



# KLØVERGRÆSMARKER SOM KVÆLSTOFKILDE I ØKOLOGISK PLANTEPRODUKTION – ER DET KLIMAGUNSTIGT?

STØTTET AF

## Promilleafgiftsfonden for landbrug

Fordele og ulemper ved at dyrke kløvergræs til kvælstofforsyning i øko-planteavlssædskifter. Biogas og bioraffinering er vigtigt for at opnå en positiv klimaprofil. Resultaterne kommer fra langvarige sædskiftforsøg under AU.

### Resumé

Kløvergræsmarker i sædskiftet vil kunne levere store mængder kvælstof som eftervirkning, men mindsker også arealet med salgsafgrøder. Klimaaftrykket ændres positivt ved at græsmarkerne øger jordens indhold af organisk bundet kulstof; men ved ompløjning af græsmarken udvikles lattergas, der er negativt for klimaaftrykket.

Nettoresultatet set over et sædskifte er, at græsmarker reducerer netto-drivhusgasudledningen pr. ha; men fordelene opvejes af det mindre udbytte af salgsafgrøder.

Ved at udnytte græsset til biogas, der kan fortrænge naturgas, kan klimaaftrykket markant forbedres, og en endnu større gevinst kan fås, hvis man kan udvinde protein af græsset, inden det bruges til biogasproduktion. Derved kan man fortrænge sojaprodukter, der typisk har et større klimaaftryk end græs.

Den officielle opgørelse af udledningen af drivhusgasser, der dels beregner udledningen for hvert enkelt land og dels gør den op i adskilte sektorer, mindsker motivationen i landbruget for at bruge græsmarker til at producere biogas, da energigevinsten godskrives energisektoren, og klimagevinsten af at mindske sojaproduktionen godskrives landene, hvor sojabønnerne dyrkes.

Økologisk planteproduktion er udfordret både på afhængighed af konventionel husdyrgødning og på udledningen af drivhusgasser.

Ikke mindst udbytteneiveauet i økologisk planteproduktion kan være problematisk, da det både trækker ned i de økonomiske resultater og i produktionsformens klimaprofil. Det sidste hænger sammen med, at klimabelastningen måles i CO<sub>2</sub>-ækvivalenter pr. kg produkt, så når udbyttet er lavere pr. ha, skal udledningen af drivhusgasser også være lavere, bare for at være på samme niveau som produktionssystemer med højere udbytter.

I det danske klima er det oftest afgrødernes kvælstofforsyning, der er afgørende for udbytteneiveauet. I økologisk planteavl er man typisk henvist til en begrænset mængde økologisk husdyrgødning evt. suppleret med noget konventionel husdyrgødning samt eftervirkning fra bælgplanter i sædskiftet.

I områder, hvor der ikke er økologiske kvæghold i nærheden, er udfordringen med at skaffe kvælstof ekstra stor, da kvælstof fra kløvergræsmarker typisk udgør den største kilde til gødningskvælstof, og græsmarker bedst kan udnyttes af kvæg.

Dertil kommer, at anvendelsen af konventionel husdyrgødning ønskes udfaset.

## **Er flere græsmarker vejen til bedre økologisk planteproduktion?**

På økologiske bedrifter uden kvæg (og uden samarbejde med kvægbedrifter) kan man indarbejde kløvergræsmarker i sædskiftet til at samle kvælstof for på den måde at øge udbytterne. Men hvordan påvirker det udbytterne samlet set i sædskiftet, og vil det forbedre eller forværre produktionens klimaaftryk?

Flere kløvergræsmarker i sædskiftet vil øge den biologiske fiksering af kvælstof og derved stille en større pulje af kvælstof til rådighed for sædskiftet; men det vil samtidig optage areal fra salgsafgrøder. Med hensyn til udledning af drivhusgasser vil græsmarkerne på plussiden lagre en større mængde CO<sub>2</sub> fra luften i rodrester, end de salgsafgrøder de erstatter i sædskiftet; men samtidig vil det på minussiden øge udledningen af lattergas (N<sub>2</sub>O), når græsset indarbejdes i jorden før den næste afgrøde (Pugesgaard et al., 2017).

Man skal altså afveje forskellige effekter af græsmarkerne, for at afklare, om det er gavnligt at satse på flere græsmarker i de økologiske sædskifter. I det følgende vil disse problemstillinger blive søgt belyst på basis af resultater fra økologiske sædskifteforsøg, der har kørt ved Aarhus Universitet siden 1997 på tre forskellige jordtyper.

## **Design af sædskifteforsøg**

Det økologiske sædskifteforsøg har i perioden 2006 til 2008 kørt med et "grund-sædskifte", der bestod af Vårbyg / Hestebønner / Kartoffler / Vinterhvede og med eller uden efterafgrøder efter korn og hestebønner.

Dette grundsædskifte blev dyrket økologisk med tildeling af gylle, og til sammenligning blev det dels dyrket uden tilførsel af gødning, dels dyrket konventionelt med brug af handelsgødning.

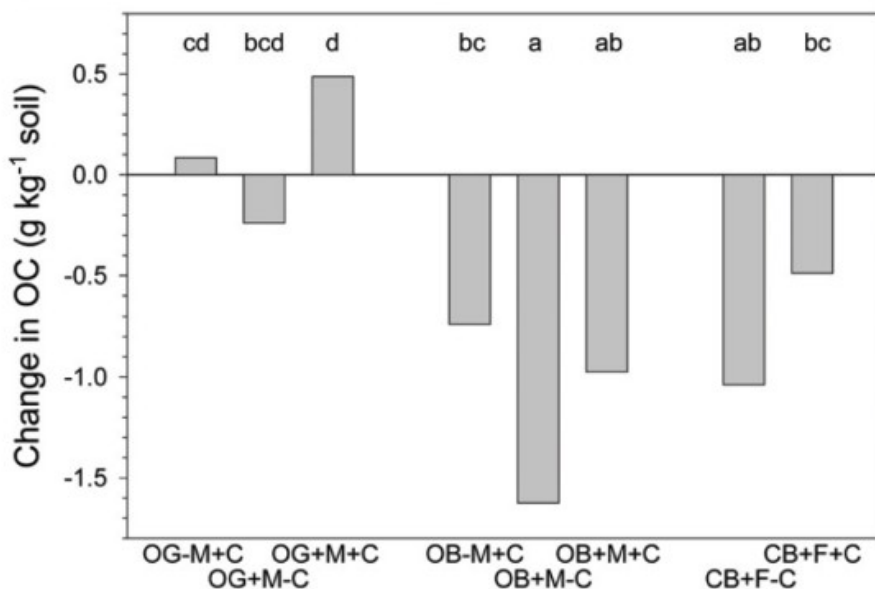
Betydningen af græsmarksafgrøder er belyst i et alternativt økologisk sædskifte, hvor

hestebønne-marken er byttet ud med et år med kløvergræs, der sås ud i vårbyggen. Dette sædskifte blev dyrket i to versioner: En biogas-version, hvor der tages slæt på græsmarken til brug i et biogasanlæg, og hvor det fraførte kvælstof tilbageføres i form af afgasset gødning. I den anden version bruges græsset som grøngødning, hvor det afklippede græs bliver liggende til nedmuldning, når græsset pløjes om.

Ved at sammenligne udbytter, kulstoflagring i jorden og udledningen af lattergas mellem sædskifterne er det forsøgt at estimere, om det samlet set er bedst at køre med salgsafgrøder eller med en fjerdedel af arealet med kløvergræs, og hvilken gødningsstrategi der giver det bedste resultat.

### Græsmarker og efterafgrøder kan lagre store mængder CO<sub>2</sub> i jorden

Kulstoflagringen blev målt som forskellen mellem kulstofindholdet i jorden ved forsøgets start i 1996 og opgørelsen i 2008. Det viste sig, at sædskifterne med græs havde en markant bedre kulstoflagring end sædskifterne uden græs, hvor der var et tab af kulstof fra jorden (fig. 1). Efterafgrøderne havde også en tydelig positiv effekt på jordens kulstofindhold, således at græssædskiftet med biogasgødning og efterafgrøder medførte en nettoopbygning af kulstof i jorden.



Figur 1 Ændring i jordens kulstofindhold fra 1996 til 2008 i sædskifteforsøg ved Flakkebjerg. De tre søjler til venstre er økologiske sædskifter med græs (OG), de tre næste økologiske sædskifter med hestebønner (OB) og de to til højre konventionelt dyrkede med hestebønner (CB). +/- M: med og uden organisk gødning. +/- C: med og uden efterafgrøder. +/- F: Med og uden handelsgødning. Der er ikke statistisk forskel mellem søjler med samme bogstav over søjlen. (Schjønning et. al., 2012)

Ved at omregne ændringen i jordens kulstofindhold til kulstoflagring pr. ha pr. år beregnede forskerne for lokaliteten på Flakkebjerg, at der i dette forsøg var bundet 1,5 tons kulstof pr. ha pr. år i græsmarkerne, og at efterafgrøderne samlede ca. 400 kg kulstof pr. ha. (Schjønning et.

al., 2012).

I andre forsøg har man fundet noget mindre kulstoflagring i græsmarker. Som en generel værdi vil man kunne regne med lagring af ca. 1 ton kulstof pr. ha pr. år med kløvergræs og ca. 300 kg kulstof pr. ha pr. år efter efterafgrøder.

Det er tydeligt i fig. 1, at sædskifterne med græs (OG) binder mere kulstof end sædskifterne uden græs (fastholder jordens kulstofindhold). På denne lokalitet ligger sædskiftet, hvor der er høstet græs til biogas (OG+M) på niveau med sædskiftet, hvor det afklippede græs bliver liggende i marken (OG-M). Modellen med biogas er dog kun kørt fra 2005.

I et andet studie af sædskifteforsøgene (Knudsen et al., 2014), der sammenligner sædskifterne over flere år og på alle tre lokaliteter var det sædskiftet med græs, der bruges som grøngødning (hele græsmassen nedpløjes), der gav den største kulstofbinding efterfulgt af systemet med græs til biogas.

### **Nedmuldning af kvælstofholdige planterester giver lattergas**

Græsmarkernes klimamæssige udfordring opstår, når de nedmuldes, og kvælstofindholdet omsættes i jorden. Det medfører dannelsen af lattergas, som er en meget kraftig drivhusgas (ca. 300 gange kraftigere end CO<sub>2</sub>). Der kan også opstå dannelse af nitrat i perioder, hvor den efterfølgende afgrøde ikke kan optage det, hvorved risikoen for udvaskning af nitrat stiger.

Et studie ved Aarhus Universitet (Brozyna et al. 2013) har set på lattergasudviklingen i de samme sædskifteforsøg herunder sædskiftet med græs (OG) ved henholdsvis grøngødningsstrategien (-M) og biogasstrategien (+M), hvor næringsstofferne, der høstes på græsmarken vender tilbage som afgasset gødning til de øvrige marker. Der er målt på lokaliteten Foulum i 12 måneder fra maj 2008 til maj 2009.

De højeste udledninger blev målt i ugerne efter nedmuldning af græsafgrøden (før kartofler) og efter nedmuldning af en kløverholdig efterafgrøde (før vårbyg). Udledningerne i græsmarken under vækstsæsonen er lave.

Udbytteerne er generelt højere ved biogasmodellen især i kornafgrøderne. For hele sædskiftet var det gennemsnitlige udbytte pr. ha 4,19 tons tørstof/ha i (-M) og 4,78 tons tørstof/ha i (+M). Men lattergasudledningen, der blev målt over et kalenderår i samtlige parceller, var stort set lige stor i de to systemer: 0,9 kg lattergas-N/ha i (-M) og 0,8 kg lattergas-N/ha i (+M).

Gøres lattergasudledningen op pr. kg udbytte (som man gør ved vurdering af klimabelastningen) får man 0,22 kg lattergas-N/tons tørstof i (-M) og 0,16 kg lattergas-N/tons tørstof i (+M). Ved at udnytte kvælstoffet fra græsmarken gennem biogasgødning reduceres lattergasudledningen pr. kg produkt således med næsten 30 %.

Et andet studie af de samme sædskifteforsøg for alle tre lokaliteter (Knudsen et al., 2014) har opgjort lattergasudviklingen over hele sædskiftet i de fem varianter: "Grundsædskiftet"-øko med gylle, Grundsædskiftet-øko ugødet, grundsædskiftet-konventionelt med handelsgødning, græssædskiftet-øko grøngødning og græssædskiftet-øko biogas. I dette studie er lattergasudledningen beregnet med emissionsfaktorer, mens det i Brozyna et al. (2013) er målte

udledninger.

I tabel 1 ses lattergasudviklingen i de fem sædskiftevarianter som gennemsnit for de tre forsøgssteder og for årene 2006-2008.

**Tabel 1** Opgørelse over lattergasudledning og tørstofudbytter i langvarige sædskifteforsøg (Knudsen et. al. 2014)

|   | Øko-gylle | Øko-ugødet | Konventionel | Græs-grøngødning | Græs-biogas |
|---|-----------|------------|--------------|------------------|-------------|
| Lattergas-udledning (kg N <sub>2</sub> O-N/ha/år)     | 1,7       | 0,8        | 2,2          | 1,8              | 1,9         |
| Lattergas-udledning relativ til Øko-gylle (index 100) | 100       | 47         | 131          | 104              | 112         |
| Produktion (tons tørstof/ha/år)                       | 4,1       | 2,8        | 5,8          | 2,7              | 3,6         |
| Produktion relativ til Øko-gylle (index 100)          | 100       | 67         | 141          | 67               | 88          |

Det ses i tabel 1, at det ugødede sædskifte har den laveste udledning af lattergas, og det konventionelle sædskifte den højeste. Græssædskifterne har en lattergasudledning, der er lidt større end grundsædskiftet med gylle, 4 % højere ved grøngødning og 12 % højere ved biogasproduktion. Introduktionen af græs i sædskiftet har således kun øget lattergasudledningen i begrænset omfang.

I græs-sædskifterne er 25 % af arealet udlagt med en afgrøde, der ikke leverer produktionen af salgsafgrøder. I tabel 1 kan det ses, at det ugødede grøngødningssædskifte mister mere end de 25 % af produktionen (33 %), mens biogassædskiftet kun mister 12 % af udbyttet i forhold til øko-gylle-sædskiftet, hvor der dyrkes hestebønner til salg i stedet for græs.

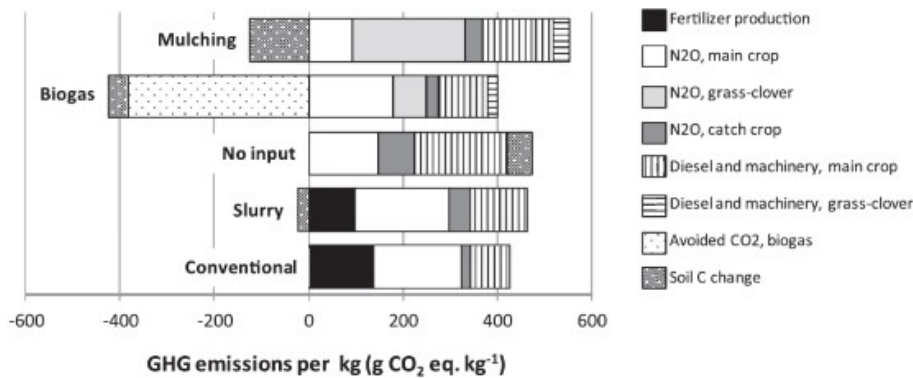
Forklaringen på dette skal sandsynligvis findes i udnyttelsen af kvælstoffet fra græsmarken, der med biogassøgødningen kan doseres på samme måde som i gylle-sædskiftet, mens kvælstoffet i grøngødningen kun kan virke gennem forfrugtsværdien af den nedpløjede græsmark. Man kan derfor frygte et større tab af kvælstof fra grøngødningssædskiftet; men det blev dog ikke registreret i forsøget, hvor der også var måling af nitratudvaskningen. Der ophobes derfor både kulstof og kvælstof i jorden i grøngødningssædskiftet (Pugesgaard et al., 2017).

## Det samlede Carbon Footprint

Som det fremgår af de forrige afsnit er det både kulstofbinding, lattergasudledning og produktudbytte, der skal ses i sammenhæng, når sædskifterne og græsmarkernes betydning for klimabelastningen skal vurderes. Dertil kommer, at den producerede biogas i biogassædskiftet fortrænger fossil naturgas, og på den måde vægter positivt i klimaregnestykket.

Sammenvejningen af samtlige faktorer af betydning for produktionens klimabelastning kan gøres op i det såkaldte Carbon Footprint. Dette er gennemført af Knudsen et.al. (2014) for de samme sædskifteforsøg som tidligere beskrevet, og det vil kort blive gennemgået i det følgende.

I figur 2 er vist posterne i Carbon Footprint-beregningerne for de fem sædskiftesystemer målt i drivhusgasudledning pr. kg producerede salgsafgrøder.

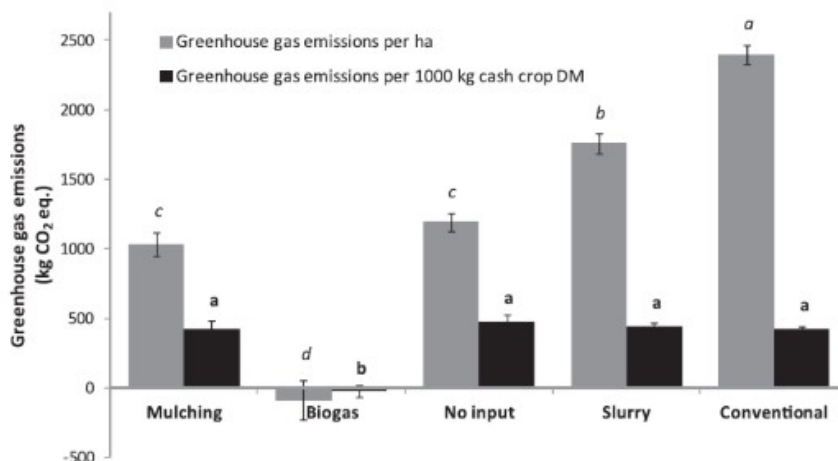


Figur 2 Drivhusgasudledning pr. kg produceret salgsafgrøde fra enkeltposter i Carbon Footprint. Gennemsnit for hele sædskifter, i tre år (2006-8), tre forsøgssteder og to gentagelser (Knudsen et.al. 2014). Sædskifter: Mulching = Øko-Grøngødning med græs, Biogas= Øko-biogas med græs, No input = Øko-Ugødet salgsafgrøder, Slurry = Øko-gylle salgsafgrøder, Conventional = Konventionel salgsafgrøder.

Det ses, at grøngødningssædskiftet (Mulching) er stærkt belastet af lattergas fra græsafgrøden (N<sub>2</sub>O, grass-clover), men samtidig har en stor kulstofbinding (Soil C change), der også stammer fra græsmarken. I biogassædskiftet er disse størrelser mindre, og samtidig neutraliserer den producerede biogas (Avoided CO<sub>2</sub>, biogas) stort set hele drivhusgasudledningen fra dyrkningen.

Når der i gyllesædskiftet (Slurry) er markeret en udledning fra gødningsproduktion, skyldes det, at gyllens andel af udledningerne er beregnet som svarende til udledningen fra en tilsvarende mængde næringsstoffer i handelsgødning.

Det samlede nettoresultat for drivhusgasudledning er vist i figur 3 målt henholdsvis pr. ha (grå) og pr. tons tørstof i salgsafgrøder (sort).



Figur 3 Netto-drivhusgasudledning pr. ha og pr. tons tørstof i salgsafgrøder. Samme sædskifter som i fig. 2. (Knudsen et.al. 2014)

Det ses i fig. 3, at sædskifterne med græs (Mulching og Biogas) har udledninger på niveau med det ugødede salgsafgrødesædskifte (No input) målt i udledning pr. ha. Udledningen fra det økologiske gylle-sædskifte er tydeligt højere, men mindre end udledningen fra det konventionelle sædskifte.

På grund af lavere udbytter, ender sædskiftet med græs til grøngødning og det ugødede sædskifte med salgsafgrøder på samme niveau af udledning pr. tons salgsafgrøde-tørstof som øko-gylle-sædskiftet og det konventionelle sædskifte.

Sædskiftet med biogas-græs klarer sig til gengæld meget bedre, og har ligefrem en negativ netto-udledning både målt pr. ha og pr. tons produkter.

### **Bioraffinering og biogas af græsprodukter kan forbedre klimaprofilen**

Læren fra de gennemgåede sædskifteforsøg er, at økologisk planteproduktion kan skaffe meget kvælstof fra kløvergræsmarker til erstatning for tilkøbt husdyrgødning. Men effekten af græsmarkskvælstoffet i form af udbytte af salgsafgrøder fra resten af sædskiftet opvejer ikke det tab af salgsafgrøder, som græsmarken har fortrængt, med mindre man udnytter græsset til biogasproduktion og gøder med den afgassede gødning.

Græsmarkerne samler mere kulstof til jorden i form af rodrester end salgsafgrøder og dette kulstof mere end kompenserer for den øgede udledning af lattergas, som det fikserede kvælstof giver anledning til. Målt pr. ha får sædskifter med 25 % kløvergræs en nettoudledning af drivhusgasser, der er mindre end sædskifter med 100 % salgsafgrøder gødet med husdyrgødning eller handelsgødning. Men målt per produceret salgsafgrøde ligger nettoudledningen af drivhusgasser fra sædskiftet med 25 % kløvergræs på samme niveau som sædskifterne med 100 % salgsafgrøder.

Udnyttes græsafgrøden til biogas, og gødes resten af sædskiftet med den afgassede gødning, kan der opnås salgsafgrødeudbytter, der nærmer sig sædskifterne med 100 % salgsafgrøder. Samtidig opnås en betydelig klimagevinst gennem den producerede biogas.

Hvis man gennem bioraffinering kan udnytte græsset til produktion af proteinkoncentrat, inden resterne bruges til biogas, kan man opnå yderligere en forbedring af sædskiftets klimaprofil. Dels vil græsmarken selv generere et salgsprodukt, der øger sædskiftets produktivitet, dels vil proteinet kunne erstatte andre proteinkilder, der har et større klimaaftryk (f.eks. soja).

### **Udfordringer i forhold til klimareguleringen**

Den internationalt vedtagne klimaregulering fungerer på den måde, at nationalstaterne hver især skal gøre udledningerne af drivhusgasser op for deres område.

Det betyder, at en mindre sojaimport forårsaget af proteinproduktion fra danske græsmarker ikke godskrives den danske klimaopgørelse, da klimabelastningen fra sojaproduktionen ligger uden for Danmarks grænser.

Den nationale klimaopgørelse er også opdelt i sektorer, hvor energiproduktionen ligger i en sektor og landbruget ligger i en anden sektor, og hver sektor pålægges specifikke reduktionsmål. Når landbruget øger biogasproduktionen, reducerer det udledningerne i energisektoren gennem fortrængning af fossile energikilder; men landbrugssektoren opnår kun reduktioner i den udstrækning at biogasproduktionen mindsker metanudskillelsen fra husdyrgødning. Biogasproduktion på basis af græsmarksafgrøder vil stort set kun hjælpe i opgørelsen af energisektorens drivhusgasudledninger.

Selvom der, som vist i denne artikel, kan påvises vigtige positive effekter af at dyrke græsmarksafgrøder til brug for biogas- og proteinfremstilling, risikerer den officielle opgørelse af drivhusgasudledninger nationalt og i sektorer at mindske motivationen for at indføre sådanne ændringer i landbruget.

## Kilder

Brozyna, M.A., Petersen, S.O., Chirinda, N. & Olesen, J.E. (2013). Effects of grass-clover management and cover crops on nitrogen cycling and nitrous oxide emissions in a stockless organic crop rotation. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 181, 115-126.

Knudsen, M.T., Meyer-Aurich, A., Olesen, J.E., Chirinda, N. & Hermansen, J.E. (2014). Carbon footprints of crops from organic and conventional arable crop rotations using a life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production* 64, 609-618.

Pugesgaard, S., Petersen, S.O., Chirinda, N. & Olesen, J.E. (2017). Crop residues as driver for N<sub>2</sub>O emissions from a sandy loam soil. *Agricultural and Forest Meteorology* 233, 45-54.

Schjønning, P., de Jonge, L.W., Munkholm, L.J., Moldrup, P., Christensen, B.T. & Olesen, J.E. (2012). Drivers for dispersibility and soil friability – test of the clay carbon saturation concept. *Vadose Zone Journal* 11, doi:10.2136/vzj2011.0067.