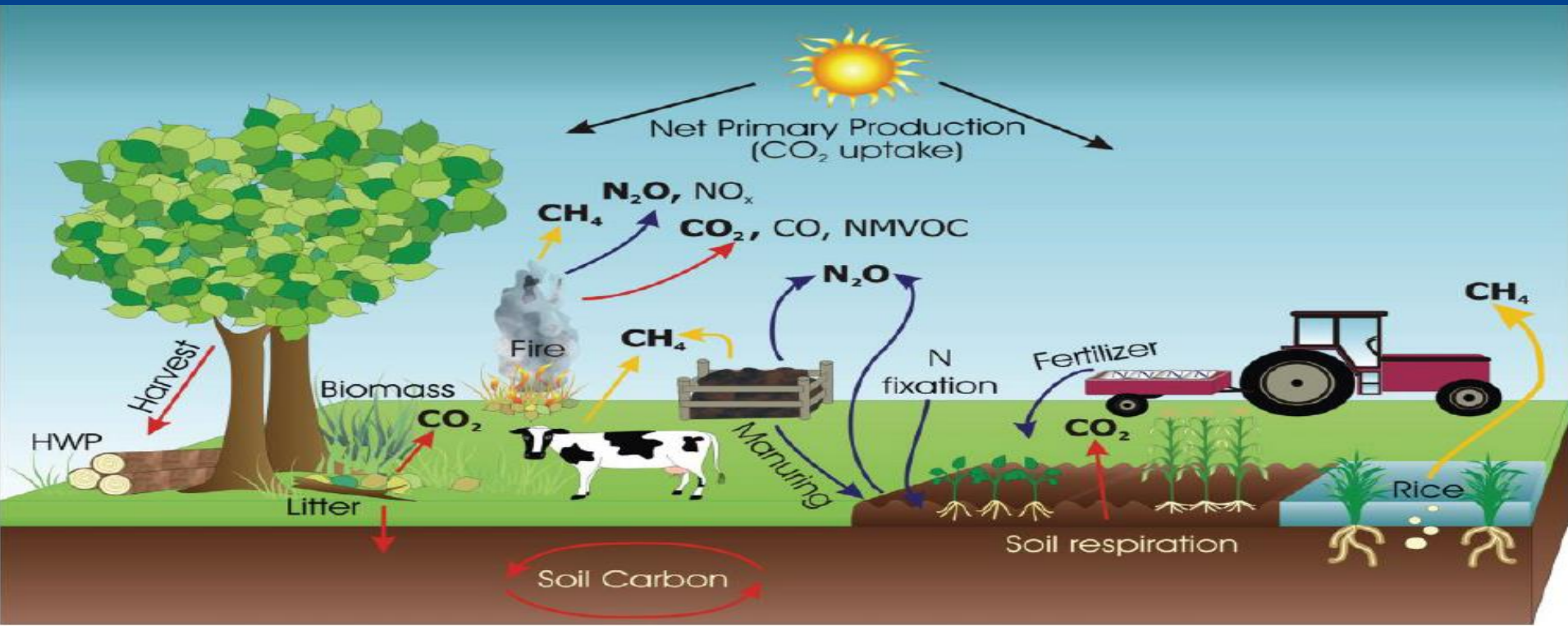




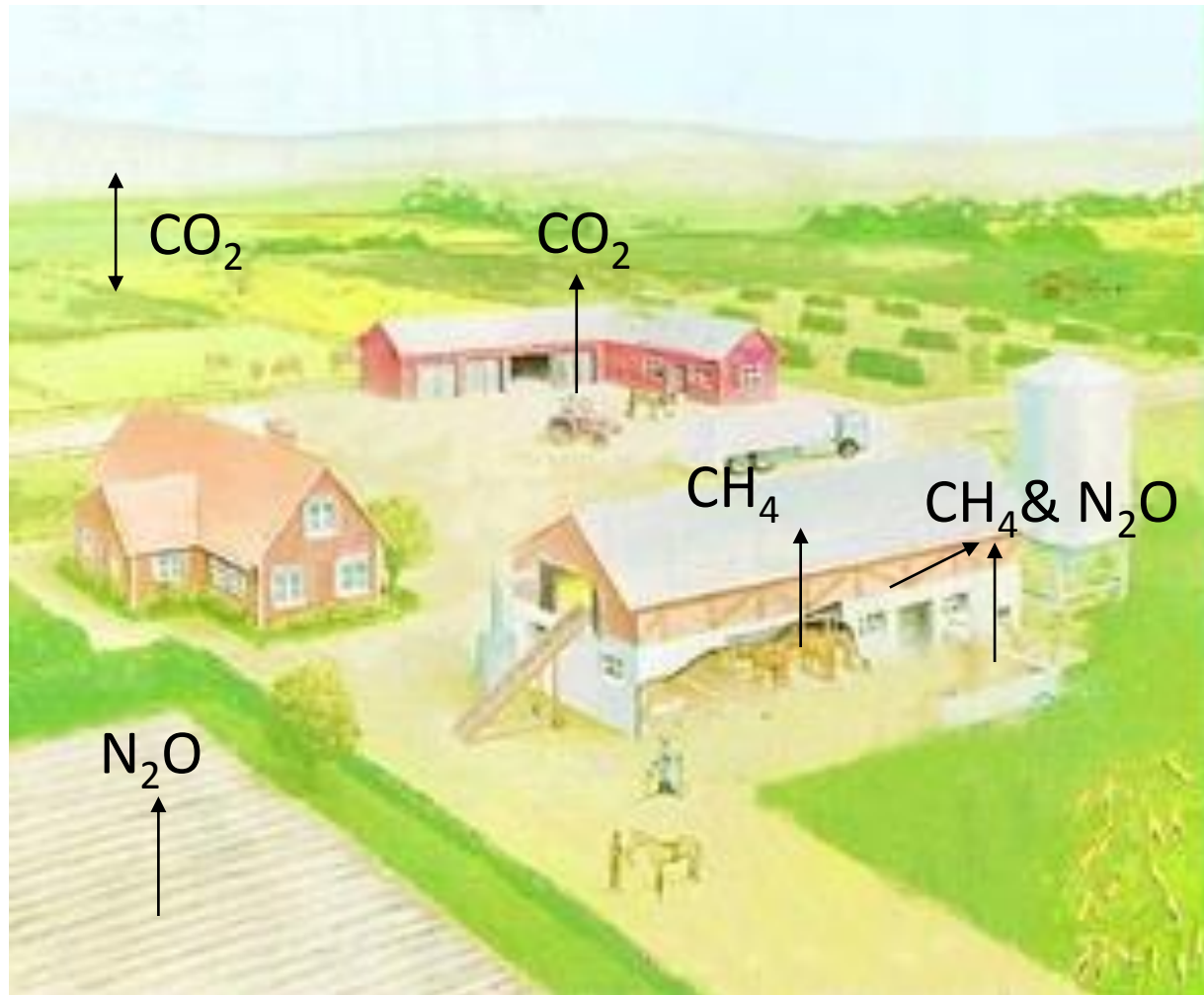
# Økologiens klimaudfordring Er kulstofbinding en løsning?

Professor Jørgen E. Olesen

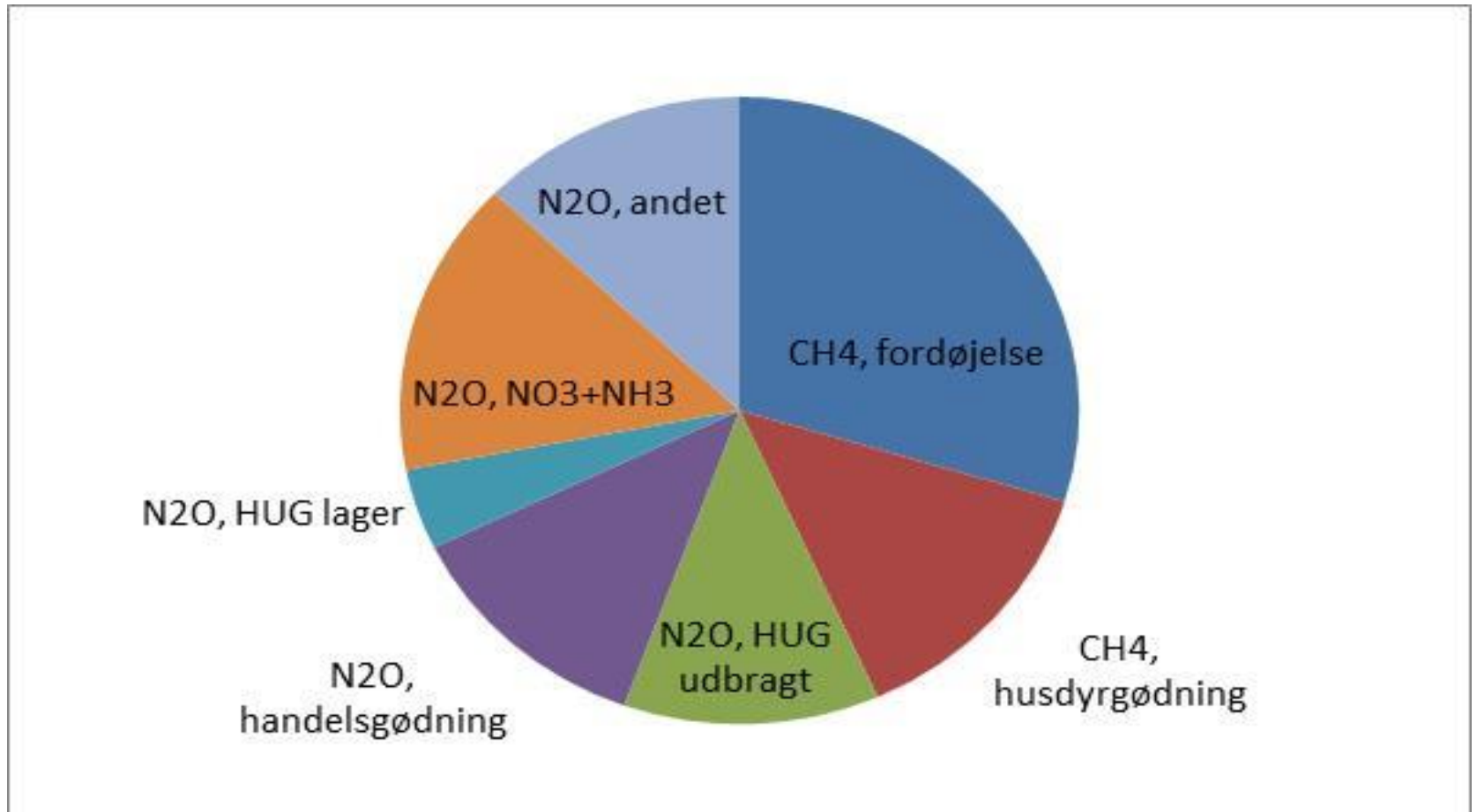


# Mange forskellige kilder til klimagasser

- › Nogle kilder til klimagasser øges med stigende input (fx gødning) eller antal dyr
- › Også tiltag til at øge jordfrugtbarhed øger udledninger (fx lattergas fra ompløjede efterafgrøder)
- › Der vil ofte være betydelige udledninger af klimagasser selv uden input



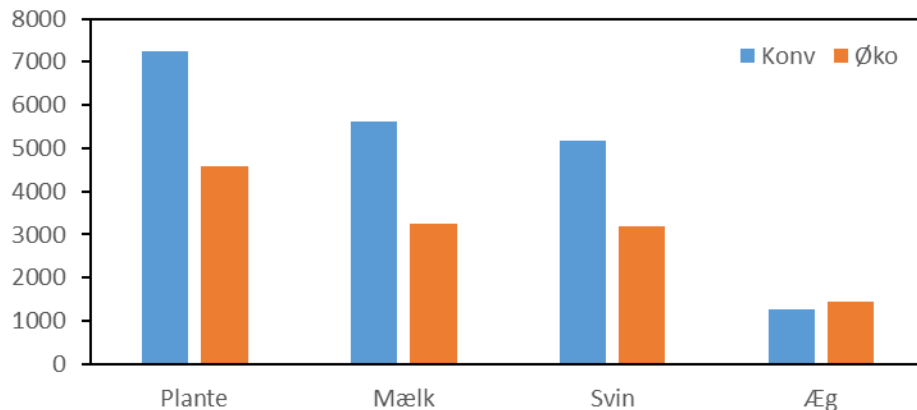
## Kilder til landbrugets drivhusgasser (metan og lattergas)



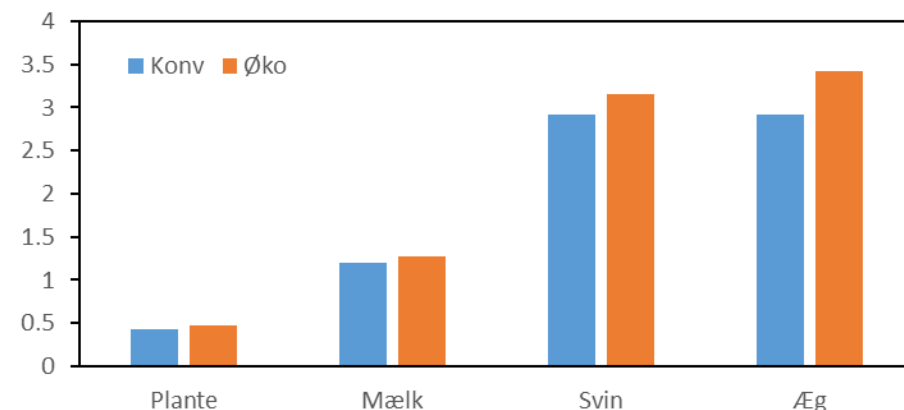
# Dansk økologisk kontra konventionel produktion

- › Økologisk landbrug har mindre klimabelastning per arealenhed (lavere input og færre dyr per areal)
- › Økologisk landbrug har højere klimabelastning per produceret enhed (lavere produktivitet end konventionelt)
- › Livscyklus-beregninger af udledninger per produceret enhed inddrager IKKE at der også skal bruges større landbrugsareal på verdensplan til samme totale produktion. Hvis dette medtages forværres forskellen.

Udledninger per areal



Udledninger per produceret enhed



# Arealforbrug til fødevarer (DK normer)

Økologisk - Konventionel

1 kg hvede



1,5 m<sup>2</sup>

1 kg grisekød



8 m<sup>2</sup>

1 kg oksekød



24 m<sup>2</sup>



2,3 m<sup>2</sup>



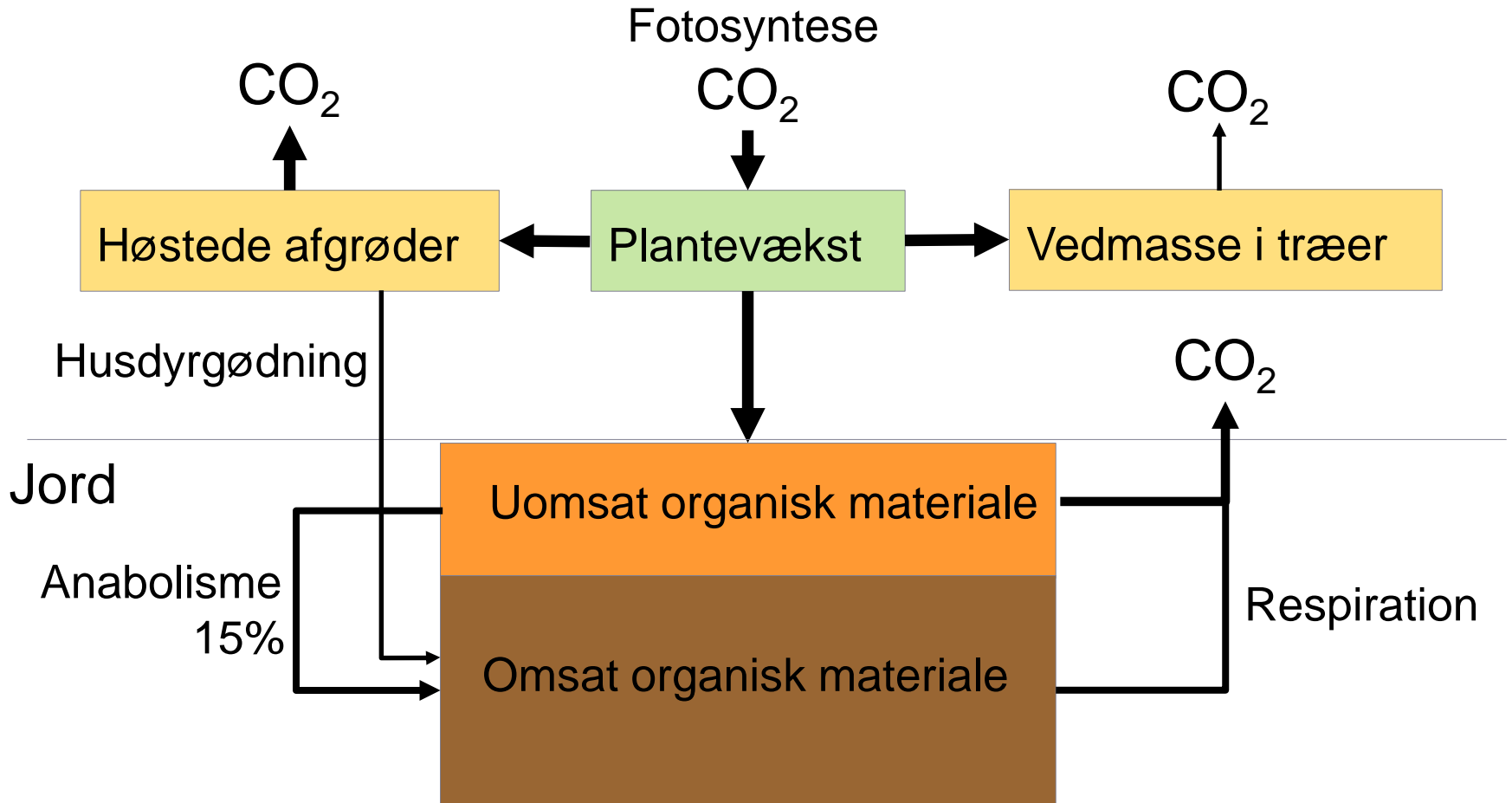
12 m<sup>2</sup>



30 m<sup>2</sup>



# Planters CO<sub>2</sub> optag og lagring i vegetation og jord



Kulstoflagring: Balancen mellem tilførsel og nedbrydning



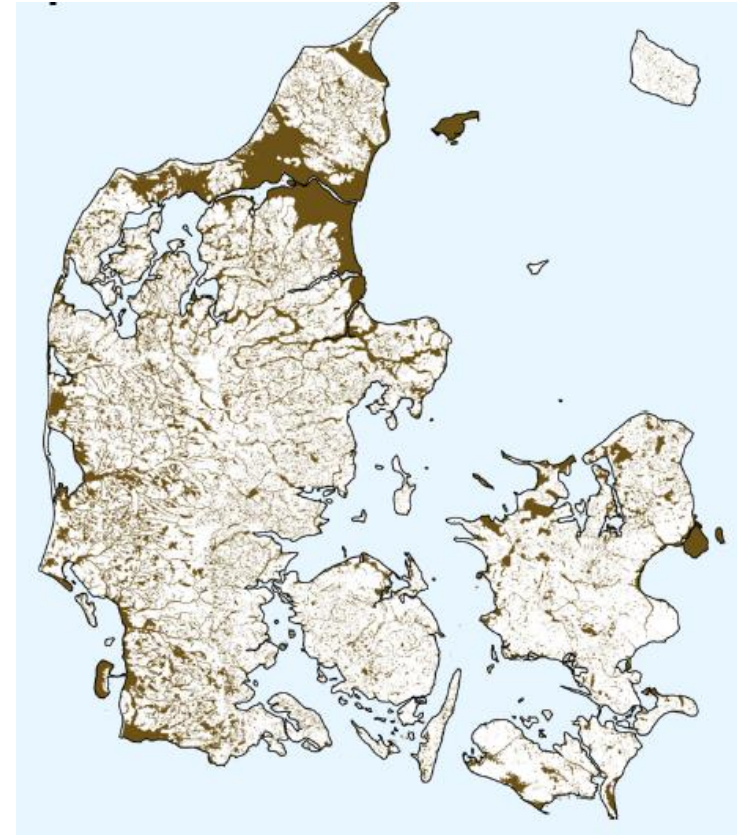
# Organisk jord (tørvejord) og mineraljord

## Organisk jord er dannet på våde (oversvømmede) arealer

- Har tidligere dækket ca. 15% af Danmark
- Arealet er faldet betydeligt på grund af dræning (nu ca. 108.000 ha)
- Dræning øger iltadgang og giver meget store  $\text{CO}_2 + \text{N}_2\text{O}$  udledninger
- Ved dræning vil kulstof over tid nærme sig indholdet i mineraljord
- Nedbrydningen kan kun mindskes ved at stoppe dræning

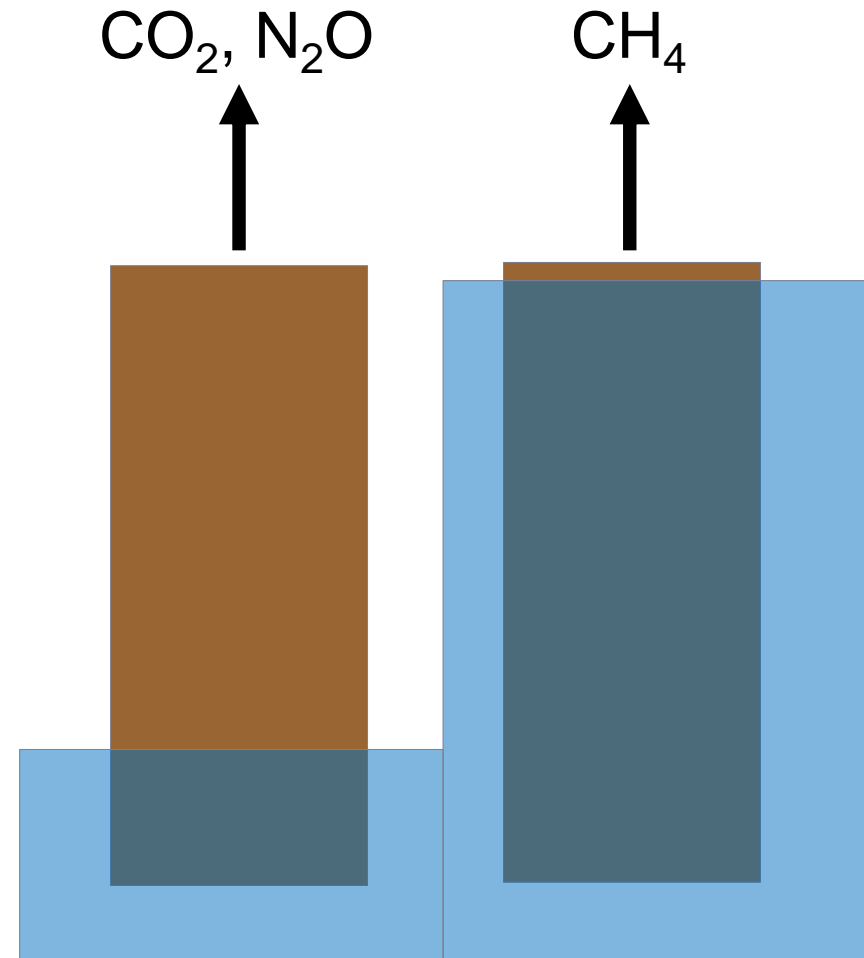
## På mineraljord er nedbrydningen ikke begrænset af vand

- Kulstof i jord er en balance mellem tilførsel af C og nedbrydning af C



# Klimagasser på organisk jord

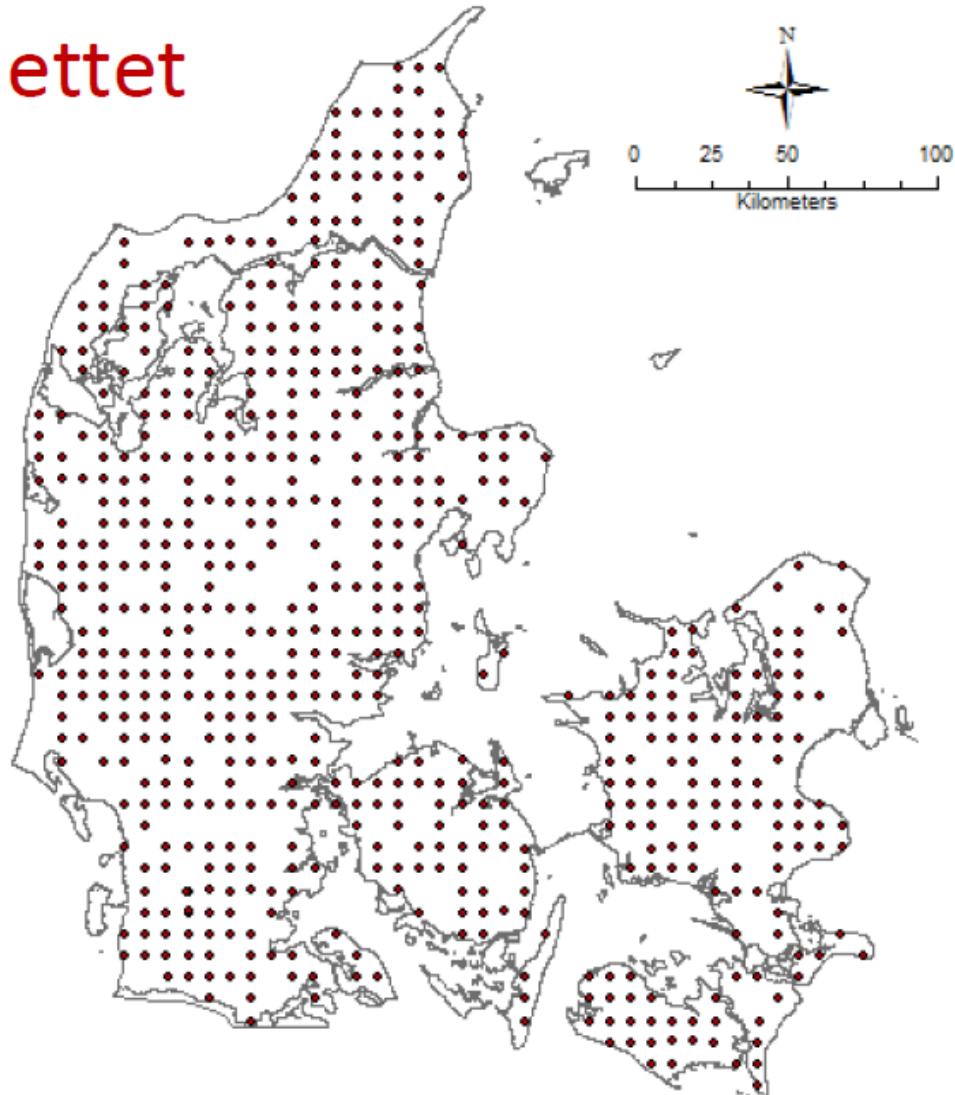
- › På drænet tørvejord er der store udledninger af  $\text{CO}_2$  og lattergas som følge af den mikrobielle nedbrydning af organisk stof under påvirkning af ilt
- › Ved høj vandstand mindskes iltadgangen, som stort set fjerner disse udledninger, men i stedet giver udledning af metan, som dog er af betydelig mindre betydning



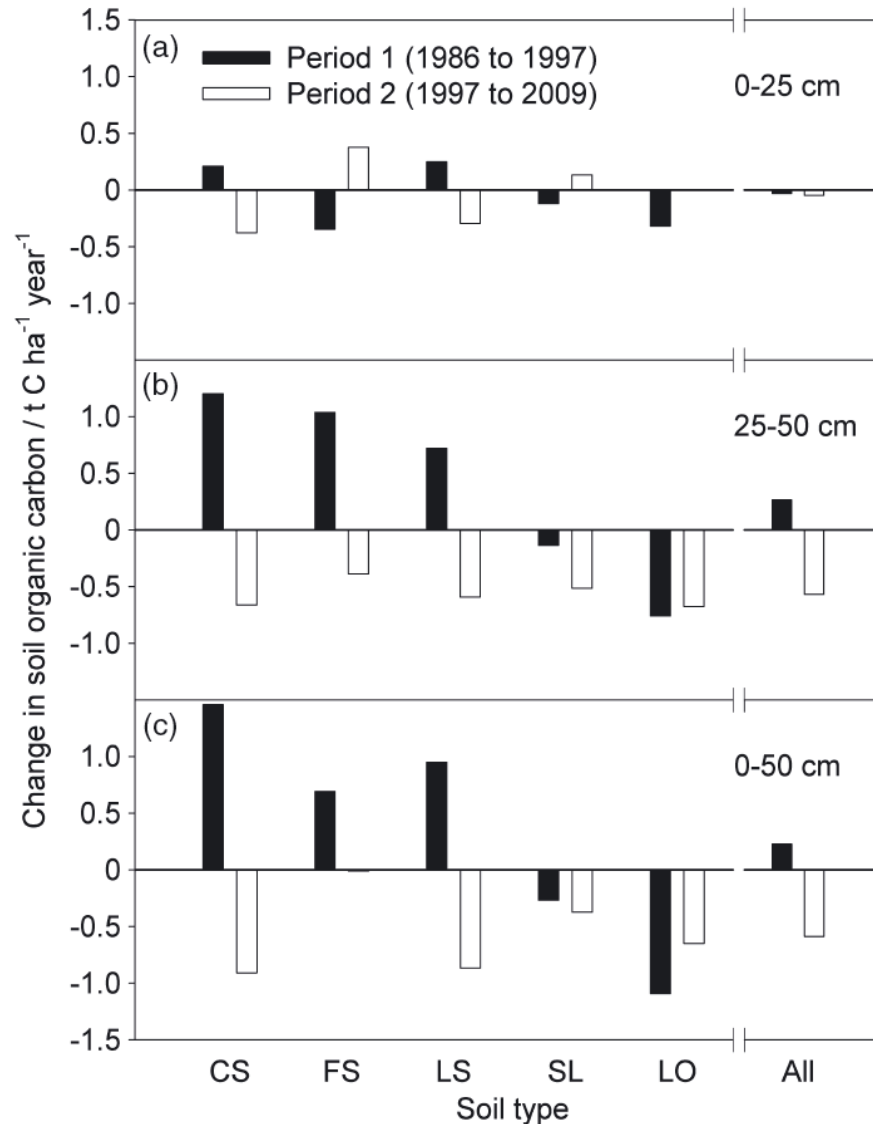


# Monitering af kulstof i jord i Danmark

## Kvadratnettet



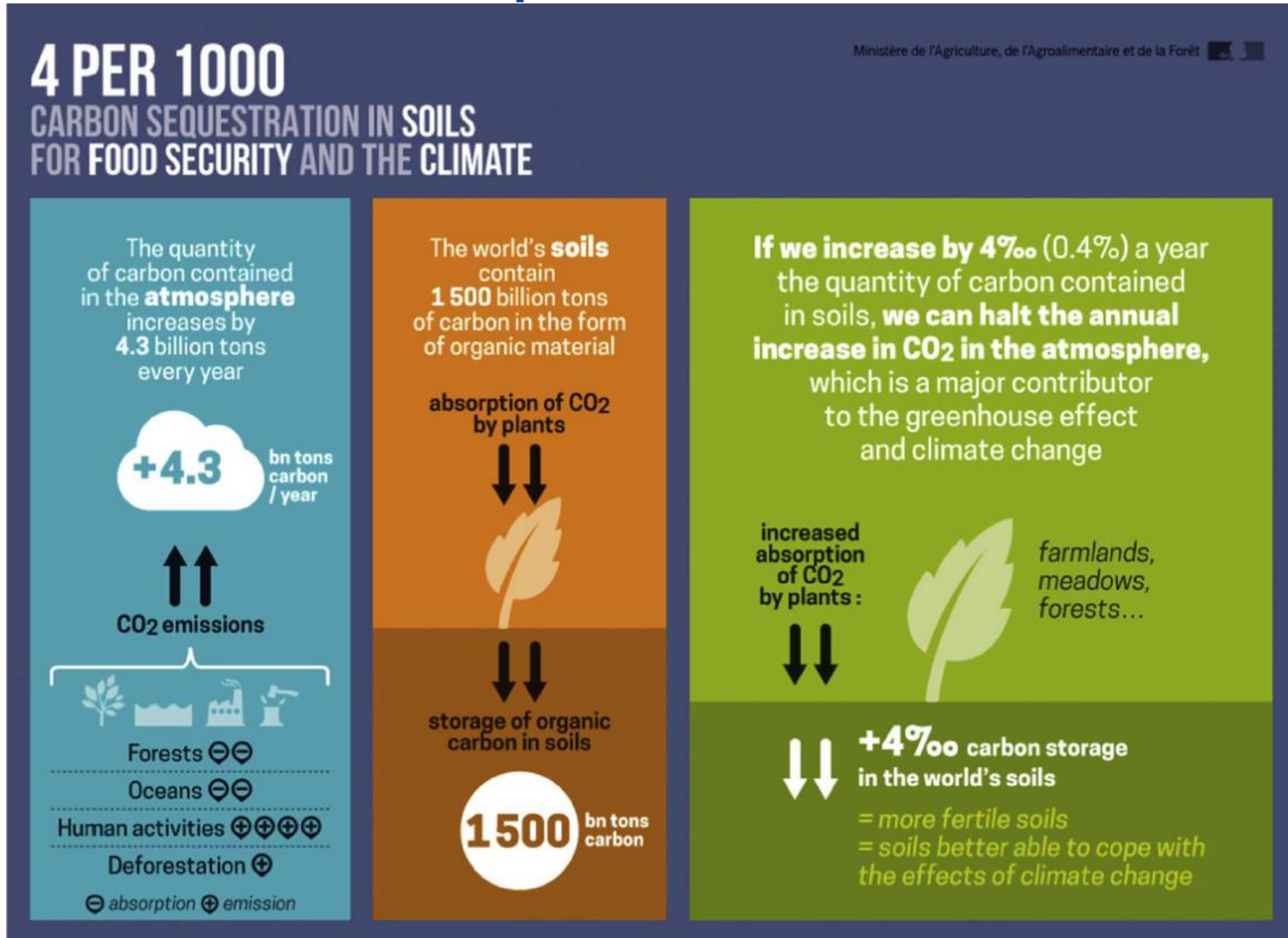
# Monitoring af kulstof i jord i Danmark



# Kulstoflagring: Resultater af Kvadratnettet

- For 0-25 cm:
  - Græsmark 950 kg C/ha/år
  - Vintersæd + halmnedmuldning 400 kg C/ha/år
  - Kvæggødning 200 kg C/ha/år
- For 25-50 cm:
  - Græsmark 580 kg C/ha/år

# 4 promille konceptet



# Udfordringer for 4 promille

## **Tilstrækkelige virkemidler til at øge kulstoflagringen**

- Jordens kulstof øges ved højere input af organisk stof, som konkurrerer med anden efterspørgsel (fødevarer, foder, fibre, biobrændsler). Øget input kan også fremmes gennem højere produktivitet (fotosyntese).

## **Permanens af kulstof i jord**

- Eksisterende kulstoflagre i tørvejord bevares gennem høj vandstand
- Tiltag til at øge kulstoflageret i mineraljord må ikke afbrydes

## **Global opvarmning øger nedbrydningen af kulstof i jorden**

- Højere temperatur øger nedbrydningen af jordens C. 1 °C kan reducere global C i jord svarende til 15% af globale udledninger fra fossil energi.

## **Samlet vurdering**

- Øget kulstof i jord afhænger af balancen mellem øget kulstofinput og øget nedbrydning af jordens kulstof.
- Det vil sandsynligvis være en udfordring blot at fastholde jordens nuværende kulstofindhold (bl.a. på grund af temperaturstigninger)

# Øget jordens kulstof med 4 promille (globalt)

## Nuværende kulstoflager og krævet stigning

- Nuværende kulstof på landbrugsjord: 161 ton C/ha
- Krævet kulstoflagring: 0,6 ton C/ha

## Behov for øget input

- Under antagelse af 15% anabolisme kræves øget input af:
  - Kulstof i biomasse: 4 t/ha
  - Tørstof i biomasse: 9 t/ha

## Typisk effekt af tiltag på kulstoflagring (overjord)

- Efterafgrøder: 0.3 t C/ha
- Nedmuldning af halm: 0.3 t C/ha
- Husdyrgødning: 0.2 t C/ha
- Græsmarker: 1.0 t C/ha

## Krav for at opfylde udfordringen

- Øget produktivitet (fotosyntese) for at skaffe tilstrækkeligt kulstof
- Tilførsel af modstandsdygtigt kulstof (husdyrgødning, kompost, biochar)
- Beholde planterester (halm) i marken



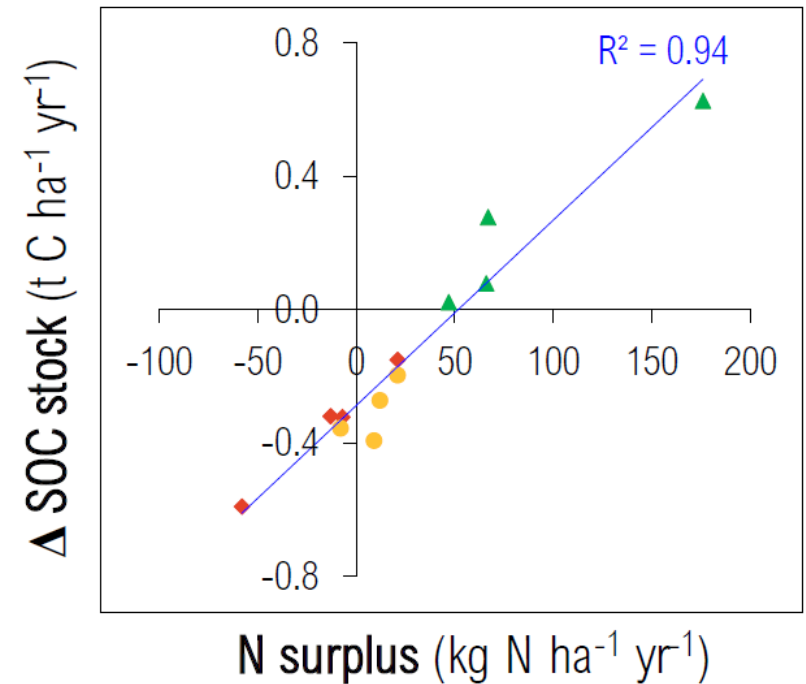
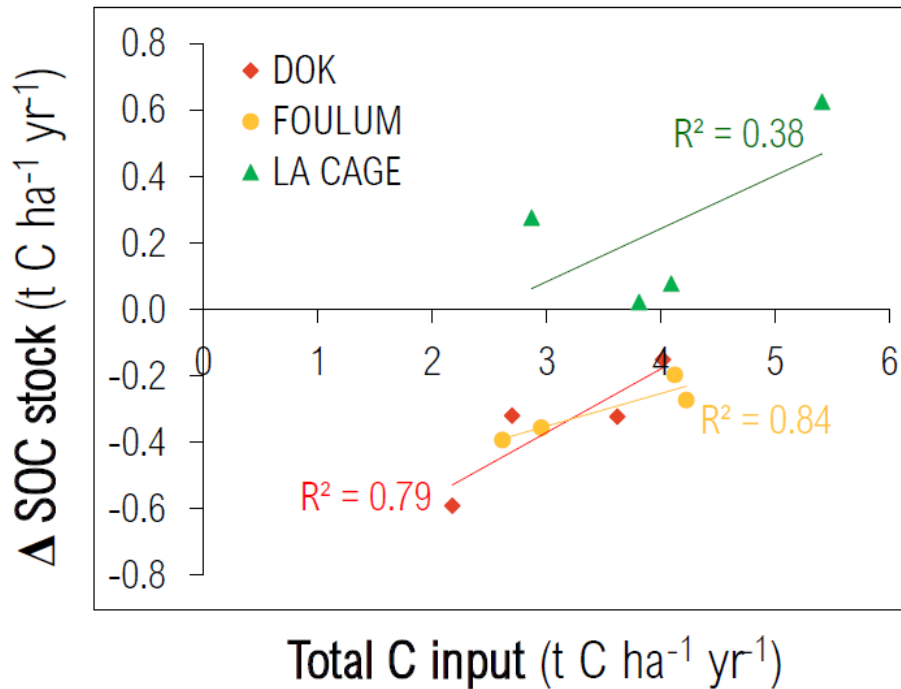
# Lagring af kulstof i jorden (hvad batter?)

- › **Forhindre tab af eksisterende kulstoflagre**
  - › Stop dræning af tørvejord
  - › Stop afskovning og opdyrkning af græsmarker
- › **Øget kulstoflager**
  - › Skovrejsning
  - › Græsmarker
  - › Kulstof gennem øget input (reduceret jordbearbejdning har kun lille effekt)
- › **Kulstoflagring øget også lageret af N, P og S (kræver input)**
  - › C:N:P:S forholdet er næsten konstant (11:1:0.21:0.16) i jorden





# Kulstoflagring forudsætter øget kvælstofoverskud



- ▶ Contrasted relation between sites :
  - SOC storage controlled by C inputs
  - But also driven by N availability

- ▶ N required for C sequestration  
(Van Groenigen *et al.* 2017)

# Kulstoflagring og lattergas i græsmarker

## **Kulstoflagring afhænger af produktionsniveau og tilbageført kulstof**

- Produktiv græs og kløvergræs (ofte kun 2-3 år)
  - 0,6 – 1,0 ton C/ha/år
  - 2,2 – 3,7 ton CO<sub>2</sub>/ha/år
- Ekstensive græsmarker (oftest vedvarende)
  - 0,3 ton C/ha/år
  - 1,1 ton CO<sub>2</sub>/ha/år

## **Øget lattergas fra planterester ved ompløjning**

- 100 – 200 kg N/ha
- 0,5 – 0,9 ton CO<sub>2</sub>/ha/år

## **Reduceret lattergas på grund af mindre N-udvaskning**

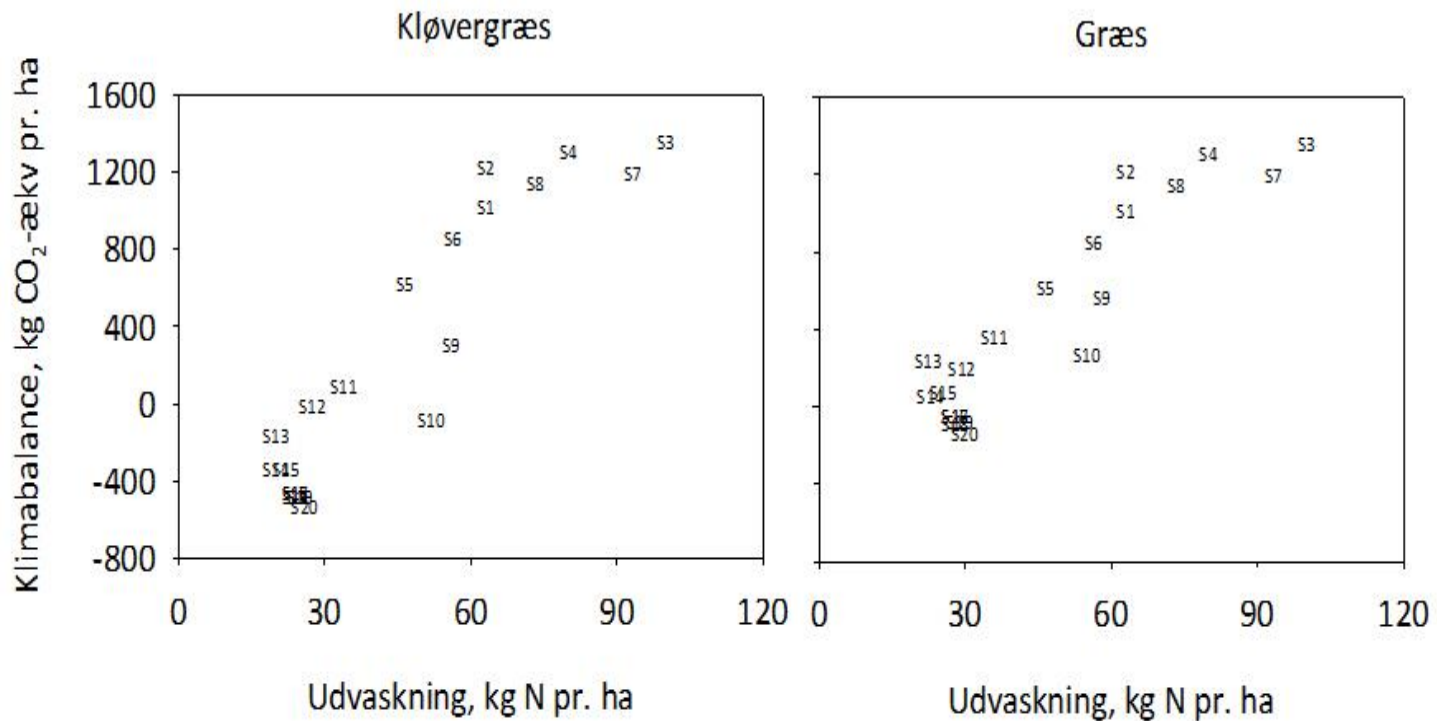
- 30 – 60 kg N/ha
- 0,1 – 0,2 ton CO<sub>2</sub>/ha/år

## **Samlet effekt**

- Produktive græsmarker: 2 – 4 ton CO<sub>2</sub>/ha/år
- Ekstensive vedvarende græsmarker: ca. 1 ton CO<sub>2</sub>/ha/år

# Synergi mellem klima og udvaskning ved græs

## Sædskifter med varierende andel græs



# Kulstoflagring og lattergas i efterafgrøder

## **Kulstoflagring afhænger af vækst af efterafgrøde**

- 0,2 – 0,4 ton C/ha/år
- 0,7 – 1,4 ton CO<sub>2</sub>/ha/år

## **Lattergas fra planterester ved ompløjning**

- 40 – 80 kg N/ha
- 0,2 – 0,4 ton CO<sub>2</sub>/ha/år

## **Reduceret lattergas på grund af mindre N-udvaskning**

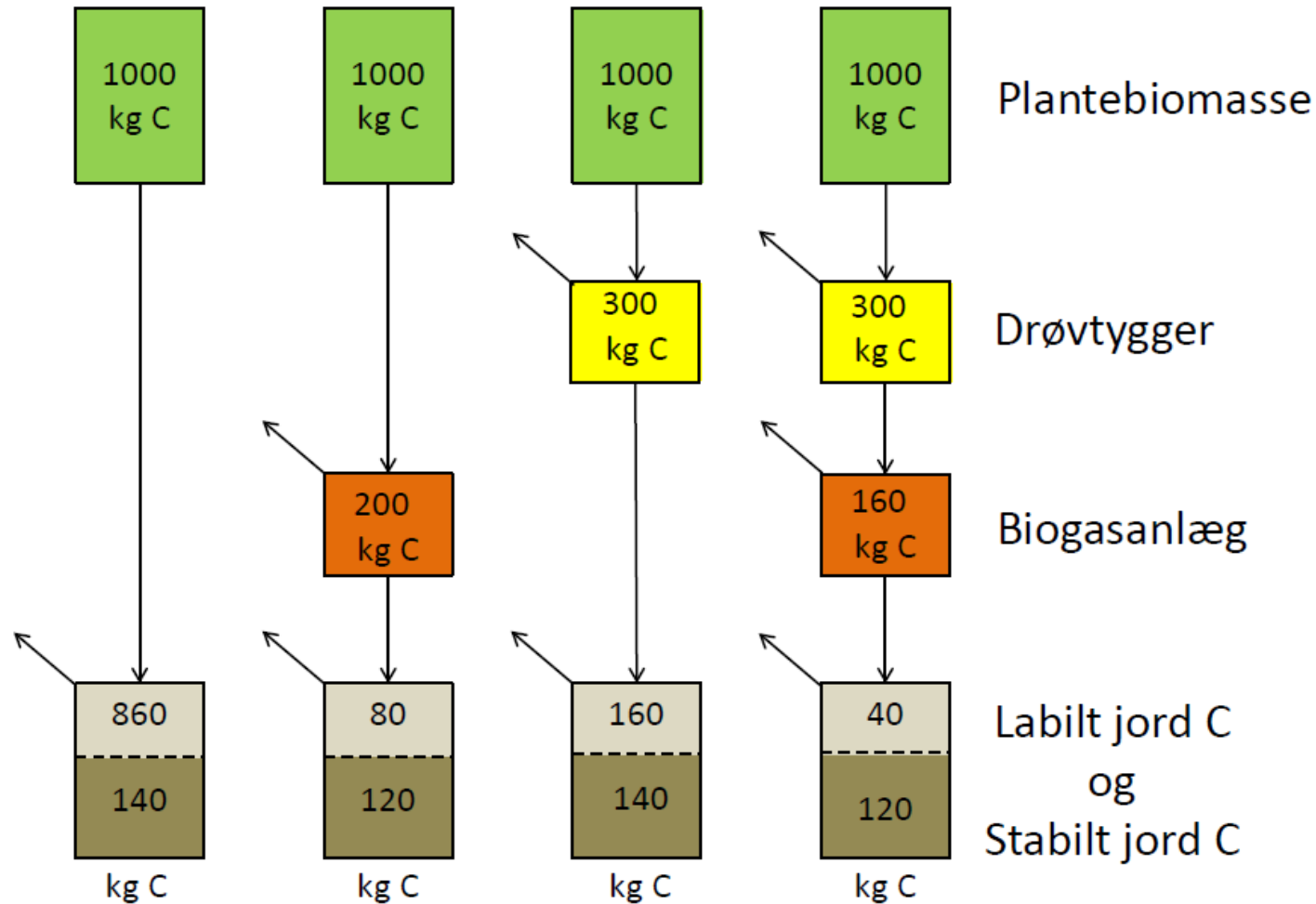
- ca. 30 kg N/ha
- 0,1 ton CO<sub>2</sub>/ha/år

## **Samlet effekt**

- 0,6 – 1,1 ton CO<sub>2</sub>/ha/år



# Biogas mindsker kun kulstoflagringen minimalt



(Thomsen et al., 2013)

## Potentiale for kulstoflagring i DK (1000 ton CO<sub>2</sub>/år)

### Udtagning af organisk jord (tørvejord) med ophør af dræning

- Udtagning af arealer i ådale: 1.500 kt
- Udtagning af alle arealer: 3.400 kt

### Græs på det nuværende majsareal (grøn bioraffinering)

- Græs på majsarealet (179.000 ha): 650 kt

### Halm bruges til biogas i stedet for afbrænding:

- Halm til biogas i stedet for fyring: 250 kt

### Øget areal med efterafgrøder

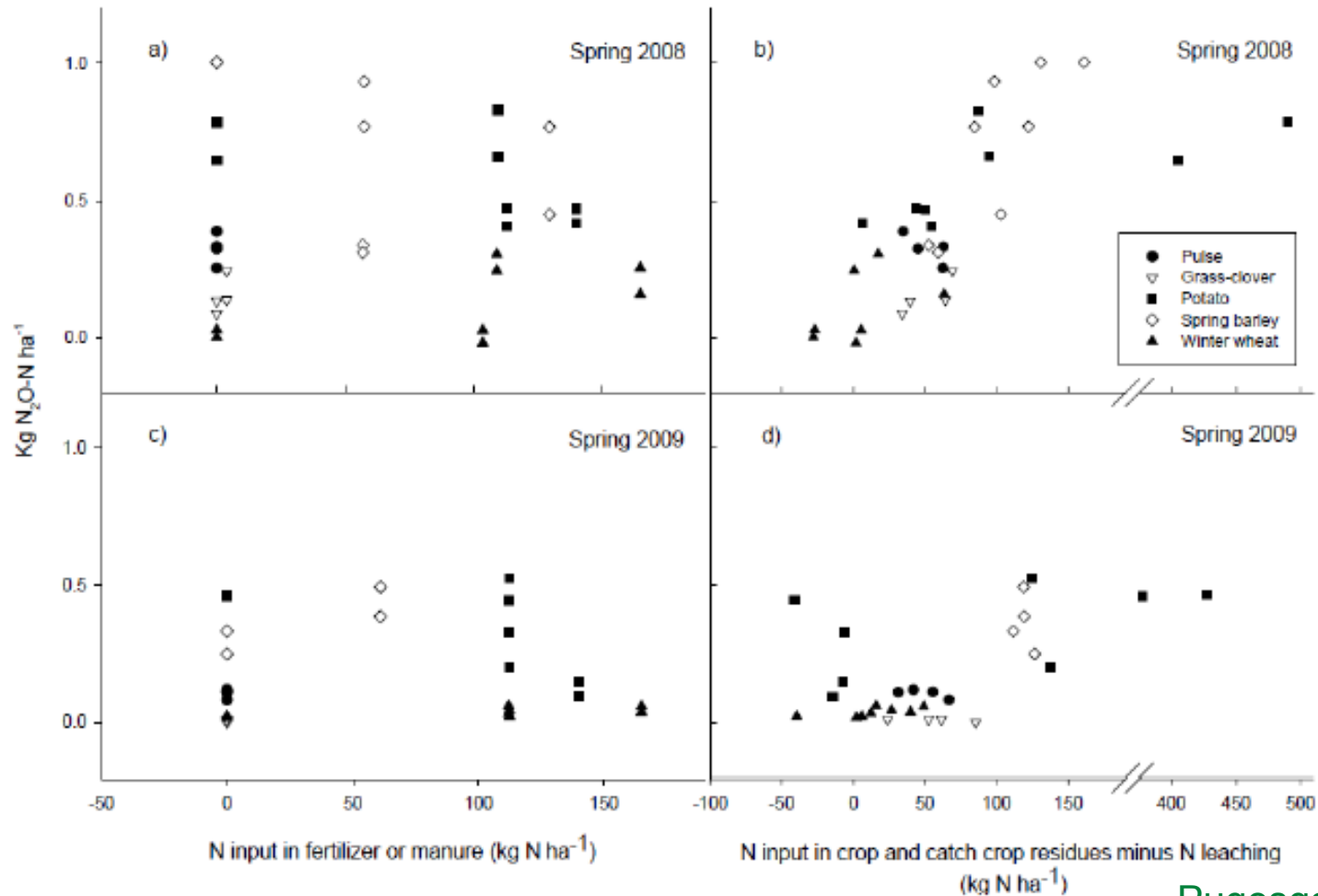
- Flere efterafgrøder (205.000 ha): 200 kt

### Skovrejsning (afhænger af tidshorisont, her 20 år)

- Skov (10% af landbrugsarealet): 1.100 kt

**I alt (potentiale) 5.600 kt**

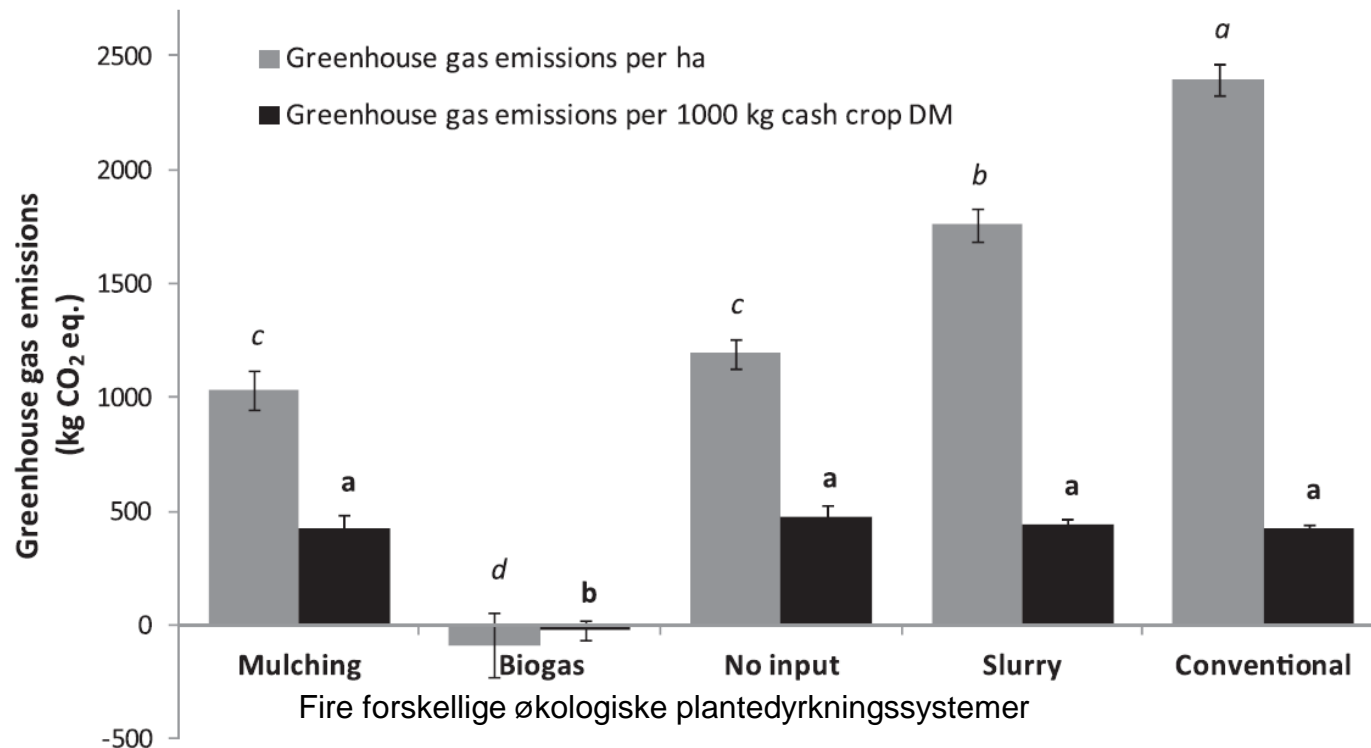
# Øget tilførsel af kvælstof i planterester øger udledninger af lattergas mere end gødning





## Klimaaftryk af planteproduktion (forskellige)

- › Øget input (og øgede udbytter) i økologisk planteproduktion øger klimabelastning
- › Økologisk produktion med kløvergræs (mulching) er ikke forskellig fra sædskifte uden input og uden kløvergræs
- › Bedre teknologi (her biogas) er det eneste, der hjælper



# Betragtninger om øget kulstoflagring

- Kulstof i jord kan kun øges på gennem tilførsel af mere organisk stof til jorden: Øget plantevækst (mere halm), efterafgrøder eller græsmarker.
- Græsmarker og efterafgrøder opbygger organisk stof i jorden (især kulstof og kvælstof)
- Græsmarker og efterafgrøder reducerer også kvælstofudvaskningen
- En lille del af kulstofeffekten modvirkes af øgede lattergasudledninger
- Den øgede kulstoflagring vil kun batte ved massiv omlægning til græsmarker, men vil det øge andre udledninger (fx fra kvæg)?
- Der fås større arealmæssigt reduktioner ( $>10$  ton  $\text{CO}_2$ /ha/år) ved udtagning af dyrkede organiske jorder
- I sidste ende fås der kun markante samlede kulstofoptag ved mindre landbrug og mere skov (dette kræver øgede udbytter i landbruget)

# Veje til mere klimaeffektiv økologisk landbrug

- Højere produktivitet (både plante- og husdyrbrug) – konflikt med økologiske principper?
- Højere produktivitet (fotosyntese) er nødvendigt for at sikre kulstoflagring
- Bedre udnyttelse af kulstof- og næringsstofstrømme
  - Bioraffinering
  - Opgradering af plante- og reststrømme til bedre gødninger
  - Biogas af plante- og reststrømme (substitution af fossil energi)
- Dyrkningssystemer med større kulstoflagring
  - Græsmarker
  - Efterafgrøder
  - Tilbageførsel af planterester og reststrømme (fx biogas)
  - Tiltag til øget kulstoflagring må ikke overdøves af øget lattergas

# Incitamenter til forbedret klimaregnskab

- Kulstofregnskab som grundlag for støtte
- Salg af CO<sub>2</sub>-lagringskvoter
- Problemstillinger
  - Greenwashing (ingen additionalitet)
  - Umuligt at måle i praksis
  - Klimaeffekt af kulstoflagring opvejes af øget lattergas