



NOTAT



Biogas og pyrolyse –

et holistisk syn på VE-produktion,
jordkvalitet og recirkulering af næringsstoffer

Rådet for Grøn Omstilling 2021



RÅDET FOR
GRØN OMSTILLING

Notat: Biogas og pyrolyse – et holistisk syn på VE-produktion, jordkvalitet og recirkulering af næringsstoffer

1. udgave februar 2021

ISBN: 978-87-93630-21-5

Tekst: Christian Ege, Rådet for Grøn Omstilling.

Design/omslag: FJORD Visuel kommunikation

Fotos/illustrationer: Forsidefoto: Økologisk Landsforening, s. 6: Dennis Jarvis, s. 12: Erik Kolding, s. 17: Torkild Birkmose

Udgivet af: Rådet for Grøn Omstilling



RÅDET FOR
GRØN
OMSTILLING

Kompagnistræde 22, 3. sal
1208 København K

Tlf.: 33 15 09 77

www.rgo.dk

info@rgo.dk

CVR 15428376

Rådet for Grøn Omstilling er en uafhængig miljøorganisation, der arbejder for at fremme en grøn og bæredygtig omstilling af samfundet. Det gør vi ved at skabe og formidle viden om grønne løsninger og ved at påvirke politikere, virksomheder og borgere til at træffe grønne valg.

Projekt Fremtidens Landbrug ser på mulighederne for en bæredygtig udvikling af dansk landbrug frem mod år 2050.

Projektet er støttet af VELUX FONDEN. Første del af projektet forløb i perioden 2012 – 2016. Fremtidens landbrug 2.0 – fosfor-projektet har kørt frem til februar 2021.

Dette notat er udarbejdet i forbindelse med projektarbejdet omkring Fremtidens Landbrug 2.0 - fosforprojektet. Notatet er et ud af flere baggrundsnotater med uddybende materiale med mere specifikt indhold til at supplere 'Scenarierapport: Fremtidens landbrug 2.0. Fosforscenariet'.

Alle udgivelser fra projektet kan findes på www.fremtidenslandbrug.dk.

Rådet for Grøn Omstilling står alene til ansvar for udgivelsen af dette notat. Involverede forskere fra universiteterne kan ikke stilles til ansvar for scenariet, politiske holdninger og anbefalinger, som indgår i notatet.

VELUX FONDEN



INDHOLD

FORORD	4
PROGRAM	5
WORKSHOP OM BIOGAS, PYROLYSE - VE-PRODUKTION OG JORDKVALITET, 30. OKTOBER 2020	6
CHRISTIAN EGE, RÅDET FOR GRØN OMSTILLING (RGO)	6
HENRIK HAUGGAARD-NIELSEN, RUC.....	7
JESPER AHRENFELDT, DTU.....	8
KARSTEN CAPION, KLIMARÅDET (KR).....	9
HENRIK WENZEL, SDU	10
ERIK KOLDING, SKIVE KOMMUNE	11
DORETTE MÜLLER-STÖVER, KU	12
MARIE LOUISE BORNØ, KU	13
ANNETTE VESTERGAARD, SEGES	13
BRUNO SANDER NIELSEN, BIOGAS DANMARK.....	14
ERIK FOG, SEGES	16
TORKILD BIRKMOSE, SEGES	17
SPØRGSMÅL, CHR. EGE	18
ERIK TANG, KLIMARÅDET	18
LEIF BACH JØRGENSEN, RGO	19
DEBAT	21
OPSUMMERING VED CHRISTIAN EGE	22

FORORD

Denne inviterede workshop blev afholdt af Rådet for Grøn Omstilling d. 30. oktober 2020, on-line med ca. 40 deltagere. Dette notat er skrevet som et udbygget referat af både [oplæg](#) og diskussioner. Referatet står alene for Rådet for Grøn Omstillings regning. Rækkefølgen af oplæg i dette notat følger den logik, som programmet fra starten var tænkt i, mens nedenstående program er lidt afvigende, nemlig den rækkefølge, som det i praksis blev afviklet i – som følge af hvornår visse oplægsholdere var disponible.

PROGRAM

10.00 *Christian Ege, RGO*: Velkomst, praktiske oplysninger - og præsentationsrunde

10.10 *Christian Ege*, Intro - Hvordan kan vi forene biobaseret VE-produktion med sikring af kulstoflagring i jorden samt fosforkredsløb?

10.25 *Jesper Ahrenfeldt, DTU*: Hvad er pyrolyse og termisk forgasning? Hvad er potentialet i DK?

10.45 *Karsten Capion, Klimaraadet*: Hvor meget kan biogas og pyrolyse bidrage til 2030-målet, samt efter 2030?

11.05 *Pause*

11.10 *Henrik Wenzel, SDU*

11.30 *Erik Kolding, Skive kommune*: Hvordan skaffer vi nok CO₂-neutrale energikilder og samtidig sikrer kulstoflagring?

11.50 *Dorette S. Müller-Stöver og Marie Louise Bornø, KU*: Biochar, afgasset biomasse - fosfortilgængelighed og liv i jorden

12.10 *Frokost*

12.50 *Bruno Sander, Biogasbranchen*: Kan biogas forene VE-produktion og jordkvalitet?

13.10 *Henrik Hauggaard-Nielsen, RUC*: Hvorfor er kulstoflagring og fosforkredsløb vigtigt?

13.30 *Annette Vestergaard, Seges*: Kulstof og fosfor i jorden – jordkvalitet, tørkeresistens samt *Erik Fog, Seges*: Det økologiske jordbrugs behov for næringsstoffer.

13.50 *Thorkil Birkmose, Seges*: Gylleseparering – et Columbus-æg?

14.10 *Pause*

14.20 *Erik Tang, Klimarådet*: Fremmer DKs og EU's VE- og landbrugspolitik kulstoflagring?

14.40 *Leif Bach Jørgensen, RGO*: Fremmer DKs og EU's VE- og landbrugspolitik et fosforkredsløb?

15.00 *Panel: Henrik Wenzel, Jesper Ahrenfeldt, Annette Vestergaard*: Biogas og pyrolyse – vedvarende energiproduktion versus jordkvalitet

15.25 *Åben diskussion*

16.10 *Afslutning*

WORKSHOP OM BIOGAS, PYROLYSE - VE-PRODUKTION OG JORDKVALITET, 30. OKTOBER 2020

CHRISTIAN EGE, RÅDET FOR GRØN OMSTILLING (RGO)

Workshoppen indgår som led i projekt i RGO, støttet af Veluxfondene. Et projekt med fokus på fosfor – set som både en ressource og en potentiel forurening. Projektet ligger i forlængelse af projekt Fremtidens Landbrug, som beskrev 4 scenarier for mere bæredygtigt landbrug – afsluttet i 2016. Sigtet er at give bud på hvordan vi kan påvirke udviklingen i Danmark og i EU - i samarbejde med andre grønne organisationer i DK og i EU.

- Kan vi forene hensynet til biobaseret vedvarende energi (VE-)produktion, jordkvalitet og fosforbalance?
- Biobaseret VE-produktion skal baseres på de letomsættelige dele af organiske restprodukter
- Bestanddele med lang nedbrydningstid skal danne kulstoflagre i jorden.

Debatten foregår for opdelt i dag, mellem de der vil lave mest mulig VE på basis af biomaterialer, de der arbejder med jordkvalitet, kulstoflagring og liv i jorden, samt de der fokuserer på recirkulering af fosfor. Et af målene med workshoppen og med dette notat er at fremme et helhedsorienteret syn på problematikken. Der er ganske vist fosfor til lang tid endnu – måske flere hundrede år. Men udtømning vil umuliggøre landbrug globalt. Derfor skal vi bremse op allerede nu, særligt i de rige lande. Desuden er fosfor med lavt cadmium-indhold meget mere knapt, og det er meget dyrt at rense for cadmium.



RGO undersøger om et princip om «den askefri strategi» vil være hensigtsmæssigt at forfølge. Biogas og pyrolyse er sådanne "askefri teknologier", der kan forene disse hensyn - med fremme af kulstoflagring og fosfor-kredsløb. Forbrænding opfylder derimod ikke princippet. Men gør termisk forgasning¹? Ikke hvis restproduktet er aske.

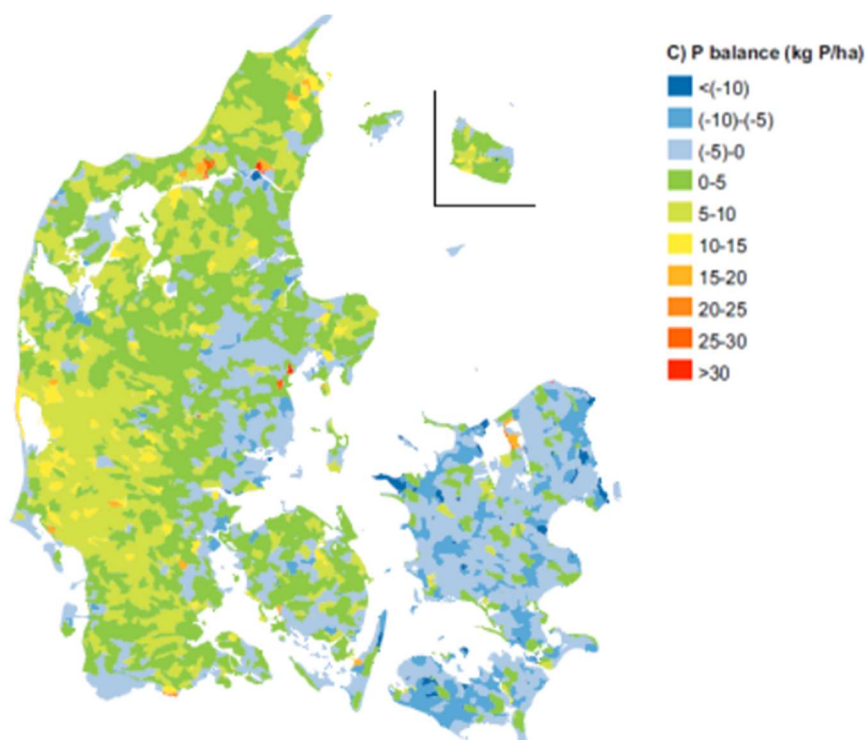
¹ Der er lidt afvigende definitioner af pyrolyse og termisk forgasning. Nogle opfatter det som synonymt, mens andre skelner, således at pyrolyse sker ved temperaturer op til ca. 700°C, hvor restproduktet er biochar – et trækulslignende produkt - mens termisk forgasning sker ved højere temperaturer, hvor restproduktet typisk er aske. Vi anvender sidstnævnte definition

Hvis man følger den «askefri strategi», skal træflis, træpiller, brænde og halm ikke forbrændes til aske i kraftvarmeværker, halmfyr eller brændeovne. Det gælder også fiberfraktion efter gylleseparering, samt spildevandsslam – i dag er der dog en kemikalie-udfordring med 20-30% af slammet. Derfor bør halmen «flyttes» fra kraftvarmeværker til biogas- eller pyrolyseanlæg. Dermed stiger potentialet også kraftigt for disse teknologier – også selv om vi beslutter at sænke antallet af husdyr i Danmark aht. klima og arealforbrug til foderproduktion.

RGO arbejder således for en holistisk strategi, hvor vi satser på recirkulering af organisk stof, incl. Næringsstoffer og undlader forbrænding. For denne strategi taler bl.a.:

- Der skal efterlades dødt ved i skovene aht. biodiversiteten
- Vi skal udfase import af fosfor og etablere kredsløb her hos os
- Fosforholdige restprodukter skal ikke brændes til aske, men vende tilbage til jorden med fosfor i plantetilgængelig form og uden overgødskning
- Fosfor vil være mest plantetilgængeligt ved de askefri teknologier - der arbejdes med at gøre P fra aske plantetilgængeligt, men endnu ikke i storskala.

Der er en skæv fosforbalance i Danmark, som følge af skæv fordeling af husdyr, med langt flest i Vestdanmark.



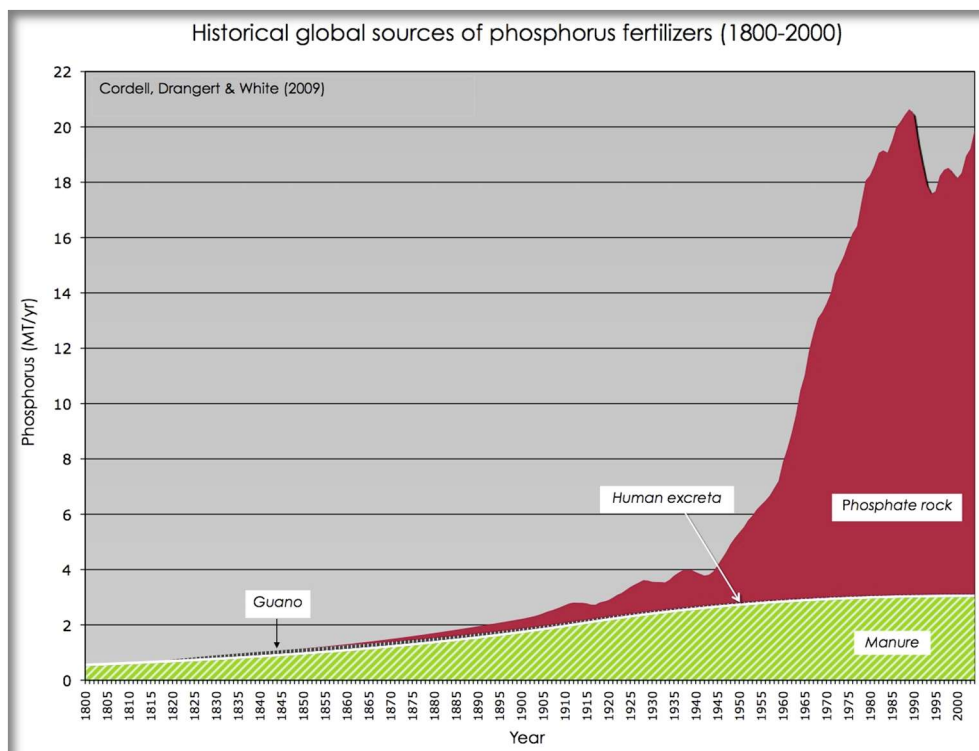
Figur 1 - Fosforbalance, AU, 2013

Det samme gælder for kulstofindhold i jorden. Der er således mangel på kulstof mange steder på Sjælland, hvor der er relativt få husdyr, samtidig med at man fjerner afgrøder og ofte også halm fra markerne. Restprodukter fra biogas og pyrolyse kan nedmuldes og bidrage med kulstof – modsat aske, der oftest deponeres.

HENRIK HAUGGAARD-NIELSEN, RUC

Vi oplever en faldende resiliens i moderne landbrug – med faldende C-indhold i jorden. Det medfører en udvikling i en nedadgående spiral – med bl.a. lav tørkeresistens, jordforpakning, øget udvaskning af næringsstoffer samt jorderosion og forringet biodiversitet. Vi har bl.a. set en næsten 20-dobling i det globale forbrug af mineralsk P-gødning siden

1945. Udviklingen fører i sidste ende til faldende udbytter og til politisk ustabilitet i visse regioner. Der kræves radikal ændring af nuværende landbrugspraksis for at opnå resiliens ift. såvel jordens kulstof- som fosforindhold.

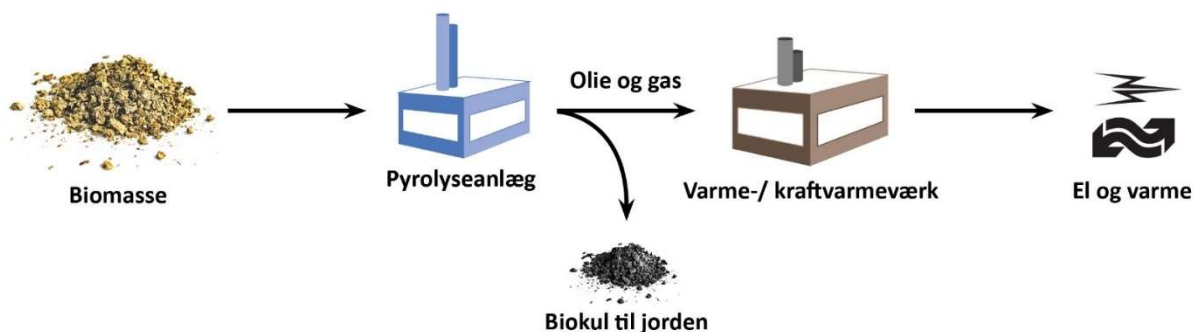


Figur 2 - P-gødning fra 1800-2000

JESPER AHRENFELDT, DTU

Der kan laves pyrolyse på en lang række typer af biomasse, f.eks. husdyrgødning, halm, græs og træ. Pyrolyse egner sig også til behandling af spildevandsslam, idet det nedbryder de organiske forureninger, f.eks. ftalater og alkylfenoler (ikke tungmetaller), som i dag forhindrer at ca. 30% af slammet kan spredes på marker.

Pyrolyse af biomasse sker ved ca. 600°C. 25% af massen og 50% af C i feedstock omdannes til biochar. 75% af massen omdannes til bioolie og grøn gas. Næsten alt P, K og Mg havner i biochar, men næsten intet N. Pyrolyse af halm sker ved 500-700°C.



Figur 3 - Pyrolyse af biomasse

Bioolien kan ledes til et olieraffinaderi (dvs. man kan udnytte eksisterende infrastruktur, som overflødiggøres) eller synteseanlæg. Her behandles den med brint (fra vindbaseret elektrolyse) mhp. produktion af transportbrændstoffer, herunder flybrændstof – indgår i ”Sky clean projektet”, som bl.a. Landbrug&Fødevarer og Seges står bag².

Skønner at man ved Sky clean projektet kan reducere DKs samlede klimagasudslip med 25%, eller 12 mio. t CO₂e. Heraf leverer biokul de 5,8 mio. t, mens substitution af fossil jetfuel leverer 4 mio. t (sml. K. Capion nedenfor). Resten (2,2 mio. t) udgøres af reduktion af metan- og lattergasudslip. Hertil kommer fjernvarmeproduktionen (39 PJ). Disse meget store tal bygger dog på ”10 mio. t-planen”³, som forudsætter, at der bruges ret store arealer på dyrkning af biomasse, herunder græs og pil. Der dannes store mængder overskudsvarme både ved pyrolyse og brændstofproduktionen – derfor bør disse processer foregå tæt på de store byers fjernvarmenet.

Biochar bør nedmuldes. Det er et meget effektivt C-lager – med en halveringstid på 500-1.000 år. Det egner sig særligt til jorde med lavt kulstofindhold, herunder sandede jorde. Det øger jordens evne til at binde vand og næringsstoffer. Dyrkningsforsøg har vist, at det øger rodvæksten på vårbyg på grovsandede jorde. Det er lugtfrit og let at transportere, og det har potentiale for at tjene som gødning på økologiske brug. Det kan desuden medvirke til bedre fordeling af næringsstoffer, dvs. undgå overgødskning nær husdyrbrug.

Det fremgår af slides, at pyrolyse er en billig teknologi. JA uddybede, at man ikke kan angive en pris i dag, men at de samarbejder med industripartnere og forventer betydelig reduktion i prisen i løbet af få år.

KARSTEN CAPION, KLIMARÅDET (KR)

Placerer dele af biogas-udbygningen inden for ”implementeringssporet”, dvs. det kan gennemføres hurtigt og med kendte virkemidler. Klimarådet skelner mellem at øge biogasproduktionen til gasnettet, som de ser som et dyrt virkemiddel, og opgradering af biogas, som i dag bruges lokalt til kraftvarmeproduktion, så det i stedet kan fødes ind på gasnettet. Det sidste ser de som et billigt ”omstillingselement”. Disse to initiativer tilsammen giver 0,8 mio. t CO₂e. [RGO finder, at merprisen på biogas sammenlignet med fossile brændsler bør fordeles ud på de forskellige fordele det indebærer. I dag rubriceres hele merprisen på salg af biogas. Men når der anvendes restprodukter, særligt husdyrgødning, til biogasanlæg er der en række andre fordele, som burde bære en del af merprisen, bl.a. det at organisk bundet kvælstof (N) omdannes til plantetilgængeligt N, hvorved udvaskning af N om efteråret mindskes].

KR angiver desuden et ”udviklingsspor”, dvs. hvor virkemidlerne skal udvikles inden der kan implementeres. Her foreslår de at opsamle CO₂ fra opgradering af biogas og lagre denne CO₂- i jorden (CCS). Det kunne reducere udslip af CO₂e med 1,2 mio t i 2030.

KR finder derimod at metanisering af CO₂ er for dyrt – 2.500 kr/t CO₂ mod 500 kr/t for CCS. Desuden mener KR at der findes mere hensigtsmæssige måder at bruge grøn brint på, f.eks. produktion af ammoniak – især til skibe. KR tror dog mindre på ammoniak til fly og tunge køretøjer – pga. faren for ulykker.

KR foreslår desuden en yderligere udbygning med biogasanlæg, hvilket kan reducere med 0,9 mio. t CO₂e i 2030 (oveni de 0,8 i implementeringssporet, ovenfor). Både dette og CCS på CO₂ fra biogas angives med ”høj sandsynlighed” for implementering – men altså inden for udviklingssporet.

KR angiver desuden i udviklingssporet et reduktionspotentiale ved pyrolyse på 4 mio. t CO₂e i 2030, men angiver ”lav sandsynlighed” pga. den formodede pris. KR finder, at der er oplagt synergi mellem biogas og pyrolyse, idet man kan lave pyrolyse på fiberfraktion af afgasset biomasse. Men der er usikkerhed om, hvad pyrolyse kommer til at koste samt hvilken pris man kan tillægge biochar til nedmuldning.

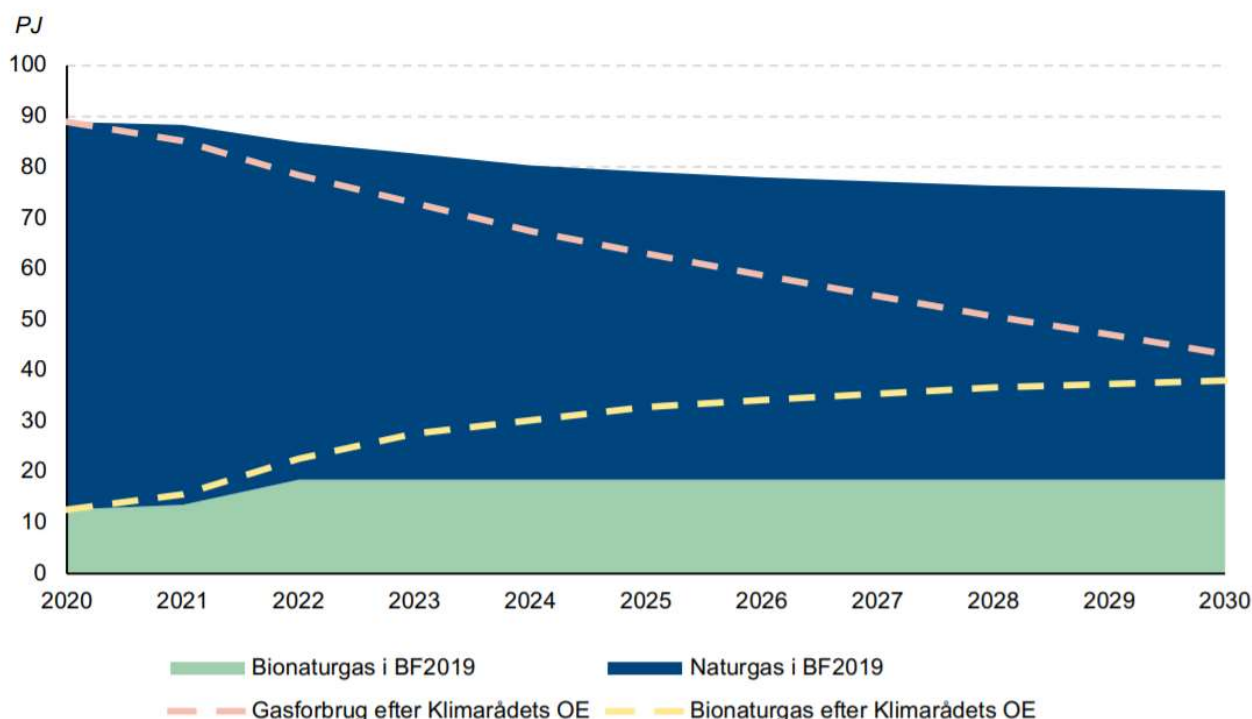
Klimapartnerskaberne anbefaler grøn gas på steder, hvor det vil være muligt at bruge el, f.eks. til produktion af mineraluld. Men i dag gives kun tilskud til grøn gas – der bør også gives mulighed for tilskud til eldrift.

² <https://lf.dk/for-medlemmer/p-nyhedsbrev/2019/22/skyclean>

³ 10 mio. t-planen, C. Feldby, KU, U. Jørgensen, AU m.fl., 2. udgave, 2016

Hvis dansk husdyrproduktion sænkes fremover, kan man overveje at dyrke energiafgrøder til biogas eller pyrolyse på nogle af de frigivne arealer.

Samlet regner KR med en biogasproduktion i 2030 på 38 PJ i implementeringssporet, mens den incl. udviklingssporet kan komme op på 48 PJ⁴. KR finder, at der efter 2030 kan blive produceret mere biogas, end vi har behov for i DK. Dette kunne løses enten ved eksport til andre EU-lande eller ved at omdanne gassen til flydende transportbrændstoffer. Det vil være muligt at opnå 100% grøn gas i gasnettet, dog tidligst i 2030 [branchen siger 2035 og regeringen siger 2040].

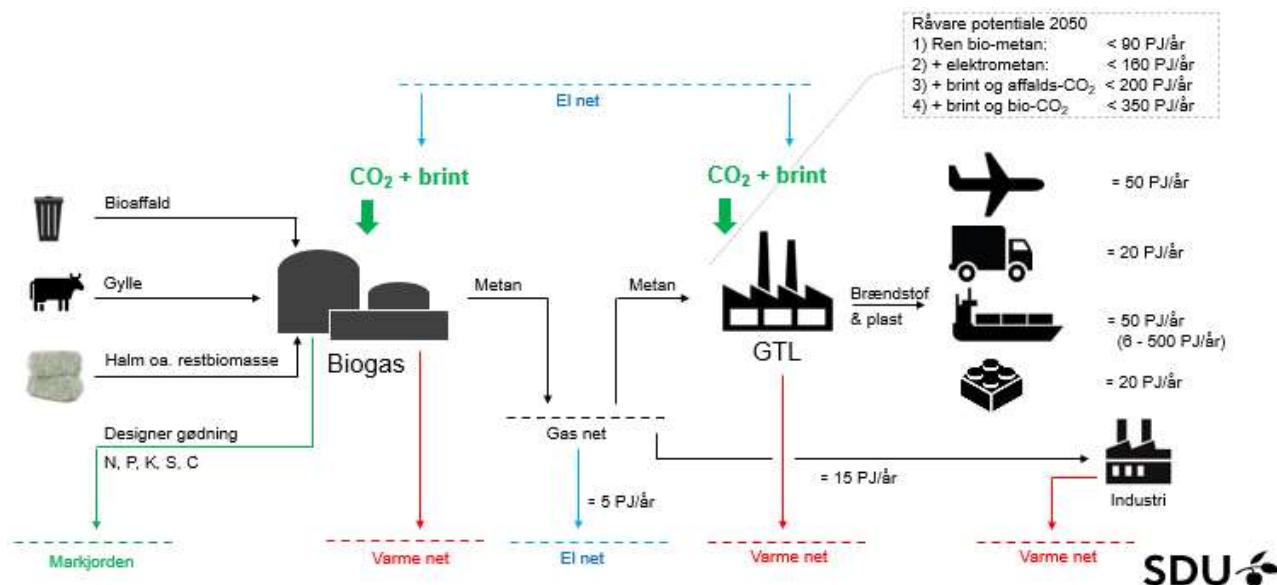


Figur 4 - Gasbesparelser og grøn gas fortrænger fossil gas

HENRIK WENZEL, SDU

Arbejder med et sammenhængende system, hvor bioaffald, halm og husdyrgødning behandles i biogasanlæg, hvorefter (dele af) metanen videreforarbejdes (gas-to-liquid) til flydende brændstoffer, som kan bruges på steder, hvor der i dag ikke kan bruges el – fly, skibe, de tungeste køretøjer samt som råvare til plastproduktion.

⁴ De 48 PJ svarer til middelskøn i Energistyrelsens biogas task force fra 2016, mens man her angav et højt skøn på 80 PJ, hvor der blev anvendt langt mere halm til biogas. Hertil kommer ca. 40% oveni begge skøn, hvis man metaniserer CO₂ fra biogasopgradering – men dette fravælger KR som nævnt



Figur 5 - Ressourcegrundlag og helhedsoptimering

Det er en fordel, at både biogas-opgradering og metanisering kan ske decentralt, da der dannes overskudsvarme, som så kan udnyttes til fjernvarme. De opererer f.eks. i Varmeplan Fyn med ca. 10 biogasanlæg med opgraderingsanlæg, som kan forsyne hver sit byområde. Anlæggene er ikke større end de også kan passe til mindre byer.

Pyrolyse kan med fordel kobles ind efter biogasanlæggene og behandle den afgassede biomasse eller, efter separering, fiberfraktionen herfra. Hermed får man mere stabilt kulstof til nedmuldning samt højere koncentration af fosfor m.v. Samtidig egner pyrolyseanlæg sig bedst til at behandle ret homogene materialer – her er afgasset biomasse mere egnet end rå halm, husdyrgødning og bioaffald.

ERIK KOLDING, SKIVE KOMMUNE

Kommunen har gennemført et forprojekt mhp. at bygge et anlæg til pyrolyse af gylle fibre. De har allerede et pyrolyseanlæg, som bruger træpiller.



Figur 6 - Forgasningsanlæg i Skive

Den primære motivation er fjernelse af næringsstoffer og dermed forbedring af vandmiljøet i fjordene, bl.a. Skive Fjord, som er stærkt forringet med uklart vand og iltvind. Her skal tilledning af næringsstoffer mindskes med 50% i 2027. Hvis man ikke forbedrer håndtering af husdyrgødningen, skal der lukkes en række husdyrbrug. Anlægget skal producere 960 t biochar pr år.

Samtidig ønsker kommunen med pyrolyse at neutralisere uønskede kemiske stoffer, som forekommer i det organiske materiale, som tilføres biogasanlæg – som de har 6-8 af i kommunen. De kan endnu ikke fastslå, hvor meget fosfortilførslen til fjorden kan reduceres vha. pyrolyse/biochar.

DORETTE MÜLLER-STÖVER, KU

P-indholdet er højere i biochar end i fiberfraktionen fra separeret afgasset biomasse – og her er det igen højere end i ikke-separeret afgasset biomasse. Samtidig er P-indholdet i slam højere end i fiberfraktion af afgasset biomasse. Dette afspejler sig i, at P-indholdet er hhv. 7,6 og 6,1% i biochar på basis af hhv. slam og biogas-fiberfraktion, mens den kun er 2,6% i biogas-fiberfraktion.

P i biochar (fra pyrolyse) har relativt høj plantetilgængelighed – betydeligt højere end i aske fra termisk forgasning. I aske fra affaldsforbrænding varierer P's plantetilgængelighed meget afhængigt af processen. I den bedste aske ligger plantetilgængeligheden på niveau med biochar. I biochar er plantetilgængeligheden af P til gengæld lidt lavere end i afgasset biomasse. P-optagelsen fra biochar kan forbedres yderligere, hvis man oxiderer biochar efter pyrolyseprocessen.

Det er en ulempe ved termiske processer, at der tabes N. (Torkild Birkmose: heldigvis er det dog kun organisk bundet N, der tabes. Chr. Ege: men dette N kunne omdannes til uorganisk (plantetilgængeligt) N, hvis materialet i stedet blev sendt gennem biogasanlæg).

Biochar har relativt lavere C-indhold end afgasset biomasse, samtidig med at de absolutte mængder til udspredning vil være mindre. Derfor vil virkningen på jordens C-indhold være mindre, i hvert fald første år. Men de følgende år vil den formodentlig være mindst ligeså stor, idet der vil være langt større afdampning af C i form af CO₂ fra den afgassede biomasse, mens C i biochar er langt mere stabilt.

Pyrolysen nedbryder både organiske miljøfremmede stoffer, patogener og mikroplast – dette burde dog undersøges mere grundigt.

MARIE LOUISE BORNØ, KU

Vi har undersøgt pyrolyse ved 700-750°C i en fluidized bed gasifier og efterfølgende tilførsel af biochar til jord. Her sås en forøgelse af tilførslen af næringsstoffer, herunder Kalium, og kun en moderat effekt på mængden af liv i jorden. Jordens evne til at tilbageholde vand (vandretention) øges, og pH øges. Jorden får større overfladeareal og porøsitet, hvilket forbedrer levesteder for smådyr m.v. Såvel enzymaktivitet som plantevækst fremmes.

Men biochar bør laves på grundlag af en blandet, næringsrig feedstock. Laves det på basis af halm eller træ, bliver det næringsfattigt. Der vil dog så være mulighed for at næringsberige det, ved at lade biochar'en ligge i f.eks. gylle, inden den nedmuldes. [men hvis man gør det, opnår man ikke omdannelse af organisk bundet N i gyllen til plantetilgængeligt N].

Ved markforsøg på Bregentved gods i 2012-15 blev spredt biochar fra pyrolyse af halm ved 700-750°C (Circulating Fluidized Bed). Ved høj tilførsel af biochar sås ingen effekt på hverken jordens C-indhold eller på plantetilgængeligt P. Men rent halmbaseret biochar er heller ikke særligt velegnet, jfr. ovenfor. Der var lidt flere regnorme pr. m² end såvel i kontrollen (med NPK-kunstgødning) som ved spredning af rå halm. Antal protozoer stiger også ved høj tilførsel af biochar, mens antal dyrkbare mikroorganismer (CFU) kun stiger i kontrollen, ikke i spredning af rå halm.

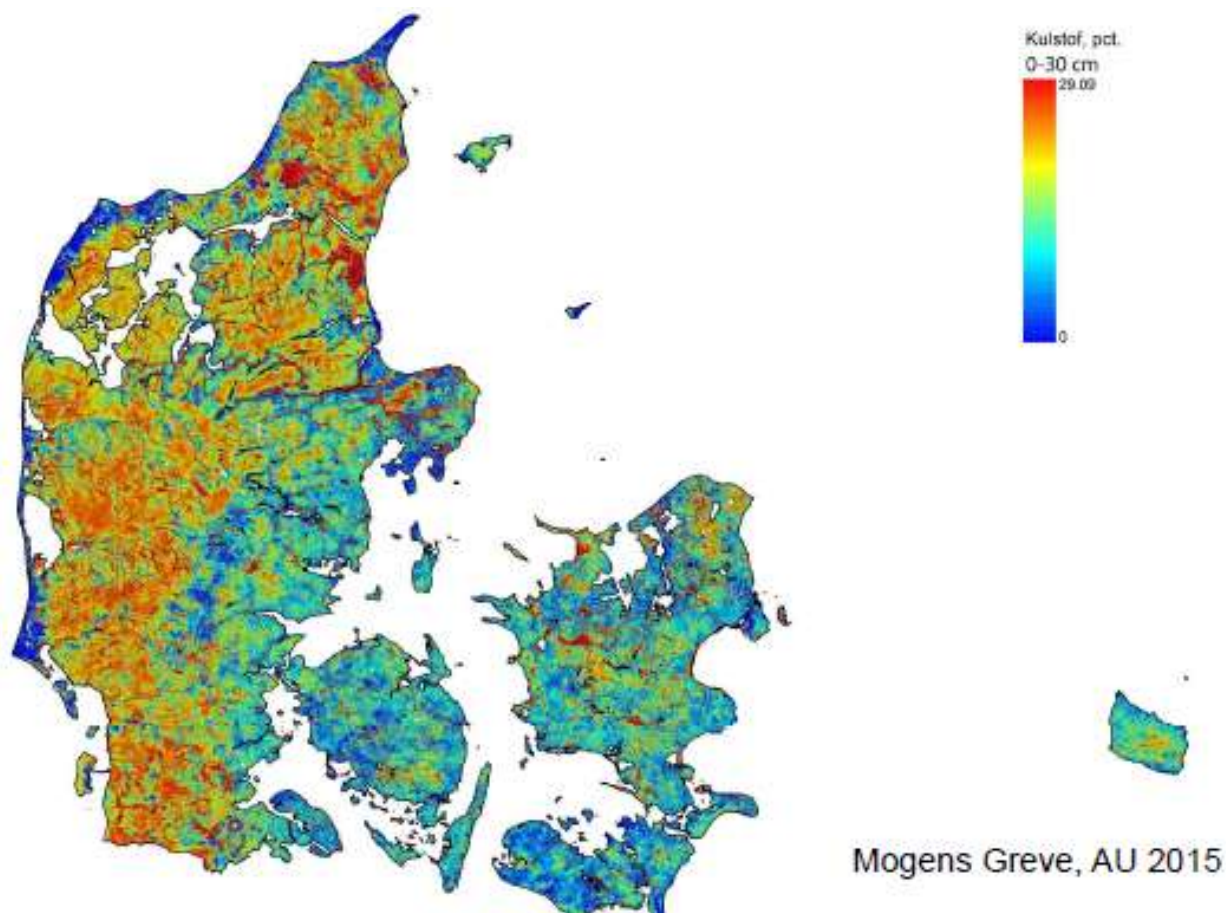
MLB har haft mulighed for at studere en biochar i Kina, hvor den havde ligget 6 år i jorden. Her var jordens C-indhold klart forøget sammenholdt med kontrollen. Biochar'en *tiltrak* desuden organismer, idet den fungerede som habitat. Men MLB havde ikke mulighed for at undersøge evt. effekt heraf på plantevækst. Vi ved, at regnorme godt kan indtage biochar-partikler, og mængden af orme påvirkes ikke. Vi ved desuden for lidt om langtidseffekterne – efter f.eks. 15-20 år.

Effekten af biochar-nedmuldning vil altid afhænge både af jordens og biokullets specifikke egenskaber. Derfor er det svært at opnå generelle konklusioner om effekter.

ANNETTE VESTERGAARD, SEGES

Dele af landet har betydelige problemer med jordpakning, hvor der kan dannes et hårdt lag, som er uigennemtrængeligt for rødder. Det øverste løsnes så ved pløjning, men der vil typisk i en dybde af 25-75 cm ligge et uigennemtrængeligt lag. Det betyder, at afgrøderne får kortere rødder, hvilket gør dem mindre tørkeresistente. Samtidig kommer der mere problem-ukrudt på marken. Problemet kan bekæmpes bl.a. ved at opbygge større indhold af organisk stof i jorden, bedre sædskifte, mindre jordbearbejdning samt lavere akseltryk på maskinerne. "For hver % jordens humusindhold øges med, øges rodzonekapaciteten med 4 mm vand pr. jordlag". Samtidig kan humusindhold binde næringsstoffer i jorden.

Også her ser vi effekten af den skæve fordeling af husdyr kombineret med at husdyrgødning spredes relativt tæt på husdyrbrugene. Det betyder, at vi har et ret højt kulstofindhold i jorden i Jylland, bortset fra Østjylland, mens resten af landet har et lavt kulstofindhold i jorden.



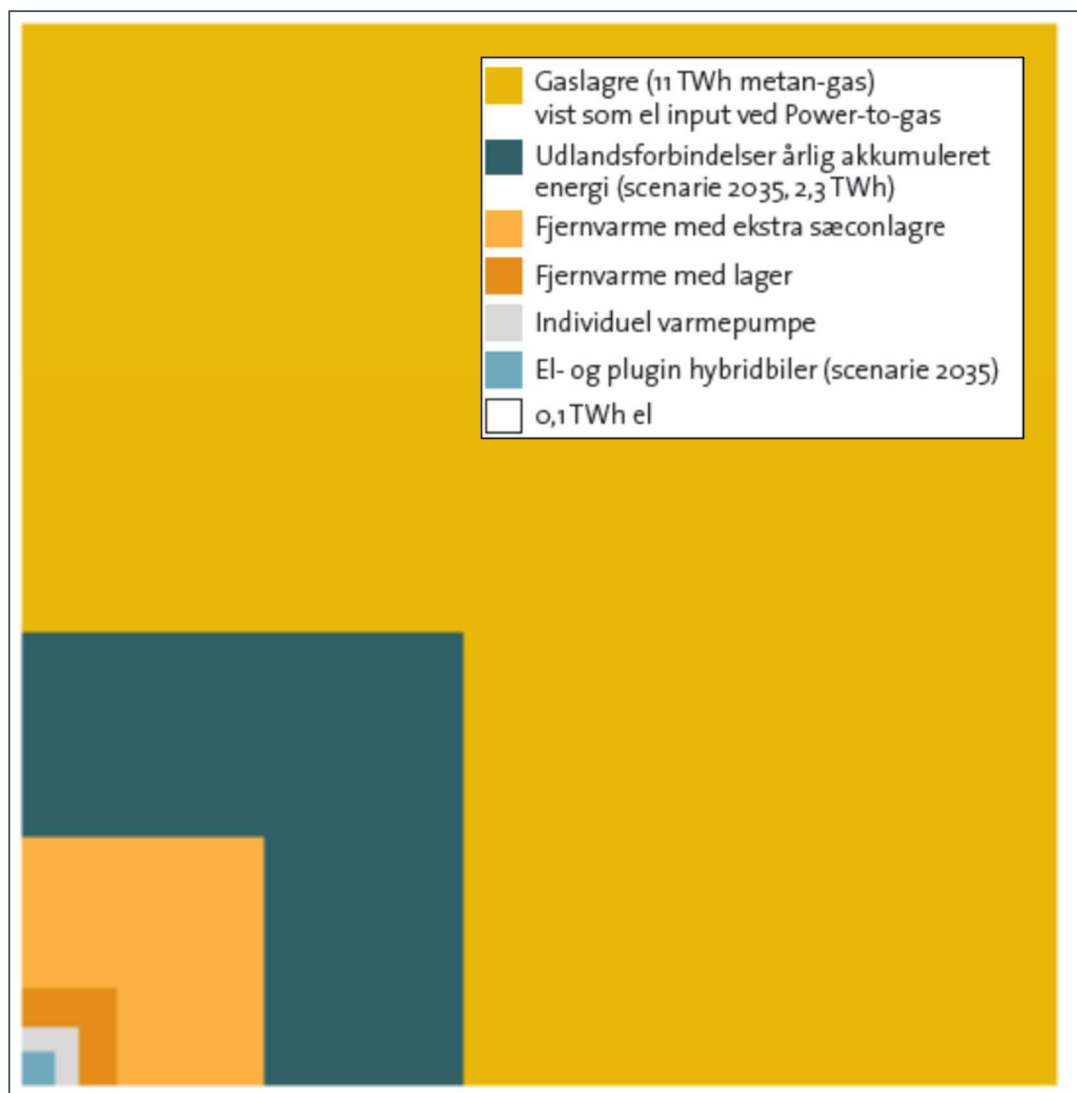
Figur 7 - Kulstofindhold i pløjelaget

Højt indhold af organisk stof kan sikres ved at have græs i sædskiftet eller ved at sprede afgasset biomasse eller biochar.

BRUNO SANDER NIELSEN, BIOGAS DANMARK

Biogasproduktion baseret på restprodukter forener mange hensyn, herunder

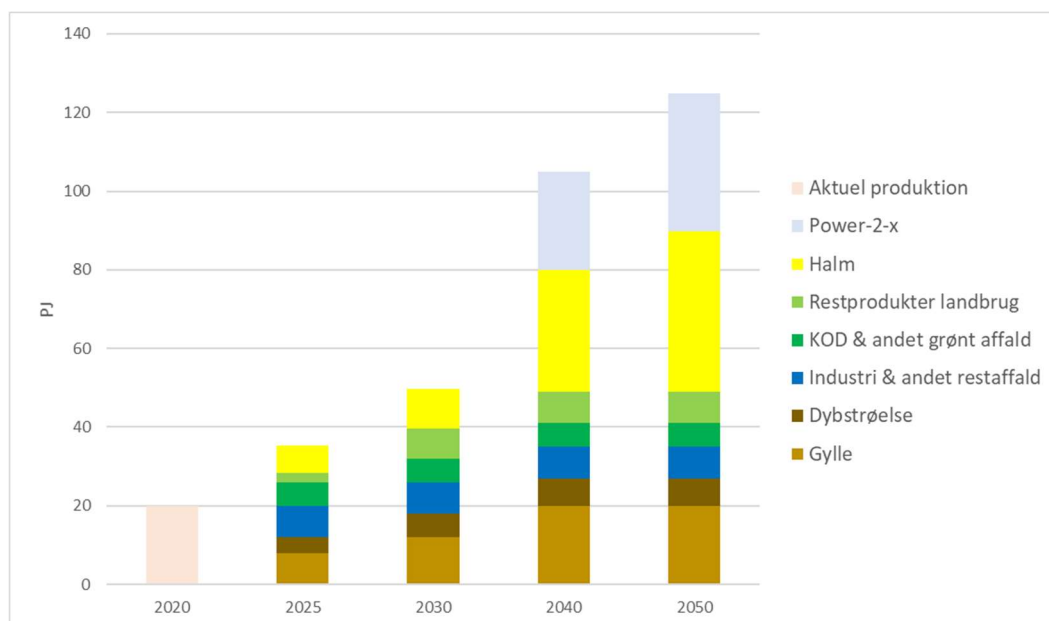
- Ændring af kvælstof til plantetilgængelig form, hvilket øger gødningsværdien og samtidig sænker kvælstofudslip om efteråret, da kvælstof forbruges i planternes vækstsæson
- reduktion af metan-fordampning fra husdyrgødning
- reducerer næringsstofftab (cirkulær økonomi), herunder sparer på mineralsk P, som ellers importeres fra miner
- biogasanlæg kan kombineres med separeringsanlæg, hvorefter den tynde fraktion bruges som især kvælstofgødning, mens fiberfraktionen vil fungere som jordforbedring, herunder fosforgødning samt som kulstoflager. Fiberfraktionen kan evt. gå til pyrolyse, hvorefter den vil være særdeles effektiv som kulstoflager – og stadig fungere som fosforkilde.
- produktion af lagerbar VE, som kan supplere de fluktuerende VE-kilder (sol, vind m.v.)
- gasnettets lagerkapacitet er langt større end andre potentielle lagre for el og varme
- biogas kan bruges i f.eks. tung proces, hvor det er sværere at bruge el, og i tunge køretøjer kan den give længere rækkevidde og større lasteevne end el



Figur 8 - Gasnettet - det største lager

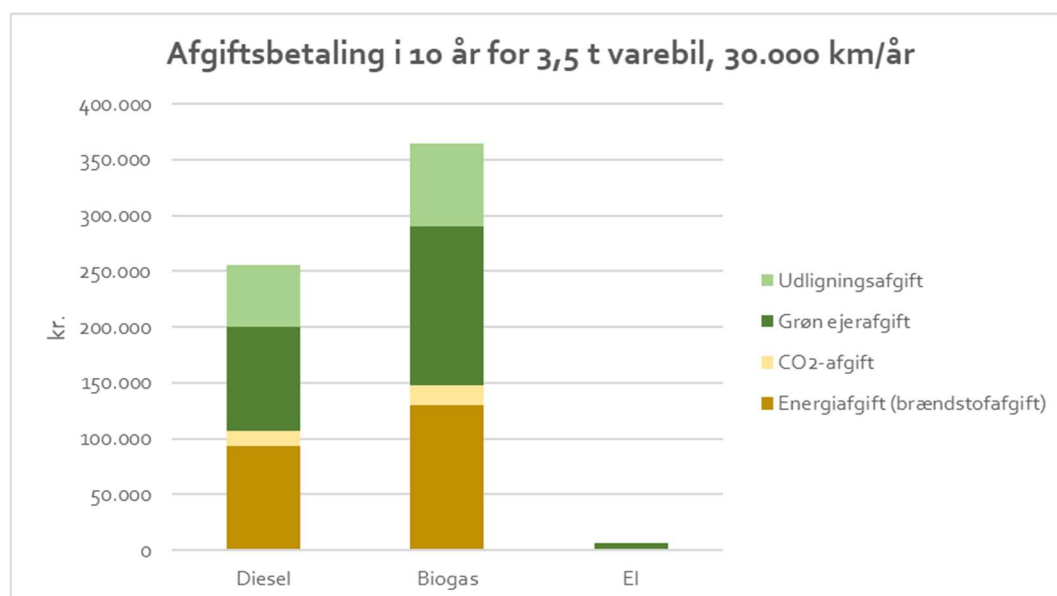
Halm er et af de vigtige restprodukter, som kan føres til biogasanlæg. Her laves de letomsættelige bestanddele til energi – disse ville være fordampet som CO₂, hvis halmen blev spredt på marken i rå form. Den afgassede biomasse fra halm tilfører lige så stor mængde af sværtomsætteligt kulstof (til humusopbygning) til jorden som ved nedmuldning af rå halm.

Der er stor vækst i produktionen af biogas, fra 4 PJ i 2009 til 20 PJ i 2020. Potentialet i 2050 anslås til ca. 85 PJ med traditionel produktion og 125 PJ incl. Power-to-X, dvs. nye transportbrændstoffer fremstillet på basis af metan og grøn brint (vindkraft-baseret).



Figur 9 - Produktionsmateriale

De 13 Klimapartnerskaber efterspørger i deres rapporter fra marts 50 PJ biogas allerede i 2030. Men skift til biogas hæmmes af afgiftspolitikken, idet vare- og lastbiler under og over 3,5 t betaler hhv. 45 og 25% mere i brændstofafgift, når de kører på biogas frem for på diesel.



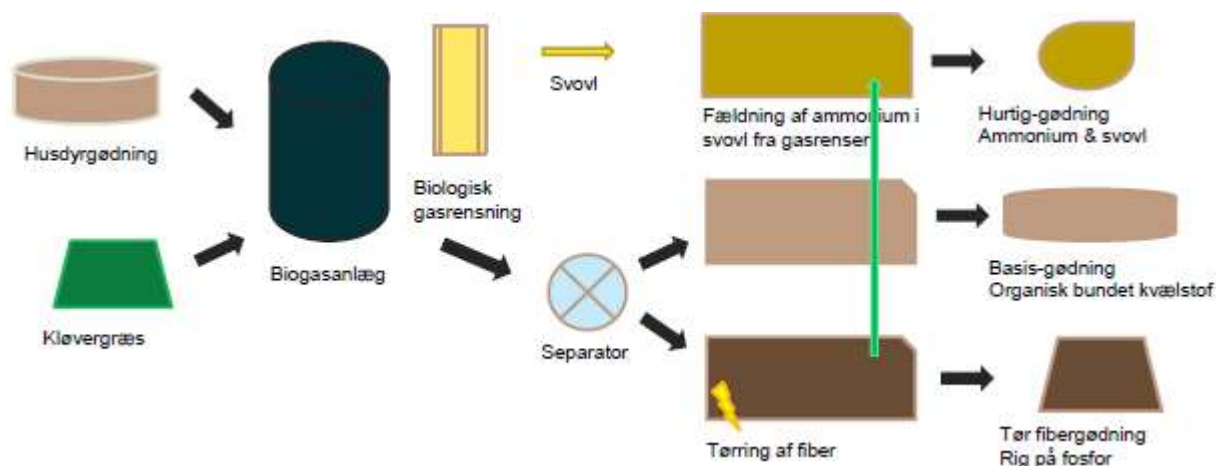
Figur 10 - Afgifter på biogas til transport

En blanding af planterester og husdyrgødning egner sig godt til biogasanlæg. Men særligt i øko-brug opnås også en betydelig klimaeffekt ved at sende kløver/grøngødning gennem biogasanlæg uden husdyrgødning.

ERIK FOG, SEGES

Økologien er mange steder udfordret ift. næringsstoffer på lang sigt. Mange overtager ved omlægning til økologi en jord med for højt indhold af fosfor, men efter 20-30 år falder fosforindholdet i jorden kritisk, hvis der ikke gøres en

særlig indsats for recirkulering, herunder at få tilbageført dele af den fosfor, som fjernes med afgrøderne. Man kan opnå en bedre gødningsforsyning i økobrug ved at bruge biogasanlæg og separering. I biogasanlæg omdannes organisk bundet N til plantetilgængeligt N, som så udnyttes bedre af afgrøderne i deres vækstsæson, hvorved udvaskning af rest-N samtidig mindskes om efteråret. Biogasanlæg kunne godt suppleres med pyrolyse, men her vil økonomien være afgørende. Ved separering af gylle eller afgasset biomasse opnås, at det meste P samles i fiberfraktionen, som kan transporteres længere pga. lavt vandindhold. Dermed kan P fra husdyrbrug også nå ud til planteavlere længere væk.



Figur 11 - ClimOptic-projektet - Biogasgødning kan N-effektiviseres

TORKILD BIRKMOSE, SEGES

Ved separering opnås en fiberfraktion med højt indhold af både tørstof, organisk stof og fosfor.



Figur 12 - Gyllesepareringsanlæg

Er gylleseparering et Columbus-æg? Nej, ikke i sig selv. Det kommer an på i hvilken sammenhæng det indgår. Men udgangspunktet er at vi har en skæv fordeling af husdyr og dermed husdyrgødning i Danmark, med langt flest dyr i Vest. Hvis man så placerer mange biogasanlæg i de husdyrtætte områder, vil man placere dem tættest på husdyrbrugene, da gyllen er dyrest at transportere. Så trækker man andre organiske restprodukter med større energiindhold derhen, f.eks. slagteriaffald. Dette kan transporteres meget længere end gyllen, da det har langt mindre vandindhold og dermed giver mere gas pr. t. Dermed kan man øge overgødningen med P nær husdyrbrugene. Dette kan løses med separering, idet man så kan transportere fiberfraktionen længere – hen til planteavlere, som har brug for den. Pyrolyse på gyllefibre kan blive en mulighed, men teknologien er ikke klar endnu. Biogasanlæg ser ud til at være den billigste måde at behandle disse restprodukter på.

Der er mange teknologier til separering, men den der i dag bedst forener høj effektivitet og god økonomi er dekanter-centrifugen. Men der er ikke økonomi i at transportere fiberfraktion fra Jylland til Sjælland, f.eks. 250 km. Det vil koste 30 kr/kg P, mens P i kunstgødning kun koster 10 kr/kg⁵. Vi kender endnu ikke prisen på P, hvis vi sender fiberfraktionen gennem pyrolyseanlæg, så der dannes biochar (med P-indhold). Der er behov for en yderligere forædling af biochar mhp. afsætning.

SPØRGSMÅL, CHR. EGE

Kan metantabet øges ved gylleseparering? **Erik Fog:** Ja, det kan ske under oplagring af fiberfraktionen. Men det kan undgås, hvis fibrene er godt udrådnede inden oplagring.

ERIK TANG, KLIMARÅDET

EU-politik/regulering påvirker kulstoflagring via

- landbrugsstøtteordningen (CAP)
- Forordning om CO₂-udledning fra jorden – Land-Use-Land-Use-Change&Forests (LULUCF-forordningen)
- VE-direktiv og kvotesystemet (ETS)

EU's landbrugsstøtte pr. ha er langt større end det gennemsnitlige hektarudbytte i 2008-17. Det betyder, at det kan betale sig at opdyrke jord, selv om det ikke giver noget udbytte af betydning. Støtten gives på betingelse af at jorden holdes i en "god landbrugsmæssig tilstand" og at en række grønne krav overholdes. Det sidste har dog i høj grad svaret til de lovbundne krav – kombineret med en række frivillige tiltag. Der er et samlet krav om, at DK skal opretholde det hidtidige areal med vedvarende græs.

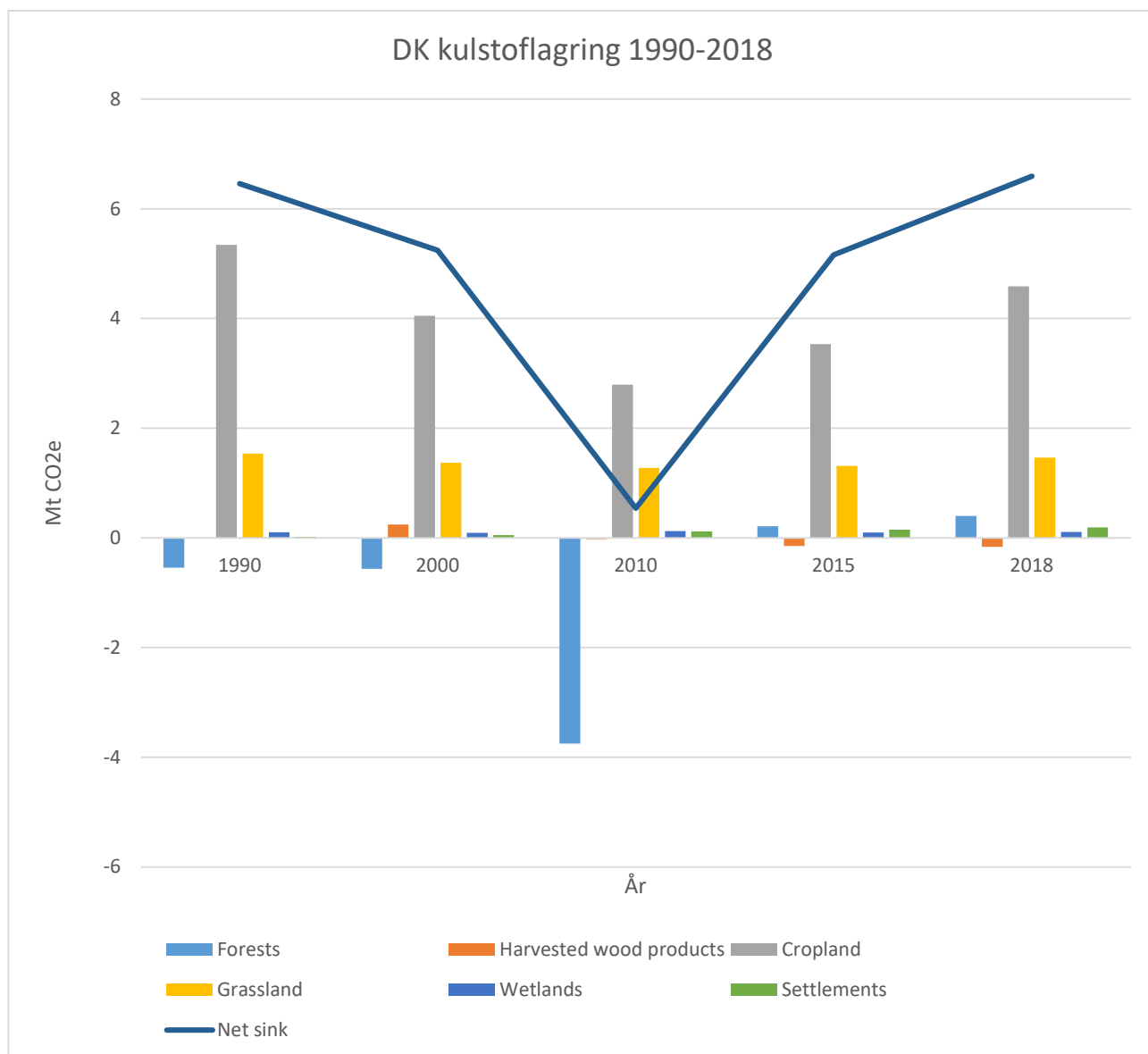
Støttesystemet betyder, at opdyrkning og dræning af lavbundslande er blevet opretholdt selv om udbytterne var lave. EU-støtten fungerer som et pervers incitament til at dyrke og dræne lavbundslande, idet man mister støtten, hvis man ikke dyrker jorden. EU har endnu ikke færdigforhandlet den nye CAP-ordning for 2022-28, men det forventes, at man vedtager en bruttoareal-model⁶, hvor landmænd kan opretholde støtten, når man tager kulstofrige lande ud af omdrift, uden at der stilles krav om fortsat landbrugsmæssig drift – dvs. man kan lade området "springe i natur".

LULUCF-forordningen giver incitament til at hindre forøgelse af CO₂-udslip fra jorden, idet en sådan forøgelse lægges til landets samlede udslip i ikke-kvotesektoren – og netop i denne sektor skal landene holde sig inden for et udledningsloft. Som udgangspunkt vil ladene også have gavn af at sænke deres LULUCF-udslip, idet en sådan reduktion kan modregnes i andre udslip i ikke-kvote sektoren. Men f.eks. Danmark har et loft for, hvor meget vi må modregne her – og dette loft er tæt på at blive nået.

Danmark har netto C-udledning fra landbrugsjorden – som et ud af kun 3-4 EU-lande.

⁵ Jfr. Leif Bach Jørgensens præsentation – vha. støtte til separering kombineret med afgift på import af P via bl.a. kunstgødning kan denne forskel i omkostninger udjævnes. RGO vurderer dog heller ikke at dette kan gøre transport af fiberfraktion fra Jylland til Sjælland attraktivt – men derimod transport i størrelsesordenen 100 km, hvorved der kan ske recirkulering af P og overflødiggørelse af import af P-kunstgødning vest for Storebælt – og tilsvarende en omfordeling af P internt på Sjælland og Lolland-Falster.

⁶ ifølge både Kommissionens forslag og forliget i EU's ministerråd (der mangler endelig aftale mellem Råd og Parlament).

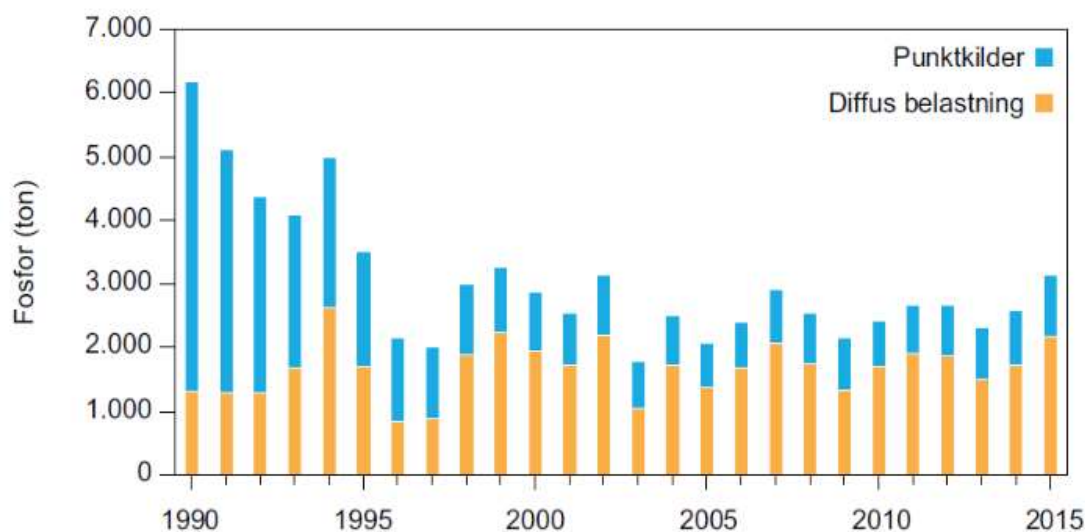


Figur 13 - Kulstoflagring i Danmark 1990-2018. Bemærk at negativt fortegn betyder C-lagring, mens positivt betyder C-udslip

Det skyldes, at vi har usædvanlig høj andel opdyrket jord, herunder at de fleste lavbundslande er opdyrket. Men ifølge Energistyrelsens Basisfremskrivning forventes C-udledningen fra landbrugsjord reduceret i 021-30, som følge af at man tager lavbundslande ud af drift.

LEIF BACH JØRGENSEN, RGO

Fosforudledningen til det danske vandmiljø kommer både fra landbrug (diffuse kilder) og fra spildevand (punktkilder). Tidligere dominerede punktkilderne, men efter at byer og industri fik rensningsanlæg med fosforrensning i 90'erne, har udledning fra landbrug domineret.



Figur 14 - Samlet dansk tilførsel af fosfor til havet

Der er de seneste år sket en stor oprustning på viden om fosfor i Danmark, med en række rapporter fra universiteterne. Men disse fokuserer langt overvejende på udledninger og hvordan disse kan mindskes, så vi opfylder EU's Vandrammedirektiv, mens ressourceproblemet behandles meget lidt.

Daværende regerings Landbrugspakke fra 2015 førte til betydelig stigning i udledning af næringsstoffer. EU-kommissionen reagerede med at pålægge Danmark at indføre skærpede fosfor-lofter, på 30-35 kg P/ha fra 2021, samt skærpede krav i oplande til fosfor-følsomme søer. P-lofterne var dog mindre restriktive end det generelle loft (25 kg P/ha), som Danmark har været med til at vedtage inden for Helsinki-konventionen. Loftet gælder for hele oplandet til Østersøen, incl. Kattegat og bælteerne, men er ikke implementeret i Danmark.

P-lofter indført på foranledning af EU bidrager marginalt til bedre fordeling af P fra husdyr og dermed substitution af P i handelsgødning, men det ændrer ikke grundlæggende på problemet med for mange husdyr i dele af landet og dermed overgødsning med P.

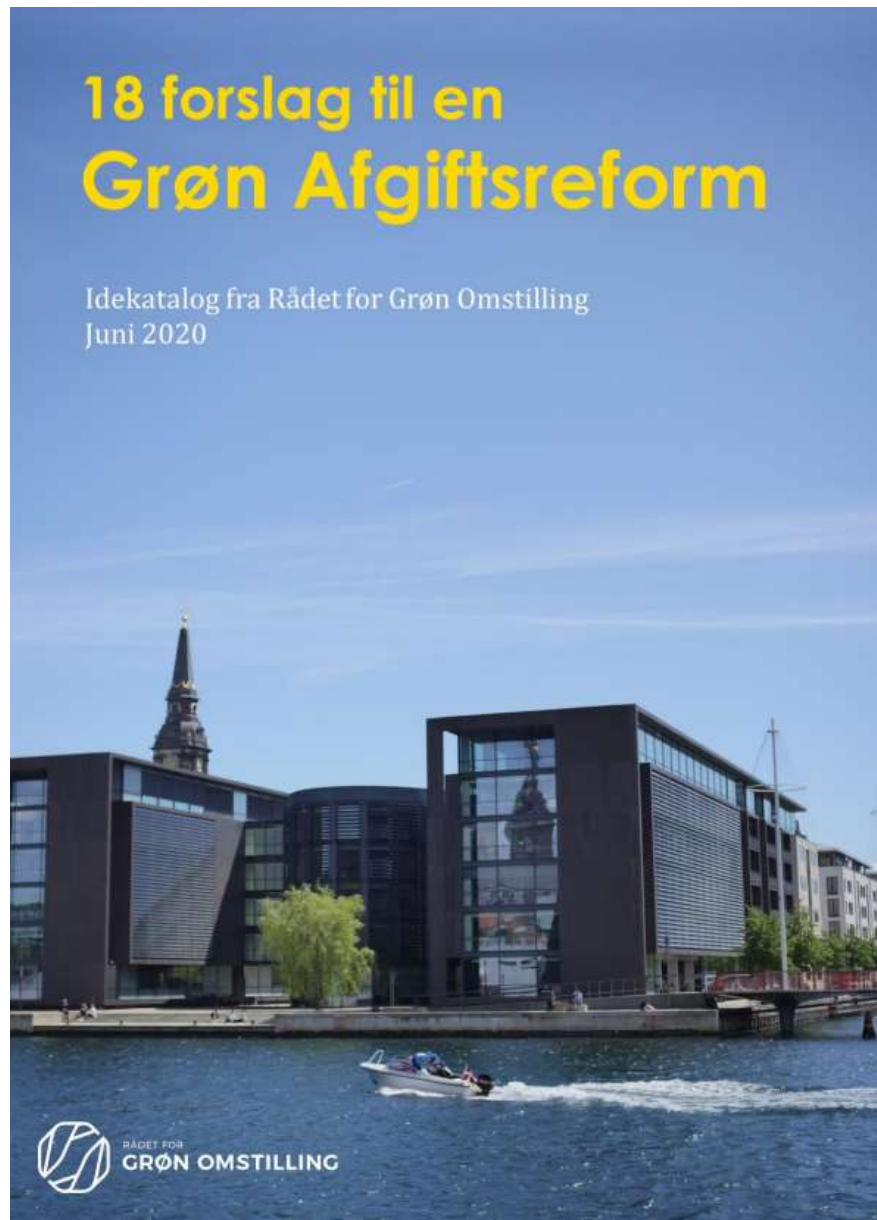
EU's direktiver om Cirkulær Økonomi fra 2018 stiller krav til recirkulering af organisk affald fra husholdninger og byerhverv, til behandling i biogasanlæg, bl.a. mhp. at recirkulere P til landbrugsjorden.

EU's kemikaliepolitik, især REACH-forordningen, har til formål at sikre viden om mulige miljø- og sundhedseffekter af kemiske stoffer, som markedsføres i EU samt forbyde eller regulere brugen af problematiske stoffer. Dette kan medvirke til at muliggøre recirkulering, også af organisk affald, herunder husholdningsaffald og spildevandsslam, idet indhold af skadelige stoffer udgør en barriere for recirkulering.

EU's landbrugsstøtte, CAP, er med til at støtte en for stor husdyrproduktion, bl.a. ved at give hektarstøtte til arealer med foderproduktion (udgør ca. 80% af det danske landbrugsareal). En mindre del af støtten (søjle 2 midlerne) er derimod med til at støtte tiltag til reduktion af miljø- og klimabelastningen, herunder støtte til miljøteknologi. Der lægges ikke op til grundlæggende ændringer af dette i den kommende CAP. Heller ikke Kommissionens forslag til European Green Deal fra 2020, herunder Farm2Fork-strategien, lægger op til grundlæggende ændringer såsom opprioritering af produktion af plantebaserede fødevarer ift. husdyrbrug.

RGO har fremlagt en række forslag til afgifter, herunder fosforafgift og CO₂-afgift⁷, samt støtte til pyrolyse og separering af gylle eller afgasset biomasse. Disse tiltag ville fremme plantebaseret produktion, bedre P-udnyttelse bl.a. i husdyrgødning, reduceret import af P i både foder og kunstgødning, samt nedmuldning af kulstof mhp. humusopbygning.

⁷ Se <https://rgo.dk/wp-content/uploads/18-afgifter-der-goer-danmark-groennere-1.pdf>



Figur 15 - 18 forslag til en Grøn Afgiftsreform

DEBAT

Henrik Wenzel, SDU: Der er brug for en særlig ratio mellem biomasse-mængde, gasproduktion og brint. Ved pyrolyse nedmuldes en større C-mængde – jo mere C-lagring i jorden, jo mindre gas-/metan-produktion⁸ – og vi kan komme til at mangle metan.

Tobias Pape, RUC: Det er for unuanceret at kræve en "askefri strategi". Der kan godt være en udmærket P-tilgængelighed fra aske – det afhænger helt af processens karakter. Dog ved slam-forbrænding får man en meget lav P-tilgængelighed.

Chr. Ege: Vi ønsker bl.a. halmen flyttet fra forbrænding i k/v-værker og halmfyr over i biogasanlæg.

⁸ Ved biogas-sporet tabes dog også mere CO₂ fra den nedmuldede afgassede biomasse, mens der tabes minimalt fra det meget stabile biochar. Derfor produceres der ikke *nødvendigtvis* mindre metan ved pyrolyse, selv om C-lagringen er større. Men måske gør der i praksis?

Tobias Pape: P fra halm er ikke så interessant.

Henrik Wenzel: Pyrolyse bør anvendes *efter* biogasanlæg, ikke i stedet for. Pyrolyse sker under anvendelse af en katalysator, hvilket gør teknikken sårbar ift. at behandle en kompleks feedstock af blandede restprodukter. Det vil fungere bedre på den mere homogene afgassede biomasse.

Annette Vestergaard, Seges: Der mangler en prissætning/incitament ift. C-lagringen ifm. biochar.

Karsten Capion: Man skal se på den samlede reduktion af klimagasser – C-effektivitet – sammensat af VE-mængde og nedmuldning af lagerstabil C.

Torkild Birkmose: Man skal passe på med kunstgødningsafgift - at det ikke bliver de forkerte der kommer til at betale, nemlig planteavlerne, mens husdyrbrugene slipper.

Chr. Ege: Dette kan løses ved tilbageføring af provenu – ved at vælge de rette kriterier for tilbageførsel.

Signe Borgen, Landbrugsstyrelsen: Vi vil bestille en undersøgelse af de forhold, som har været behandlet på denne workshop.

OPSUMMERING VED CHRISTIAN EGE

De mange gode oplæg og diskussionen på denne workshop vil bidrage til vores projekt om fosfor set fra såvel forurenings- som ressourcevinklen. Her ser vi på, hvordan man kan opnå synergier ift. såvel recirkulering af fosfor som bedre jordkvalitet, herunder tørkeresistens, samt klimagasreduktion og mindsket udledning af næringsstoffer generelt.