

Figur 1. Sydsjællandsk hvedemark (oktober 2021). Alt det kulstof, der bindes i hveden (aks, kerner, stængel, blade og rod), stammer fra atmosfærens CO<sub>2</sub> - optaget og bundet ved fotosyntese.

# Et nyt syn på landbrugets CO<sub>2</sub>-bidrag

Dansk Landbrug bebrejdes at udlede en stor mængde af drivhusgasser. Denne konklusion er baseret på IPCC regneregler, der ikke medregner den kultveilte, som optages i etårige afgrøder.

Af Frans W. Langkilde<sup>1</sup> og Søren Brøgger Christensen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Katrinedal I/S

<sup>2</sup> Naturmedicinsk Museum, Københavns Universitet

En årsag til klimaproblemerne er den øgede mængde af drivhusgasser i jordens atmosfære [1,2], der antages at medføre temperaturstigninger og klimaforandringer. En vigtig konsekvens af temperaturstigninger er afsmeltning af is i Arktis og Antarktis og dermed stigninger i verdenshavenes vandstand. Desuden medfører klimaændringerne tørke og voldsomme regnfald.

De vigtigste drivhusgasser er kultveilte (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>) og lattergas (N<sub>2</sub>O) [1,2]. Hvert ton metan har samme drivhuseffekt som 34 tons CO<sub>2</sub> [2]. Med store og voksende mængder af metan i

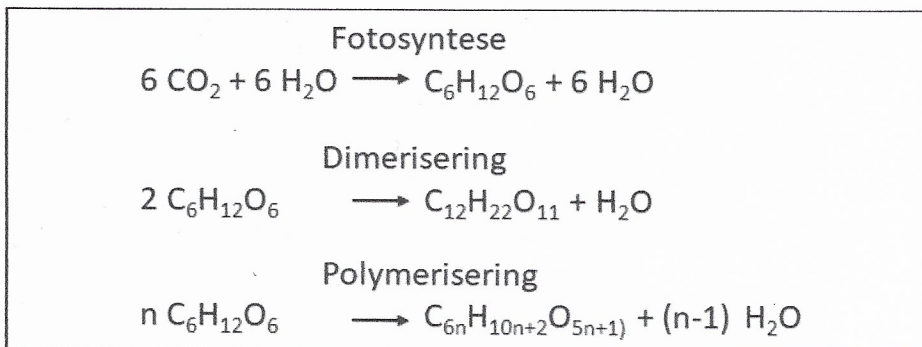
atmosfæren står metan for over 25 procent af klodens drivhuseffekt [1]. N<sub>2</sub>O findes i mindre mængder, men hvert ton N<sub>2</sub>O har samme drivhuseffekt som 298 tons CO<sub>2</sub> [2]. Derfor har N<sub>2</sub>O betydning til trods for den mindre mængde. Hvis man omregner metan og N<sub>2</sub>O med de nævnte faktorer og adderer med CO<sub>2</sub>, kommer man frem til CO<sub>2</sub>-ækvivalenter (CO<sub>2</sub>e) - en størrelse vi vil bruge i denne artikel.

## Landbrugets optag af CO<sub>2</sub> og IPCC's regneregler

I den generelle debat negligeres størstedelen af landbrugets fiksering af CO<sub>2</sub>, fordi FN's klimaorgan IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) fastslår, at biobrændsler (for eksempel halm) anses for CO<sub>2</sub>-neutrale, når de produceres og forbrændes. Ligeledes

negligeres den CO<sub>2</sub>, som bindes i etårige afgrøder og frigøres, når afgrøderne (for eksempel hvedekerner) fortæres, eller når planter nedbrydes [3,4]. Det udgør store mængder CO<sub>2</sub>. De følgende regneksempler, beregnet per hektar og år, er primært baseret på Sydsjælland-Lolland-Falster (figur 1). Afvigelser mellem marker forskellige steder kompenseres senere via en effektivitetsfaktor.

Stivelse i kernen og cellulose i halmen er kulhydrater og har samme kemiske bruttoformel, C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>. For roesukker er bruttoformlen C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>, mens for eksempel rapsolie, der overvejende består af triglycerider, har en strukturformel med en højere kulstofprocent (C%). Alt det kulstof, som findes i planter og dyr, stammer oprindeligt fra CO<sub>2</sub>, der via fotosyntesen er omdannet til sukkerstof og andre stoffer (for eksempel proteiner,



Skema 1. Ved dimerisering af to molekyler glukose fraspaltes et molekyle vand. Ved en polymerisering vil n blive meget stor. Bruttoformlen vil tilnærme sig  $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ .

ligniner, fedtstoffer og sekundære metabolitter). Ud fra reaktionsskemaerne i skema 1 kan man beregne, at for hver 180 gram glukose der dannes, bindes 264 gram  $\text{CO}_2$  og 108 gram vand og afgives 192 gram ilt. For 162 gram stivelse bindes 264 gram  $\text{CO}_2$  og 90 gram vand og afgives 192 gram ilt.

Ved 10 tons kerne og 5 tons halm binder en hvedemark cirka 14 tons  $\text{CO}_2$  i kernen per hektar per år og cirka 7 tons  $\text{CO}_2$  i halmen. Den binder også cirka 2 tons  $\text{CO}_2$  i jorden; det kaldes *Sequestration* (fagtermen for binding på længere sigt af C som organisk materiale i muldjorden [5]). I alt binder hvedemarken godt 23 tons  $\text{CO}_2$  per hektar per år. Der er taget hensyn til kernens indhold af vand (14 procent) og protein. En tilsvarende beregning for sukkerroer [6,7] giver 39 tons  $\text{CO}_2$  per hektar per år. Græs binder ved 10 tons tørstof godt 20 tons  $\text{CO}_2$  per hektar per år, heraf en større binding i jorden end for korn [5]. Et gennemsnit af afgrøder, vægtet efter et typisk dansk sædskifte, giver cirka 26 tons  $\text{CO}_2$  per hektar per år. Til sammenligning binder tropisk skov 18,3 tons  $\text{CO}_2$  per hektar per år i en livscyklus [2,3], tempereret skov 11 tons, markant mindre end dansk planteavl. Skovrejsning kan derfor medføre en mindre binding af  $\text{CO}_2$  end dyrkning af jorden (tabel 1) [2].

Hvedehalm indeholder også lignin med en højere C-andel end cellulose, hvorfor bindingen i halm nok er 8 tons, snarere end 7 tons  $\text{CO}_2$  per hektar per år.

Hvis det antages, at verdens 8 milliarder mennesker hver udånder 900 gram  $\text{CO}_2$  om dagen, betyder det, at mennesker hver dag samlet udånder 7,2 millioner tons  $\text{CO}_2$  (2,6 milliarder tons per år), som oprindeligt blev bundet i landbrugets afgrøder. IPCC's beslutning om, at landbrugets oplagring af  $\text{CO}_2$  i etårige afgrøder ikke skal medregnes, medfører, at de 7,2 millioner tons  $\text{CO}_2$  belaster landbruget, og ikke de mennesker som udånder dem.

En begrænsning af landbrugets dyrkning af afgrøder medfører en mindre produktion, som kan føre til mangel på fødevarer [4]. En konsekvens af dette kan være, at det måske lykkes at mindske udledningen fra landbruget i Danmark, men til gengæld mindskes den betydelige fjernelse af  $\text{CO}_2$  fra atmosfæren, som dyrkning af afgrøder medfører [2]. Der er da også forskere, som er kritiske overfor IPCC's regnemoder [4].

Biogas fremstilles i høj grad ud fra affaldsprodukter fra landbruget [8]. I 2022 dækkede biogas omkring 30 procent af naturgasforbruget i Danmark. Den reduktion i forbruget af fossil naturgas, som biogassen erstatter, bliver ikke medregnet som et positivt bidrag fra landbruget.

På Sydsjælland-Lolland-Falster bindes cirka 26 tons  $\text{CO}_2$  per hektar per år. For et landbrugsareal i Danmark på 25.000 kvadratkilometer eller 2,5 millioner hektar og en effektivitetsfaktor på 70 procent [9], giver det 45 millioner tons  $\text{CO}_2$  per år - tæt på det officielle tal for hele landets udledning i 2018, 48 milli-

oner tons  $\text{CO}_2$ e. Hertil kommer bindingen i skov og gartneri.

Effektivitetsfaktoren skal kompensere for jordart, klima og sammensætning af afgrøder. Den er beregnet ud fra et hvedeudbytte på 7 tons per hektar per år i stedet for 10 tons. Det forudsætter dog konventionel dyrkning i hele landet.

### Udledning af $\text{CO}_2$ i dansk landbrug

Udledningen fra hele Danmarks landbrugsproduktion sættes til 10-12 millioner tons  $\text{CO}_2$ e per år. I 2015 udgjorde det cirka 21 procent af den samlede danske udledning af drivhusgasser [9,10]. Tallet inkluderer metan fra køer og lavbundsjord,  $\text{N}_2\text{O}$  under anaerobe forhold i lerjord,  $\text{CO}_2$  fra traktorernes forbrænding af diesel etc. For et landbrugsareal på 2,5 millioner hektar giver det en udledning på 4-5 tons  $\text{CO}_2$ e per hektar per år, højere for kvægbrug, meget lavere for konventionel planteavl. Altså en nettobinding for hele landet på cirka 34 millioner tons  $\text{CO}_2$ e per år og cirka 14 tons  $\text{CO}_2$ e per hektar per år.

### Ændret arealanvendelse - dansk landbrugsproduktion i globalt perspektiv

Vi har i ovenstående dokumenteret den enorme binding af  $\text{CO}_2$ , som landbruget forårsager ved dyrkning af afgrøder. Andre vigtige faktorer er beskrevet i teorien om ændret arealanvendelse og kulstofnytte [2,9], som også inkluderer de direkte produktionsomkostninger og ser på omkostningerne ved forbrug af fødevarer. Landbrugets produktion af fødevarer medfører frigørelse af både  $\text{CO}_2$ , metan og  $\text{N}_2\text{O}$  og er årsag til 20-25 procent af klodens drivhuseffekt [2].

	Ton C bundet	Ton $\text{CO}_2$ bundet	Kulstofnytte, ton $\text{CO}_2$ e (COC+PEM)
Tropisk skov	5	18,3	18,3
Tempereret skov	3	11,0	11,0
Majs, Vestafrika			
- uden kunstgødning			4,3
- med N kunstgødning			13,8
Hvede, Sverige			
- økologisk			7,8
- konventionelt			14,2
Ærter, Sverige			
- økologisk			9,5
- konventionelt			14,2

Tabel 1. Kulstofnytte af forskellige afgrøder, i ton  $\text{CO}_2$ e per hektar per år.

Resten skyldes især brugen af fossile brændsler.

Ændret arealanvendelse (land-use change, LUC) er en alternativ måde at se på kulstofbinding (carbon opportunity cost, COC), idet en bestemt landbrugsproduktion vurderes efter, hvor meget skov som skal ryddes andre steder for at skabe en tilsvarende produktion. Hertil skal lægges udledning fra selve landbrugsproduktionen (production emission, PEM), af CO<sub>2</sub>, metan og N<sub>2</sub>O. COC+PEM kaldes kulstofnytte [2].

Oprindelig vegetation indeholder store mængder C i træer, buske, urter, mikroorganismer og i jorden. Tabet af dette C ved global ekspansion af landbrugsarealet (COC), sammen med emission fra selve landbrugsproduktionen (PEM), bidrager med de nævnte 20-25 procent af verdens udledning af drivhusgasser. Den øverste meter af jordens overflade binder mere C, end der er i hele atmosfæren som CO<sub>2</sub> og metan [11,12]. Når der både skal bindes kulstof i jorden og produceres fødevarer, kræver det en intensiv og effektiv arealanvendelse på eksisterende landbrugsarealer. Det kan måles med et indeks for kulstofnytte. Kulstofnyttens for en hektar er summen af [2]:

1. Den mulighed, som dens produktion af føde giver for at lagre C andre steder (COC).
2. Den årlige ændring af C lagring i jord og planter (*Sequestration*).
3. Besparelser i fossile emissioner på grund af dyrkning af bioenergi (COC).
4. Mindskning eller forøgelse af landbrugets udledning af CO<sub>2</sub>e (PEM).

I den almindelige debat om klimaeffekter af landbrug og fødevarer diskuteres alene landbrugets udledning af CO<sub>2</sub>e (PEM), mens man negligerer COC, som er langt større end PEM. Mere intensivt landbrug kan øge eller mindske udledningen af drivhusgasser fra PEM, men sparer meget mere udledning af drivhusgasser via COC på grund af mindre behov for landbrugsareal andetsteds. Dette er afgørende og bør indgå i diskussionen om landbrugets klimaeffekter.

Det ses i tabel 1 (side 27), at intensivt dyrkede afgrøder giver meget højere kulstofnytte end ekstensivt dyrkede og højere end for tempereret skov. For majs i Vestafrika øger kulstofnyttens, når man indfører kunstgødning med kvælstofholdige gødninger. Også for risdyrkning ses en stor stigning i kulstofnyttens ved intensivisering. For hvede i Sverige øges kulstofnyttens fra 7,8 til 14,2 tons CO<sub>2</sub>e per hektar per år ved at gå fra økologisk til konventionel dyrkning. Dette skyldes en

lille stigning i kulstofnyttens fra PEM og en stor stigning fra COC. Også for ærter i Sverige stiger kulstofnyttens økologisk-konventionelt. Tallene viser, at økologisk dyrket hvede i Sverige belaster klimaet 82 procent mere end konventionel hvede.

I Landbrugsforliget fra 2021 vil man spare en årlig udledning af en halv million tons CO<sub>2</sub> ved at fordoble det økologiske areal i Danmark. Ifølge ovenstående beregninger vil dette tværtimod øge udledningen af klimagasser.

**Klimabelastningen fra fødevarer**  
COC og PEM for produktion af fødevarer modsvarer af CO<sub>2</sub>-effektivitet af forbrug af fødevarer, hvor madens omkostning sættes til dens COC+PEM. En gennemsnitlig nordeuropæers forbrug af mad og drikkevarer koster cirka 8,7 tons CO<sub>2</sub>e per år (tabel 2) [2]. Af disse udgør PEM cirka 2,3 tons, COC cirka 6,4 tons. Man regner med, at hver nordeuropæer påvirker klimaet med cirka 10 tons CO<sub>2</sub>e per år, hvoraf cirka 2 tons stammer fra fødevarer [10]. De 2 tons modsvarer altså alene PEM og negligerer forbruget af landbrugsjord via COC (tabel 2) [2].

	I alt	COC	PEM
Gennemsnitlig nordeuropæer, mad og drikkevarer	8,7	6,4	2,3
Vegetarisk (ovo-lacto, med æg og mejerivarer)	5,4		
Fjerkræ og svinekød, uden oksekød og mejerivarer	2,5		
Vegansk	2		

Tabel 2. Kulstof omkostning for forskellige fødevarer, i ton CO<sub>2</sub>e per person per år.

Kostændringer har altså betydning for klimabelastningen [2]. Belastningen falder ved vegetarisk kost, men endnu mere ved at bortvælge oksekød og mejerivarer til fordel for fjerkræ og svinekød. Diskussionen om kostens sammensætning bør baseres på fødevarernes virkelige klimabelastning, gerne udtrykt ved COC og PEM. De nævnte tal afspejles ikke i debatten om kød kontra plantekost. Køer gavner ikke klimaet, men andre typer af kød har en mindre klimapåvirkning tæt på plantebaseret kost. Det bør også betænkes, at 2/3 af verdens landbrugsland udgøres af græsningsarealer [2], og mange af disse kan ikke bruges til andet end græsning. Skov kræver typisk mere nedbør end græs. Hvis græsset ikke bliver spist, nedbrydes det til især CO<sub>2</sub> og metan.

Hvis man indregner COC, stiger hver danskers klimaaftryk fra 10 til over 16 tons CO<sub>2</sub>e per år. For 5,8 millioner

danskere er COC cirka 37 millioner tons CO<sub>2</sub>e per år. Danmarks samlede udledning i 2018 på 48 millioner tons CO<sub>2</sub>e svarer til kun 8 tons per indbygger, det må være lavt sat. Med COC stiger tallet fra 48 til 85 millioner tons, hvoraf de 37 millioner tons stammer fra mad og drikkevarer, men det regnes normalt ikke med. De 37 millioner tons er tæt på landbrugets nettobinding på 45-11 = 34 millioner tons CO<sub>2</sub>e, udregnet ovenfor på basis af CO<sub>2</sub>-binding.

Inklusionen af LUC i beregningerne sætter IPCC's regnemetode i relief. For danskernes vedkommende medfører IPCC's beregningsmodel, at der ses bort fra en COC på imponerende 37 millioner tons CO<sub>2</sub>e per år.

## Perspektiver

De to sæt af begreber i denne artikel er beslægtede, men delvist uafhængige, og giver resultater, som ligner hinanden. Arealanvendelse/kulstofnytte giver for konventionel hvededyrkning i Sverige 14,2 tons CO<sub>2</sub> per hektar og år [2]. Binding af CO<sub>2</sub> gav ved hvededyrkning på Sydsjælland-Lolland-Falster 23 tons

CO<sub>2</sub>; med en effektivitetsfaktor på 70 procent er det 16,1 tons CO<sub>2</sub>.

Udover at de to sæt af begreber, LUC og landbrugets binding af CO<sub>2</sub>, kan give et retvisende billede af binding og udledning af drivhusgasser, kan de åbne for en række tiltag, så landbruget bliver en del af løsningen og ikke bare en del af problemet. Anerkendelse af LUC og landbrugets binding af CO<sub>2</sub> i planteavl kan give incitament til øget dyrkning af energiafgrøder og øget fokus på bio-brændsler og biogas, både fra landbruget og skovbruget. Desuden kan det være et incitament til øget sequestration.

Kun cirka 30 procent af halmen i Danmark udnyttes til energiformål, hvilket kunne udnyttes bedre. Når halmen pløjes ned, opnås en mindre klimaeffekt [11]. Også bedre udnyttelse af andre restprodukter til biogas eller til direkte erstatning af fossile brændsler vil give en besparelse af fossilt brændstof. Det

gælder også træflis fra skov. IPCC mener, at etårige afgrøder ikke skal medregnes, siden de enten fortæres eller afbrændes, hvorved CO<sub>2</sub> igen frisættes. Vi mener, at CO<sub>2</sub> rigtigt nok indgår i naturens cyklus, men for hvert ton halm, flis eller biobrændsel der anvendes, erstattes fossile brændsler. Også teorien for LUC og COC inkluderer besparelser i fossile emissioner på grund af dyrkning af bioenergi [2].

Der er bred enighed om nytten af en CO<sub>2</sub>-afgift, men en sådan afgift kan få alvorlige konsekvenser for landbruget. Tankerne ovenfor muliggør indførelse af en intelligent CO<sub>2</sub>-afgift i landbruget, som inkluderer både udledning og binding af CO<sub>2</sub>e, og som afspejler klimapåvirkningen fra planteavl og dyrhold. Inklusion af LUC i fødevarernes CO<sub>2</sub>-regnskab kunne åbne for en klimadifferentieret fødevareroms. En generel afgift på CO<sub>2</sub>e ville også dække metan og N<sub>2</sub>O. Det ville give incitamenter til at mindske udledningen af disse kraftige klimagasser.

Det er foreslået, at landbrugets udledning af klimagasser kan reduceres ved braklægning af jord eller ved at plante skov. Det bør her indregnes, at dansk skov binder 11 tons CO<sub>2</sub> per hektar og år, hvorimod dyrkning af hvede binder op til 23 tons og sukkerroer op til 39 tons. En omlægning til skov kan derfor medføre en mindre binding af CO<sub>2</sub>, og samtidig medføre, at melet og sukkeret skal importeres fra andre steder i verden, hvor landbruget muligvis er mindre effektivt. Det er derfor åbenbart, at en omlægning vil medføre en øget global udledning af CO<sub>2</sub>. Dette er særlig vigtigt, da Danmark på grund af jordart og klima har gode forudsætninger for landbrug.

Vestas har en stor udledning af CO<sub>2</sub>e, men sparer atmosfæren for en langt større mængde CO<sub>2</sub>e ved muligheden for udnyttelse af vindenergi. Vil man skære ned på Vestas produktion for at få udledningen ned? Det virker paradoksalt, at dansk landbrug ikke godskrives den CO<sub>2</sub>, der opfanges i de etårige afgrøder.

Vi er opmærksomme på, at denne artikel ikke inddrager emner som biodiversitet, dyrevelfærd og grundvandskvalitet.

### Konklusion

Naturligvis skal man søge at mindske landbrugets udledning af CO<sub>2</sub>e, men det skal gøres med omtanke, så man ikke får en mindre udledning i Danmark på bekostning af en global øgning af CO<sub>2</sub>-udledningen. For os er der ingen tvivl om, at samfundet skal gå meget langt for at løse klimaproblemerne.

Løsningsforslag skal vurderes på deres fortjeneste og ikke på grundlag af ideologi og politik. Denne artikel giver to forslag til en realistisk og hensigtsmæssig måde at vurdere landbrugets klimapåvirkning på, hvordan man kan udnytte landbrugets og skovbrugets potentiale til at bidrage til en løsning af klimaproblemerne.

E-mail:  
Søren Brøgger Christensen:  
soren.christensen@sund.ku.dk

### Referencer

1. Turner, A.J.; Frankenberg, C.; Kort, E.A., Interpreting contemporary trends in atmospheric methane. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **2019**, *116* (8), 2805-2813.
2. Searchinger, T.D.; Wierseni, S.; Beringer, T.; Dumas, P., Assessing the efficiency of change in land use for mitigating climate change. *Nature (London, United Kingdom)* **2018**, *564* (7735), 249-253. Også Extended Data og Supplementary Tables.
3. Lasco, R.D.; Ogle, S.; Raison, J.; Verchot, L.; Wassmann, R.; Yagi, K.; Bhattacharya, S.; Brenner, J.S.; Daka, J.P.; González, S.P.; Krug, T.; Li, Y.; Martino, D.L.; McConkey, B.G.; Smith, P.; Tyler, S.C. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories, Agriculture, Forestry and other Land Use 2006 Vol. 4. Afsnit 5.1.*
4. Frankelius, P., A proposal to rethink agriculture in the climate calculations. *Agron. J.* **2020**, *112* (4), 3216-3221.
5. Zomer, R.J.; Bossio, D.A.; Sommer, R.; Verchot, L.V., Global Sequestration Potential of Increased Organic Carbon in Cropland Soils. *Nature/Scientific Reports*, **2017**, *7* (1) :15554 15794-15798.
6. Nielsen, O.; Koch, H.-J.; Wiltng, P., COBRI (Coordination Beet Research International) Report, 2015; pp. 31-32. Roetop ved 130 kg N per hektar.
7. Nordic Sugar, Danish Sugar Beet Cultivators Report, Nordzucker, Ed. 2010. Roepulp, gennemsnitlige værdier for årene 2006-2009. 4,67% af 85 ton sukkerroer.
8. Energistyrelsen, Energisituationen. Energistyrelsen: ens.dk. 2022.
9. Albrektsen, R.; Hjorth, M.M., Gyldenkerne, S. Danish Emission Inventories for Agriculture, Aarhus University, 2017.
10. Landbrugsstyrelsen, Drivhusgasser fra landbruget. Landbrugsstyrelsen: lbst.dk/taergaende/klima/drivhusgasser-frac-landbruget. 2022.
11. Kätterer T.; Bolinder, M.A.; Berglund, K.; Kirchmann, H.; *Acta Agriculturae Scandinavica A, NJF seminar no. 453* (2013) 181-198.
12. Jobbágy, E.G. and Jackson, R.B. (2000) The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*, *10*, 423-436.

# HUSK

Dansk Kemi kan også læses online

Få besked hver gang en ny udgave er tilgængelig.

Tilmeld dig på [TechMedia.dk](http://TechMedia.dk)

Nyttig viden fra TechMedia