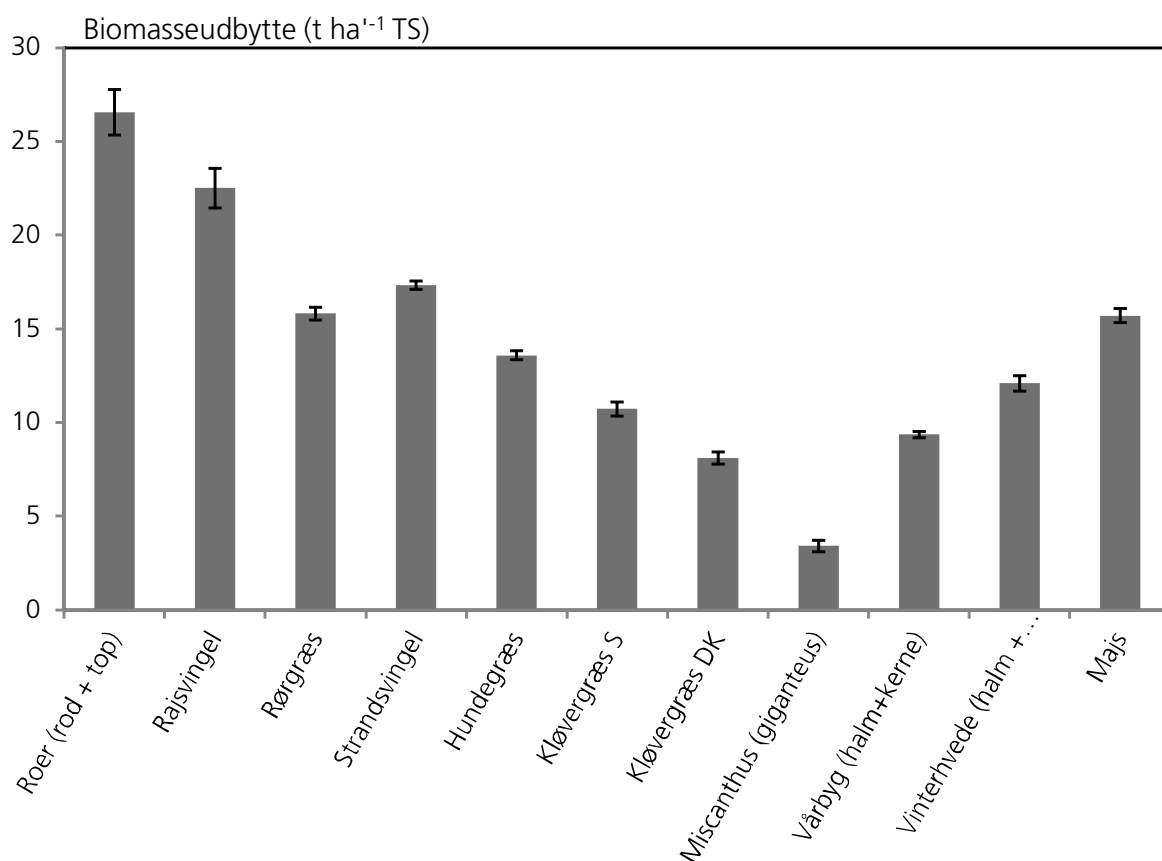
græsblandingerne fik dog ikke nogen N-gødning efter etablering. Koncentrationen af nitrat under rodzonen blev målt med keramiske suggekopper, installeret i 1,25 m's dybde, i alle gentagelser, og der blev taget prøver ca. hver 3. uge.

### Første års resultater på græsproduktivitet og miljøpåvirkning

Tørstofudbyttet af udvalgte afgrøder på én lokalitet er angivet i figur 2 for det første hele forsøgsår i 2013. Elefantgræs var stadig i etableringsfasen med et lavt udbytte. Men rajsvingel producerede 22,5 tons ha<sup>-1</sup> tørstof i 3 slæt, hvilket var omkring det dobbelte af det samlede (halm + kerne) høstudbytte af vårbyg og vinterhvede, som er de nuværende vigtigste afgrøder i Danmark.

Det lave udbytte af kløvergræs kan primært tilskrives mangel på kvælstofgødning.

**Figur 2. Samlede tørstofudbytter af udvalgte afgrøder på en lerblandet sandjord på AU Foulum, Danmark i 2013. +/- standardafvigelse er angivet.**



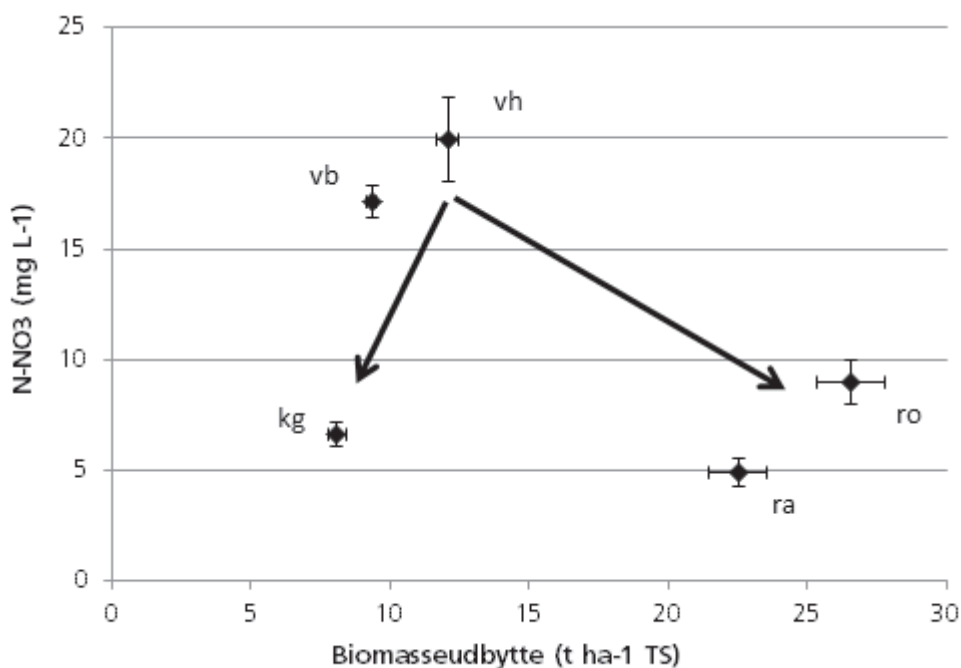
Det højeste udbytte blev opnået i roer (rod + top). Der forventes ikke meget protein i roden af roer, men den kan anvendes til ethanol eller biogas, hvilket allerede praktiseres nogle steder (Borjesson et al., 2015). I 2014 var udbyttet i kornafgrøder højere end i 2013, men alle rene græsafgrøder (stadig bortset fra elefantgræs) producerede ca. 20 tons ha<sup>-1</sup> tørstof (data ikke vist). Under varmere forhold end i Danmark, giver majs ofte højere eller tilsvarende udbytte som græsser (Muylle et al., 2015), men i denne undersøgelse fra Belgien blev græsserne kun gødet med 249 kg N ha<sup>-1</sup>, hvilket sandsynligvis ikke var nok til at øge udbyttet af græs i renbestand til over 15-20 tons ha<sup>-1</sup>.

Gennemsnitlige nitrat-N-koncentrationer i jordvand, hvor vinterhvede (gødet med 175 kg N ha<sup>-1</sup>) eller vårbyg (130 kg N ha<sup>-1</sup>) var blevet høstet, var 17-20 mg L<sup>-1</sup> i det efterfølgende efterår og vinter (14. okto-

ber 2013 til 31. marts 2014), mens Nitrat-N-koncentrationerne var 5-10 mg L<sup>-1</sup> under intensivt gødet rajsvingel (425 kg N ha<sup>-1</sup>), ugødet kløvergræs og roer (130 kg N ha<sup>-1</sup>) (Figur 3). Det sandsynliggør, at nitratudvaskning kan halveres ved at skifte fra kornafgrøder til intensiv græs- eller roerproduktion. En sådan bæredygtig intensivering synes mere perspektivrig end de andre mulige veje til reduceret miljøpåvirkning, fx ugødet kløvergræs, som angivet i figur 3. I andre studier er der imidlertid opnået højere udbytter i bælg-sæds-baserede systemer uden anvendelse af kvælstofgødning (Hauggaard-Nielsen et al., 2016).

En ændring i afgrødemønsteret er selvfølgelig betinget af økonomien i anvendelse af biomassen fra græs, såsom den førnævnte udvinding af protein til foder eller fødevarer. Hvis græsserne udelukkende anvendes til energi, kan effekterne af ILUC

**Figur 3. Nitratkoncentrationer i jordvand**



Anm. Gennemsnitlige nitratkoncentrationer i jordvand ekstraheret under rodzonen i efteråret og vinteren efter produktionsåret 2013 versus tørstofudbytter i vinterhvede (vh), vårbyg (vb), rajsvingel (ra), roer (ro) og kløvergræs (kg). +/- standardafvigelsen er angivet. Mulige udviklingsveje til reduktion af nitratudvaskning fra de nuværende kornbaserede produktionssystemer er angivet med pile.

underminere drivhusgasfordelen (Tonini og Astrup, 2012). Yderligere miljømæssige fordele ved at ændre til græsprøduktionen, opnås ved den store reduktion i brugen af pesticider: Ifølge statistikken over pesticid-anvendelse var græsafgrøders behandlingsindeks 0,04 pr. ha i 2013, hvilket skal sammenlignes med et gennemsnitligt behandlingsindeks på 3,76 på tværs af hele det dyrkede areal (Miljøministeriet, 2014). Endvidere vil græsafgrøder normalt øge jordens kulstofindhold, mens etårige afgrøder har tendens til at reducere jordens kulstofindhold (Taghizadeh-Toosi et al., 2014).

En ulempe ved den intensive græsafgrødeproduktion kan være udledning af lattergas, og simple IPCC beregninger giver høje emissioner, da de er direkte relateret til mængden af N-gødskning. Lattergasemissionen vil blive målt i vores eksperimenter fra 2017. De første N-balancer viser imidlertid, at vi høster mere kvælstof, end vi tildeler som gødning på græsserne, og der synes ikke at være meget plads til et stort N tab i systemet i form af gas. Andre forsøg har vist, at bælglplanter giver lavere emission af lattergas end gødede græssystemer (Schmeer et al., 2014) og hvis et højt udbytte kan sikres i kløvergræs eller i rene bælglplanteafgrøder kan det give den bedste effekt i forhold til klimaet. Intensiv græsprøduktion forbedrer ikke i væsentlig grad biodiversiteten, men den lave anvendelse af pesticider og lave tab af næringsstoffer mindsker påvirkningerne på de tilstødende naturområder.

### **Fremtidsperspektiver**

Under danske forhold har græsser og bælgsæd et højere indhold af protein med bedre kvalitet (højt lysin- og methioninindhold) end korn-og frøafgrøder (Jørgensen et al., 2013). Muligheden for at erstatte impor-

teret sojabønneprotein med protein udvundet af flerårige græsser til brug i den danske husdyrproduktionssektor er interessant (Termansen et al., 2015). Pilot udvindingsfaciliteter og dyrefoderforsøg er derfor nu etableret ved Aarhus Universitet og vil blive suppleret af økonomi- og bæredygtighedsanalyser i hele forsyningskæden i de kommende år under BioValue SPIR.

Derudover sammenlignes en række græs- og bælglplanter i renbestand og i blandinger for at finde de mest produktive systemer med de laveste miljøpåvirkninger, og deres proteinindhold karakteriseres (Solati et al., 2016). I en opdateret version af +10 millioner tons planen (Gylling et al., 2016) beregnes en meget stor samlet effekt på drivhusgasemissionen fra dansk land- og skovbrug samt energisektoren, hvis planens scenarier gennemføres, og de kan således benyttes som et led i at opfylde Danmarks reduktionskrav på klimaområdet. Opnåelsen af disse interessante perspektiver står og falder dog med, om det lykkes at udvikle så effektive bioraffineringssteknikker, at der kan opnås en god forretningsøkonomi i de nye produktkæder.

### **Referencer**

- Borjesson, P., Prade, T., Lantz, M., Bjornsson, L. (2015). Energy Crop-Based Biogas as Vehicle Fuel-The Impact of Crop Selection on Energy Efficiency and Greenhouse Gas Performance. *Energies* 8, 6033-6058.
- Cadoux, S., Ferchaud, F., Demay, C., Boizard, H., Machet, J.M., Fourdinier, E., Preudhomme, M., Chabbert, B., Gosse, G., Mary, B. (2014). Implications of productivity and nutrient requirements on greenhouse gas balance of annual and perennial bioenergy crops. *Global Change Biology Bioenergy* 6, 425-438.
- Chiesa, S., Gnansounou, E. (2011). Protein extraction from biomass in a bioethanol refinery - Possible dietary applications: Use as animal feed and



- potential extension to human consumption. *Bio-resource Technology* 102, 427-436.
- Dalgaard, T., Hansen, B., Hasler, B., Hertel, O., Hutchings, N.J., Jacobsen, B.H., Jensen, L.S., Kronvang, B., Olesen, J.E., Schjørring, J.K., Kristensen, I.S., Graversgaard, M., Termansen, M., Vejre, H. (2014). Policies for agricultural nitrogen management-trends, challenges and prospects for improved efficiency in Denmark. *Environmental Research Letters* 9.
- De Økonomiske Råd, 2015. *Økonomi og Miljø 2015*, 375 s.
- Miljøministeriet (2014). *Bekæmpelsesmiddelstatistik 2013. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 6, 2014*, 100 s.
- Dohleman, F.G., Long, S.P. (2009). More productive than maize in the midwest: How does Miscanthus do it? *Plant Physiology* 150, 2104-2115.
- EIP-AGRI (2014). *Focus Group on Protein Crops: Final Report*, 48 s. <https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/content/eip-agri-focus-group-protein-crops-final-report>
- Ferchaud, F., Vitte, G., Bornet, F., Strullu, L., Mary, B. (2015). Soil water uptake and root distribution of different perennial and annual bioenergy crops. *Plant and Soil* 388, 307-322.
- Franzluebbers, A.J., Sawchik, J., Taboada, M.A. (2014). Agronomic and environmental impacts of pasture-crop rotations in temperate North and South America. *Agriculture Ecosystems & Environment* 190, 18-26.
- Gylling, M., Jørgensen, U., Bentsen, N. S., Kristensen, I. T., Dalgaard, T., Felby, C., Johannsen, V. K. (2013). +10 Mio. Tons Planen: Muligheder for en øget dansk produktion af bæredygtig biomasse til bioraffinaderier. *Fødevarerøkonomisk Institut, Københavns Universitet*, 32 s.
- Gylling M, Jørgensen U, Bentsen NS, Kristensen IT, Dalgaard T, Felby C, Larsen S, Johannsen VK (2016). The +10 Million Tonnes Study: Increasing the sustainable production of biomass for biorefineries. Updated Edition 2016. Department of Food and Resource Economics, University of Copenhagen, 40 s.
- Harvey, M. (2014). The Food-Energy-Climate Change Trilemma: Toward a Socio-Economic Analysis. *Theory, Culture & Society* 31, 155-182.
- Hauggaard-Nielsen, H., Lachouani, P., Knudsen, M.T., Ambus, P., Boelt, B., Gislum, R., 2016. Productivity and carbon footprint of perennial grass-forage legume intercropping strategies with high or low nitrogen fertilizer input. *Science of The Total Environment* 541, 1339-1347.
- Houseman, R.A., Connell, J. (1976). Utilization of Products of Green-Crop Fractionation by Pigs and Ruminants. *Proceedings of the Nutrition Society* 35, 213-220.
- Jiao X, Sørensen KK, Andersen MN, Sacks EJ, Zhu X, Lærke PE, Jørgensen U. 2016. Can miscanthus C4 photosynthesis compete with festulolium C3 photosynthesis in a temperate climate? *Global Change Biology. Bioenergy*. Tilgængelig fra: DOI 10.1111/gcbb.12342
- Jørgensen, U., Elsgaard, L., Sørensen, P., Olsen, P., Vinther, F.P., Kristensen, E.F., Ejrnæs, R., Nygaard, B., Krogh, P.H., Bruhn, A., Rasmussen, M.B., Johansen, A., Jensen, S.K., Gylling, M., Bojesen, M. (2013). *Biomasseudnyttelse i Danmark - potentielle ressourcer og bæredygtighed*. DCA Rapport Nr. 033, 127p.
- Jørgensen, U., Olesen, J. E., Lærke, P. E., Sørensen, K. K., Raulund-Rasmussen, K., Jensen, P. E., Felby, C. (2012). Solens energi kan omdannes mere effektivt til biomasse. I: *Robust og Bæredygtig Bioenergi*, s 15-17, Proceedings of the Danish Strategic Research Council seminar at DONG Energy. [http://www.biopress.dk/events/PDF/bioenergi\\_2012/Bioenergi\\_2012.pdf](http://www.biopress.dk/events/PDF/bioenergi_2012/Bioenergi_2012.pdf)
- Kammes, K.L., Bals, B.D., Dale, B.E., Allen, M.S. (2011). Grass leaf protein, a coproduct of cellulosic ethanol production, as a source of protein for livestock. *Animal Feed Science and Technology* 164, 79-88.
- Klop, A., Durksz, D., Zonderland, J., Koopmans, B. (2015). *Grasraffinage en gebruik van rasvezel in de rundveevoeding*. Livestock Research Report 790, Wageningen University.
- Kuyper, T.W., Struik, P.C. (2014). Epilogue: global food security, rhetoric, and the sustainable inten-

sification debate. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 8, 71-79.

Linnemann, A.R., Dijkstra, D.S. (2002). Toward Sustainable Production of Protein-Rich Foods: Appraisal of Eight Crops for Western Europe. PART I. Analysis of the Primary Links of the Production Chain. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 42, 377-401.

Maciejewicz-Rys, J., Hanczakowski, P. (1990). Improvement of the nutritive value of cereals by leaf protein supplementation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 50, 99-104.

Muyllle, H., Van Hulle, S., De Vliegheer, A., Baert, J., Van Bockstaele, E., Roldán-Ruiz, I., 2015. Yield and energy balance of annual and perennial lignocellulosic crops for bio-refinery use: A 4-year field experiment in Belgium. *European Journal of Agronomy* 63, 62-70.

Parajuli, R., Dalgaard, T., Jorgensen, U., Adamson, A.P., Knudsen, M.T., Birkved, M., Gylling, M., Schjorring, J.K. (2015). Biorefining in the prevailing energy and materials crisis: a review of sustainable pathways for biorefinery value chains and sustainability assessment methodologies. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 43, 244-263.

Pugesgaard, S., Olesen, J.E., Jorgensen, U., Dalgaard, T. (2014). Biogas in organic agriculture-effects on productivity, energy self-sufficiency and greenhouse gas emissions. *Renewable Agriculture and Food Systems* 29, 28-41.

Pugesgaard, S., Schelde, K., Larsen, S.U., Lærke, P.E., Jørgensen, U. (2015). Comparing annual and perennial crops for bioenergy production - influence on nitrate leaching and energy balance. *Global Change Biology Bioenergy* 7, 1136-1149.

Sanders, J.P., Bos, H.L. (2013). Raw material demand and sourcing options for the development of a bio-based chemical industry in Europe. *Biofuels, Bioproducts & Biorefining* 7, 260-272.

Schmeer, M., Loges, R., Dittert, K., Senbayram, M., Horn, R., Taube, F., 2014. Legume-based forage production systems reduce nitrous oxide emissions. *Soil and Tillage Research* 143, 17-25.

Seppala, A., Kyntaja, S., Blasco, L., Siika-Aho, M., Hautala, S., Byman, O., Ilvesniemi, H., Ojamo, H.,

Rinne, M., Harju, M. (2014). Grass silage extract, feed component suitable for pigs - prospects for on farm biorefinery. Proceedings of the 5th Nordic Feed Science Conference, Uppsala, Sweden, 10-11 June 2014, 163-168.

Sharma, H.S.S., Lyons, G., McRoberts, C. (2011). Biorefining of perennial grasses: A potential sustainable option for Northern Ireland grassland production. *Chemical Engineering Research and Design* 89, 2309-2321.

Solati Z, Jørgensen U, Søgaard K. 2016. Protein productivity and extractability of legume and grass species during spring growth. I: Höglind M, Bakken AK, Hovstad KA, Kallioniemi E, Riley H, Steinshamn H, Østrem L, (red.). The multiple roles of grassland in the European bioeconomy: Proceedings of the 26th General Meeting of the European Grassland Federation. Wageningen. s. 116-118.

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., de Haan, C. (2006). *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. Food & Agriculture Organisation, Rome, Italy.

Taghizadeh-Toosi, A., Olesen, J.E., Kristensen, K., Elsgaard, L., Ostergaard, H.S., Laegdsmand, M., Greve, M.H., Christensen, B.T. (2014). Changes in carbon stocks of Danish agricultural mineral soils between 1986 and 2009. *European Journal of Soil Science* 65, 730-740.

Termansen, M., Gylling, M., Jørgensen, U., Hermansen, J., Hansen, L.B., Knudsen, M.T., Adamson, A.P.S., Ambye-Jensen, M., Jensen, M.V., Jensen, S.K., Andersen, H.E., Gyldenkerne, S. (2015). *Grøn biomasse*. DCA Rapport 68, 38 p.

Tonini, D., Astrup, T. (2012). LCA of biomass-based energy systems: A case study for Denmark. *Applied Energy* 99, 234-246.

Tsiplakou, E., Economou, G., Hadjigeorgiou, I., Kominakis, A., Zervas, G. (2014). Plant species mixtures for forage production for ruminant feeding under Mediterranean conditions. *Experimental Agriculture* 50, 426-437.

Van der Veen, M. (2010). Agricultural innovation: invention and adoption or change and adaptation? *World Archaeology* 42, 1-12.