

Den grønne trepart og biomasse

Professor Jørgen E. Olesen



AU VIBORG



AU FLAKKEBJERG



AARHUS
UNIVERSITY
DEPARTMENT OF AGROECOLOGY

10 OKTOBER 2025

JØRGEN EIVIND OLESEN
HEAD OF DEPARTMENT, PROFESSOR

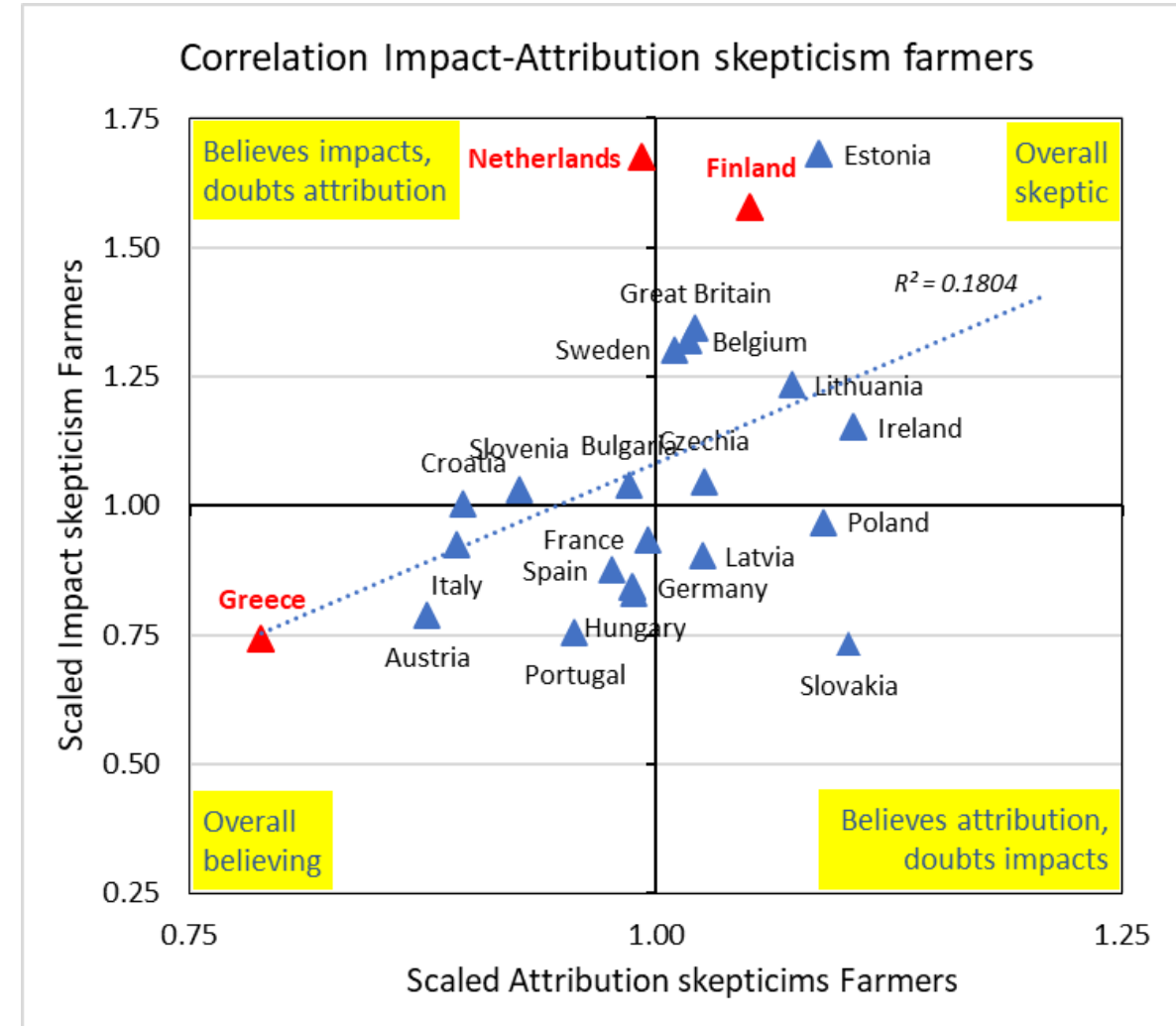
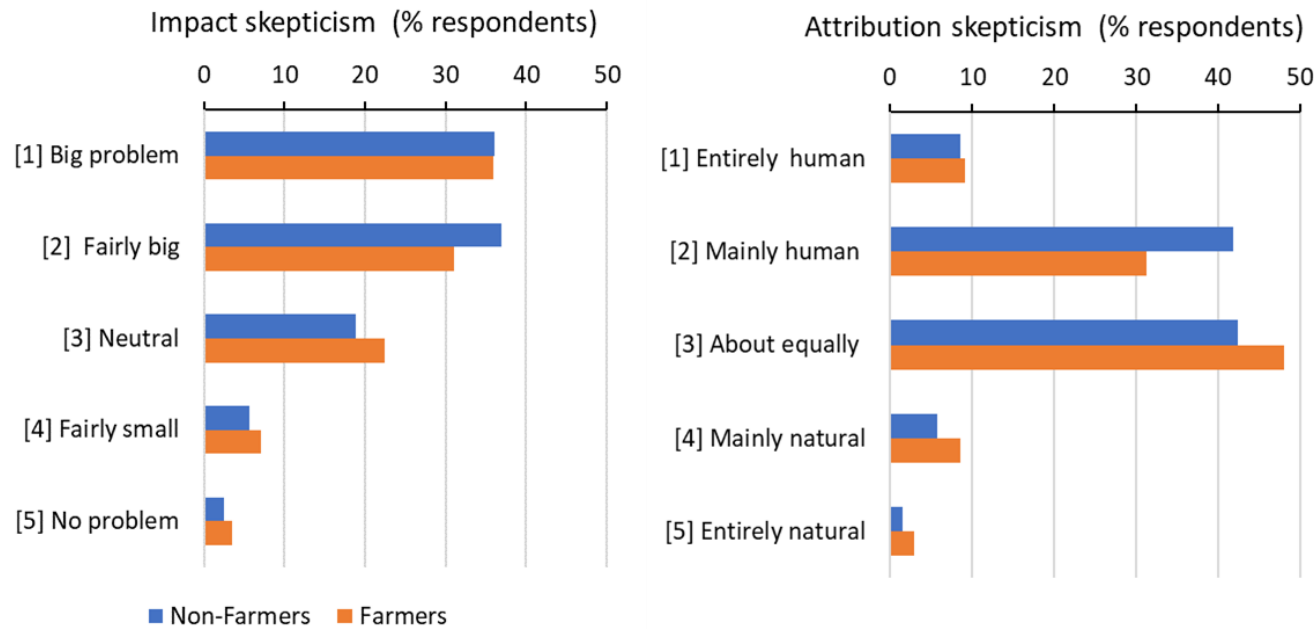


Vores fælles udfordringer

- Overkommelige (pris), sunde og bæredygtige fødevarer
- Et havmiljø i forfald
- Natur og biodiversitet i krise
- Klimaændringer, der truer fødevareproduktion, infrastruktur, ressourcer, natur og mennesker
- En grøn omstilling, der er ekstrem svær og alt for langsom
- Manglende forretningsmodeller for den grønne omstilling
- For mange løsninger til grøn omstilling virker ikke godt nok



Europæiske landmænds opfattelse af klimaændringer



Mange hensyn skal balanceres

Fødevarerproduktion (hensyn til forsyningssikkerhed og fødevarerpriser)

Effekter på miljø (især næringsstoffer og pesticider)

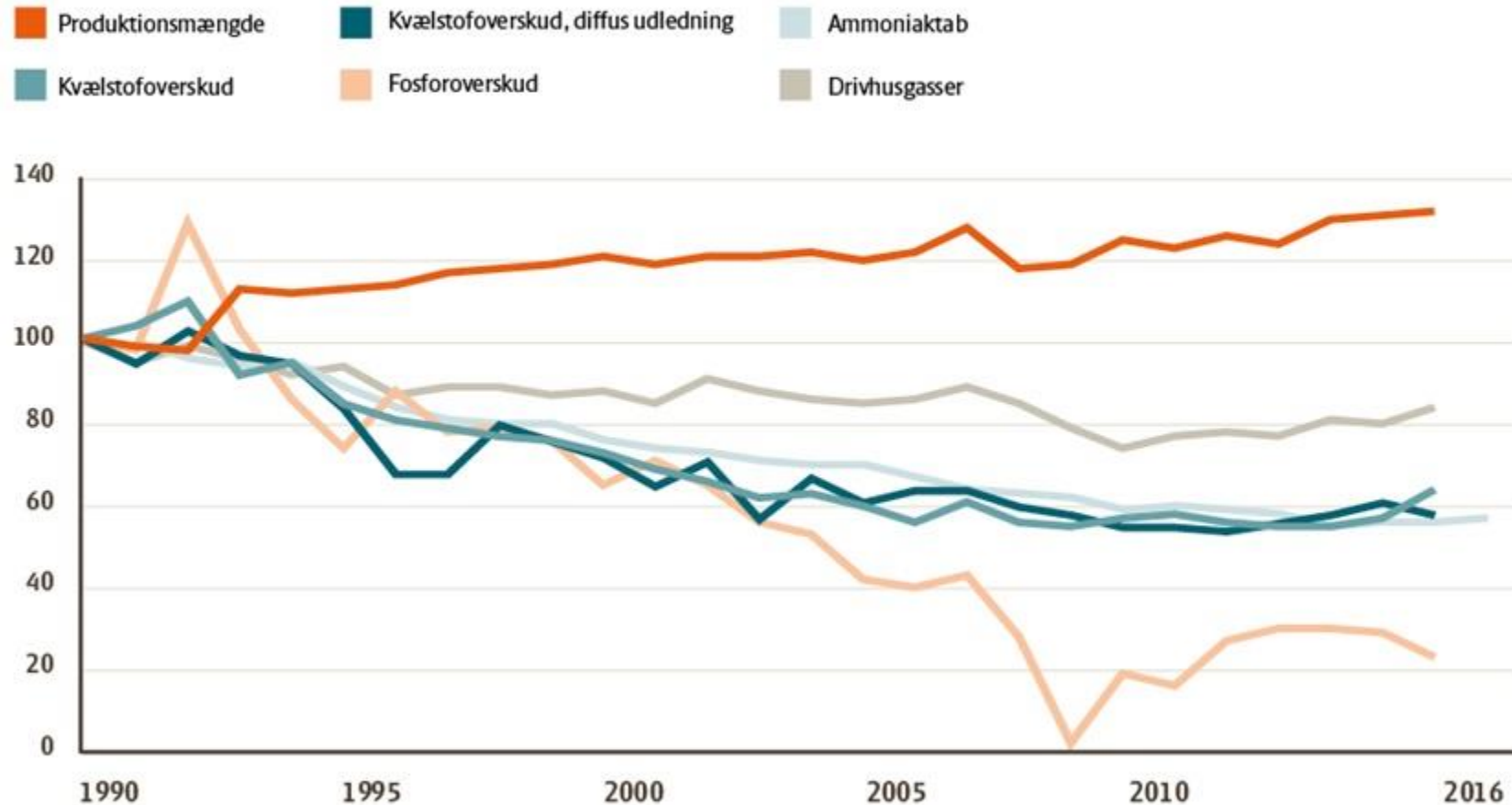
Effekter på klima (færre udledninger af drivhusgasser)

Hensyn til natur (større sammenhængende naturarealer)

Dette kan KUN løses ved at samtænke nye effektive produktionssystemer og nye teknologier med landskabsplanlægning samt ændringer i fødevarervaner.

Der findes IKKE én enkel løsning, og mange af disse elementer vil skulle ændres samtidigt.

Udvikling i udledninger fra dansk landbrug



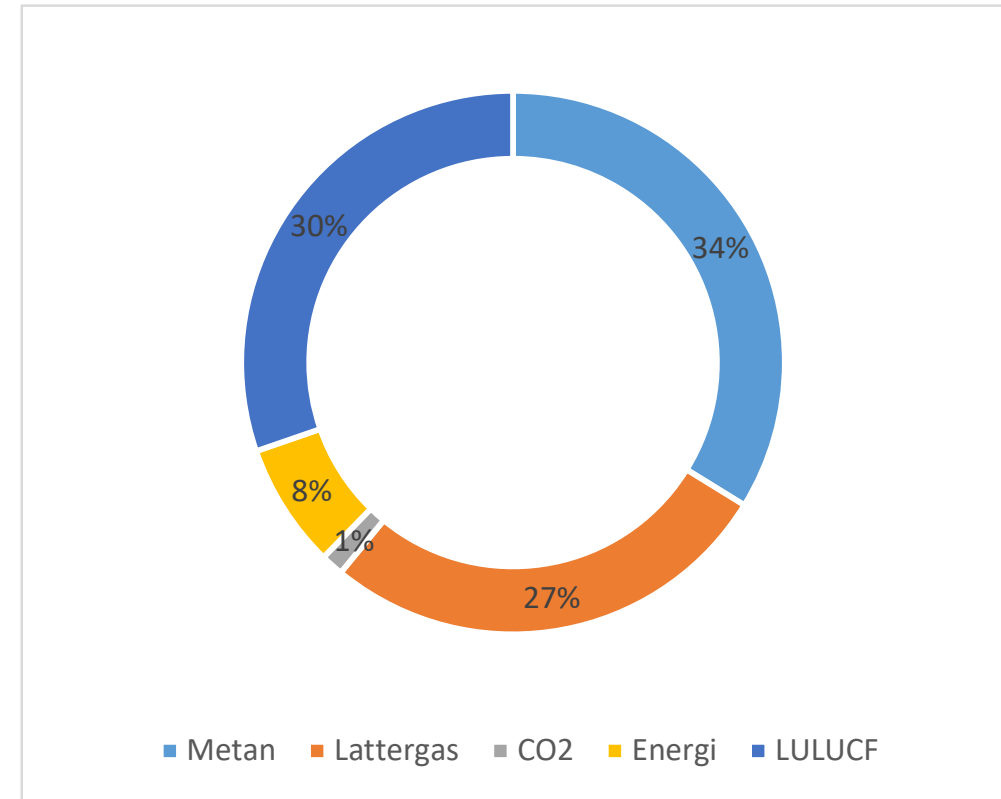
- 
- AARHUS
UNIVERSITY
DEPARTMENT OF AGROECOLOGY



Elementer i den grønne trepart (klima)

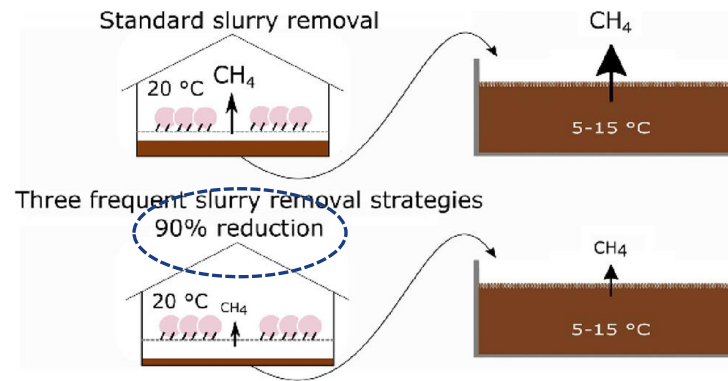
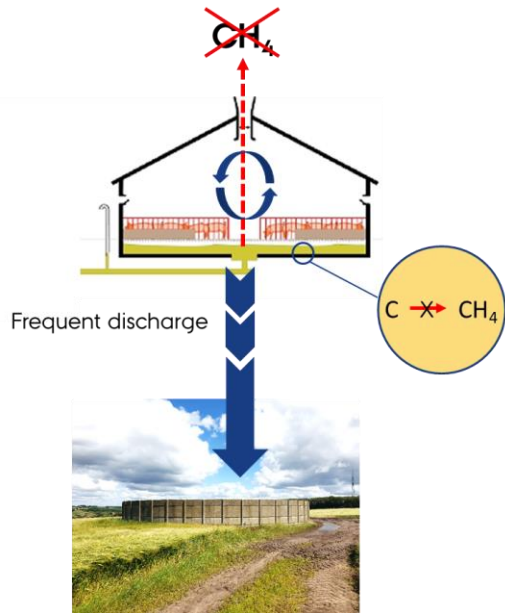
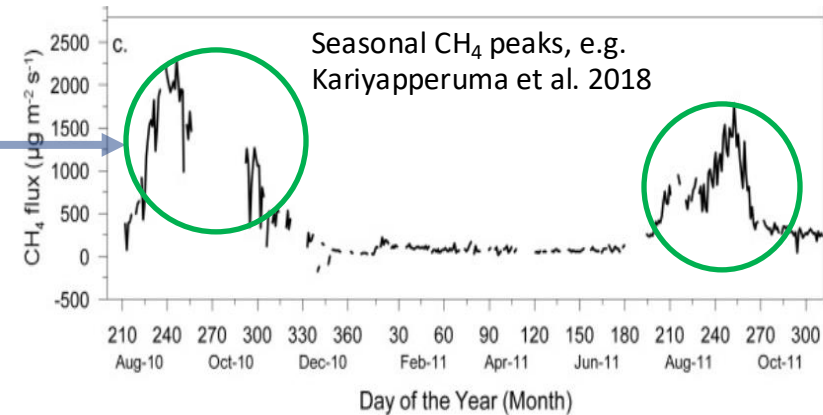
- CO₂e-afgift på husdyr
 - Metan fra dyrenes fordøjelse og fra husdyrgødning
 - Indfases lineært fra 2030 (300 kr./ton CO₂e) til 2035 (750 kr./ton CO₂e)
- Fra 2028
 - CO₂e afgift på landbrugskalk (750 kr./ton CO₂)
 - CO₂e afgift på kulstofrig lavbundsjord (40 kr./ton CO₂)
- Andre indsatser er lavbundjord og biokul
- Potentiale for reduktioner på 1,8-2,8 mio. ton CO₂e i 2030

Landbruget står for 35% af nationale udledninger



Metan fra husdyrgødning

1. Hurtig udslusning (mindst ugentligt)
2. Behandling i lageret – især om sommeren
3. Integrere med energiteknologier (biogas, pyrolyse)

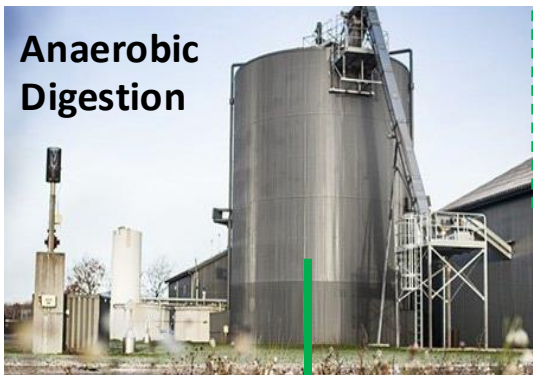


Teknologier med højt potentiale

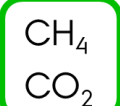
Storage acidification
(incl. low-dose acidification)



Anaerobic
Digestion



Biogas



Heat and
power

Digestate treatment

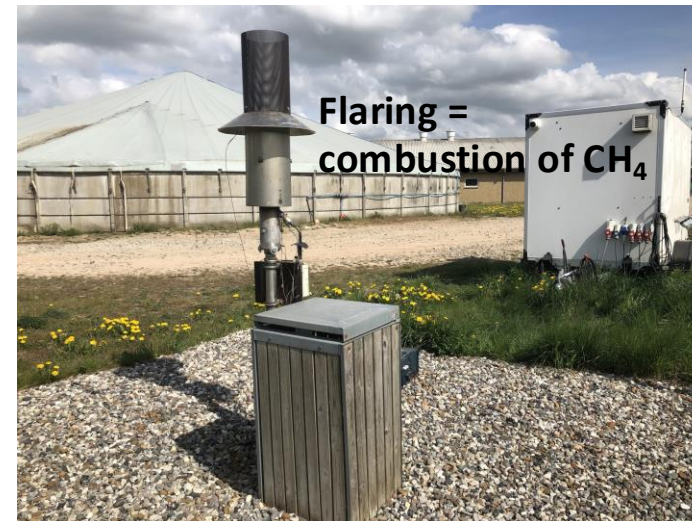
Combined with frequent discharge:
Overall CH_4 mitigation potential
(barns + storage):

~50-80%

NH_3 mitigation: added value

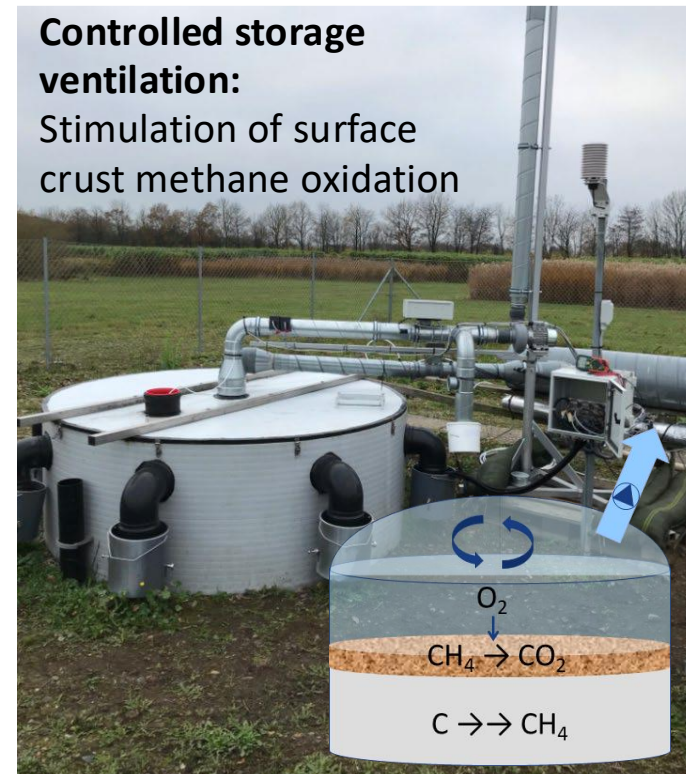
*Other CH_4 mitigation technologies
under development*

Flaring =
combustion of CH_4



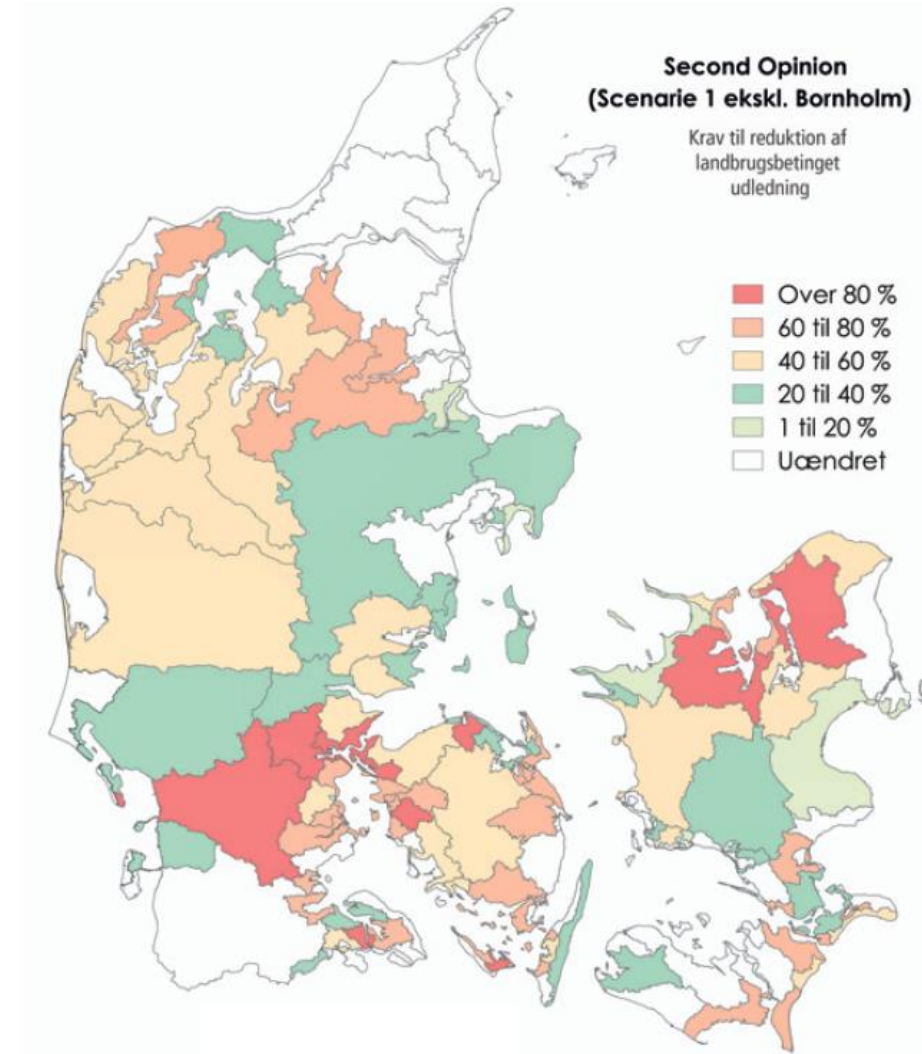
Controlled storage
ventilation:

Stimulation of surface
crust methane oxidation

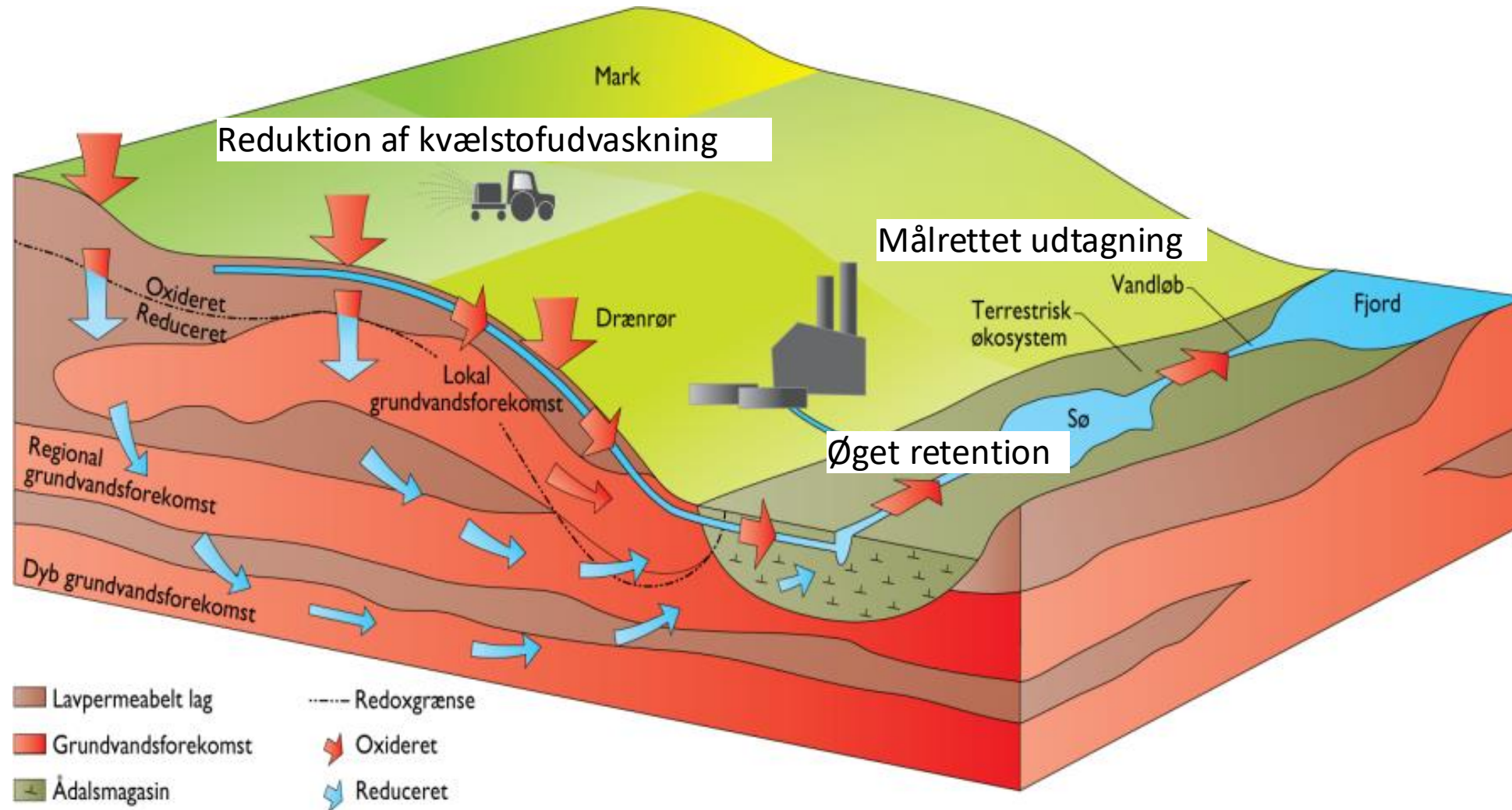


Elementer i den grønne trepart (plan for bedre vandmiljø)

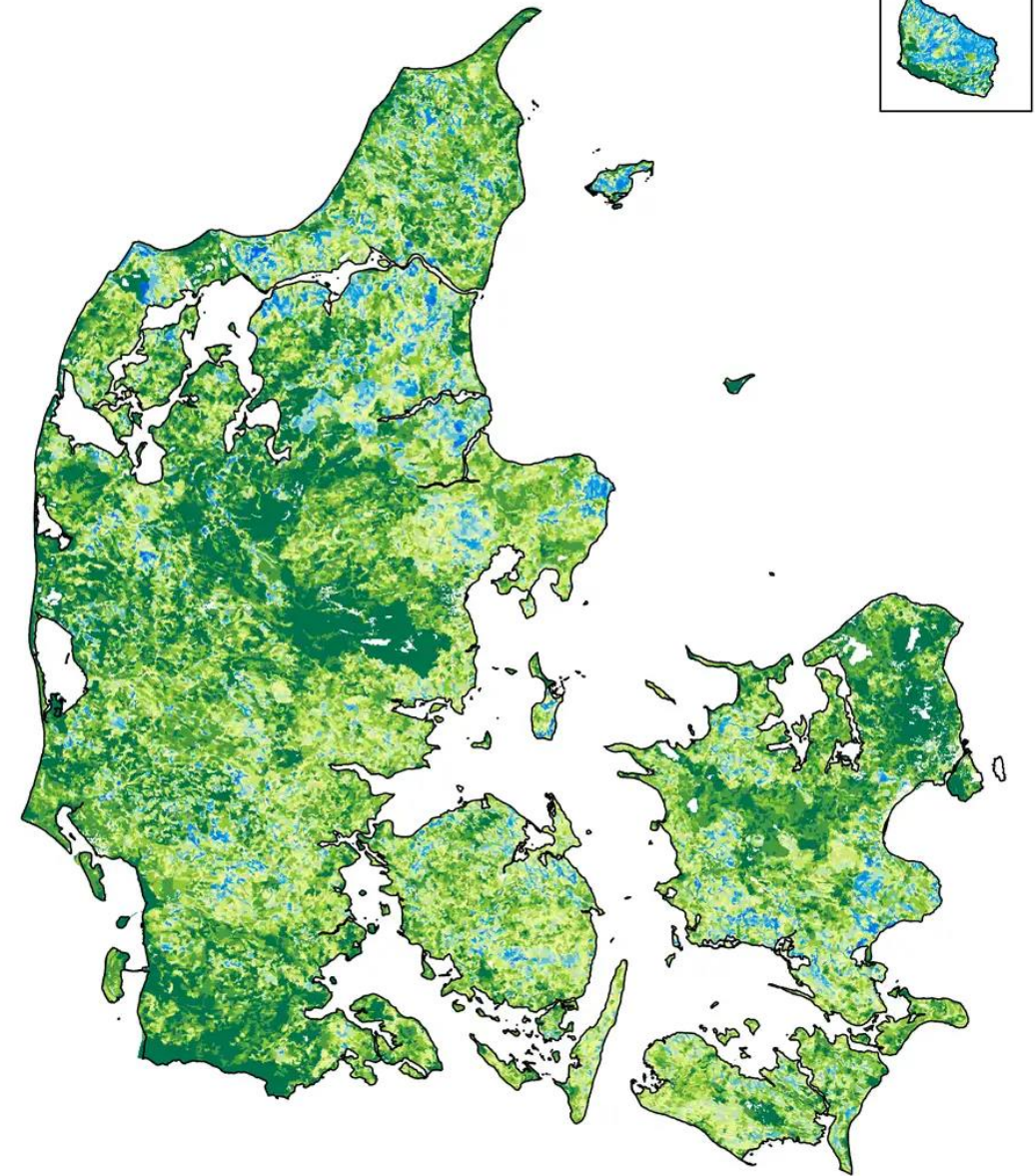
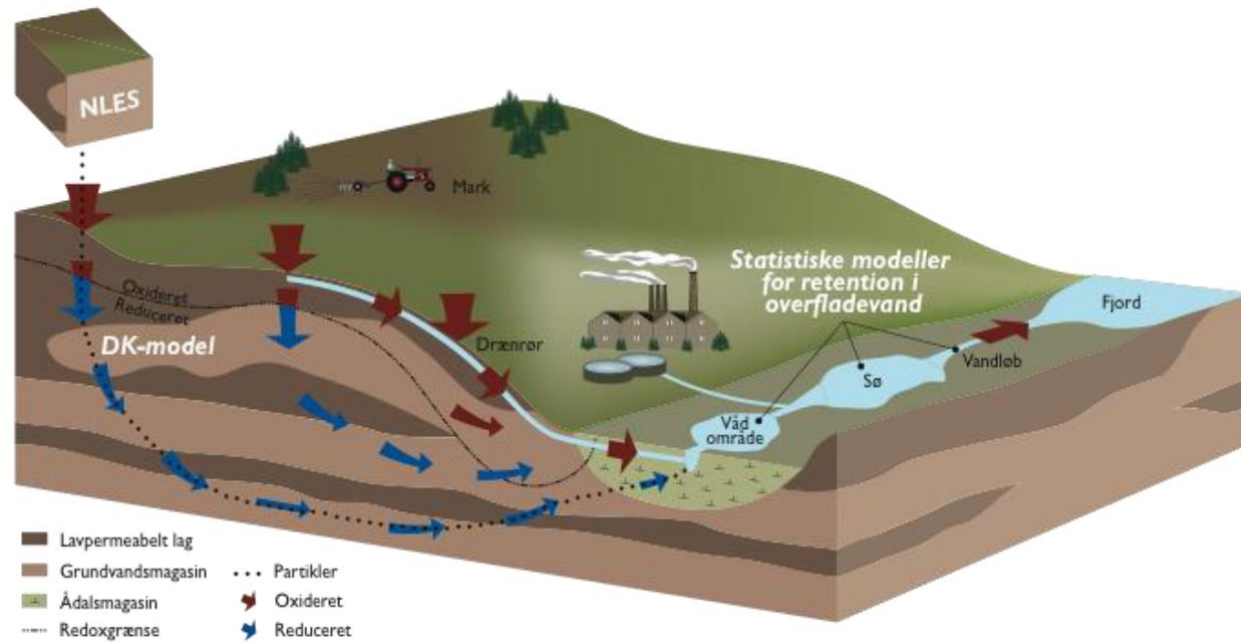
- Nationalt indsatsbehov for kvælstofreduktioner på 13.700 ton N
 - Scenarie 1 i second opinion
 - Interkalibrering med Sverige og Tyskland
 - Samspil mellem arealomlægning og målrettet regulering
- Skærpet miljøgaranti fra og med 2027
 - Regulering til braklægningspunktet
- Akutindsatser i de mest udfordrede områder
- Ny og styrket lokal forankring af arealomlægningen



Virkemidler skal tilpasses kvælstofstrømmene



Nyt N-retentionskort



Ny Udledningsbaseret Arealregulering for kvælstof (NUAR) – analyse af metode, kvotetildelingsmodeller og omkostninger

Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug

Jørgen Eriksen¹ (redaktør), Jens Erik Ørum², Søren Kolind Hvid³, Jakob Vesterlund Olsen², Elly M. Hansen¹, Søren Ugilt Larsen¹, Franca Giannini-Kurina¹ og Ingrid K. Thomsen¹

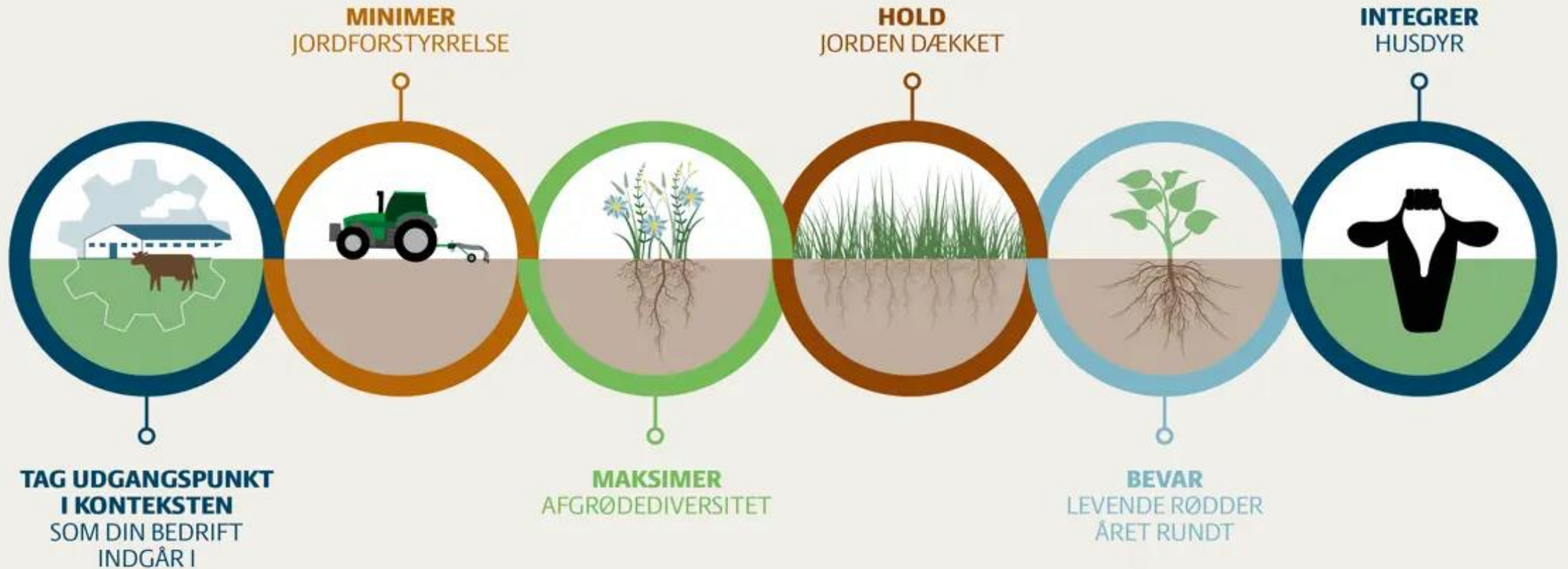
¹Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

²Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet

³Planter & Miljø, SEGES Innovation P/S

https://pure.au.dk/portal/files/379114234/NUAR-slutnotat_24._maj_2024.pdf

6 kerneprincipper for regenerativt landbrug



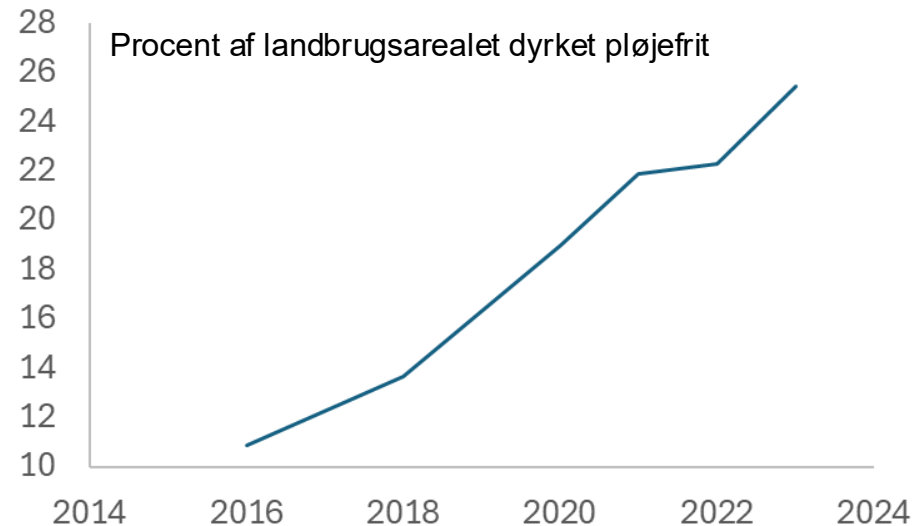
Conservation agriculture

Minimal jordforstyrrelse er en del af conservation agriculture:

- Minimal jordbearbejdning
- Permanent jorddække (planter eller planterester)
- Alsidige sædskifter

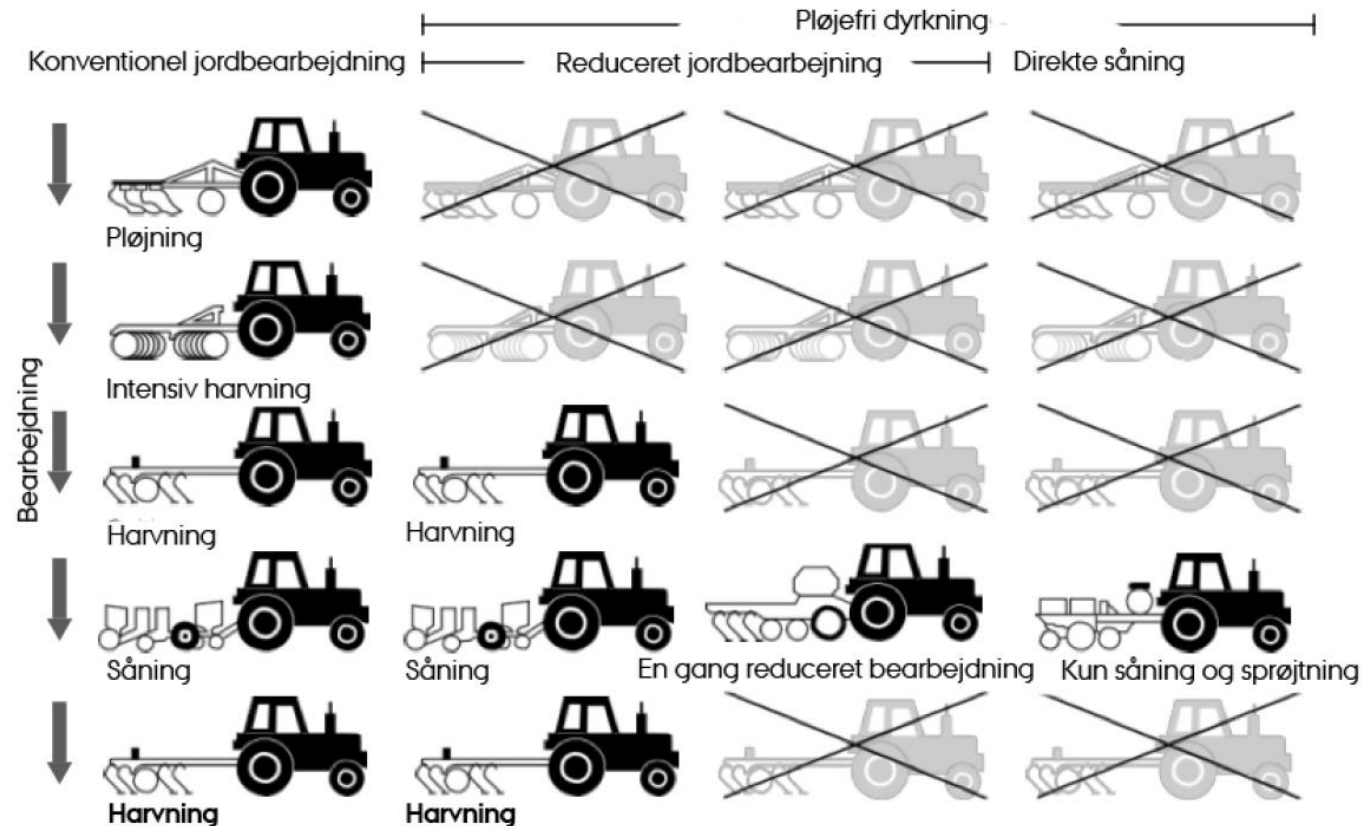
Stigende areal med pløjefri dyrkning i Danmark

- Arealet stiger med 2%-point om året



Minimeret jordbearbejdning

- Kun 4% arealet anvender direkte såning
- Øget herbicidforbrug (ca. 20%) ved pløjefri dyrkning, især fra glyphosat til at bekæmpe ukrudt og nedvisne efterafgrøder
- Planteværnsproblemer skal forebygges gennem alsidigt sædskifte
- Øget jordkvalitet (struktur, erosion, biologi)



Kulstoflagring ved direkte såning (no-till) er ringe i køligt klima

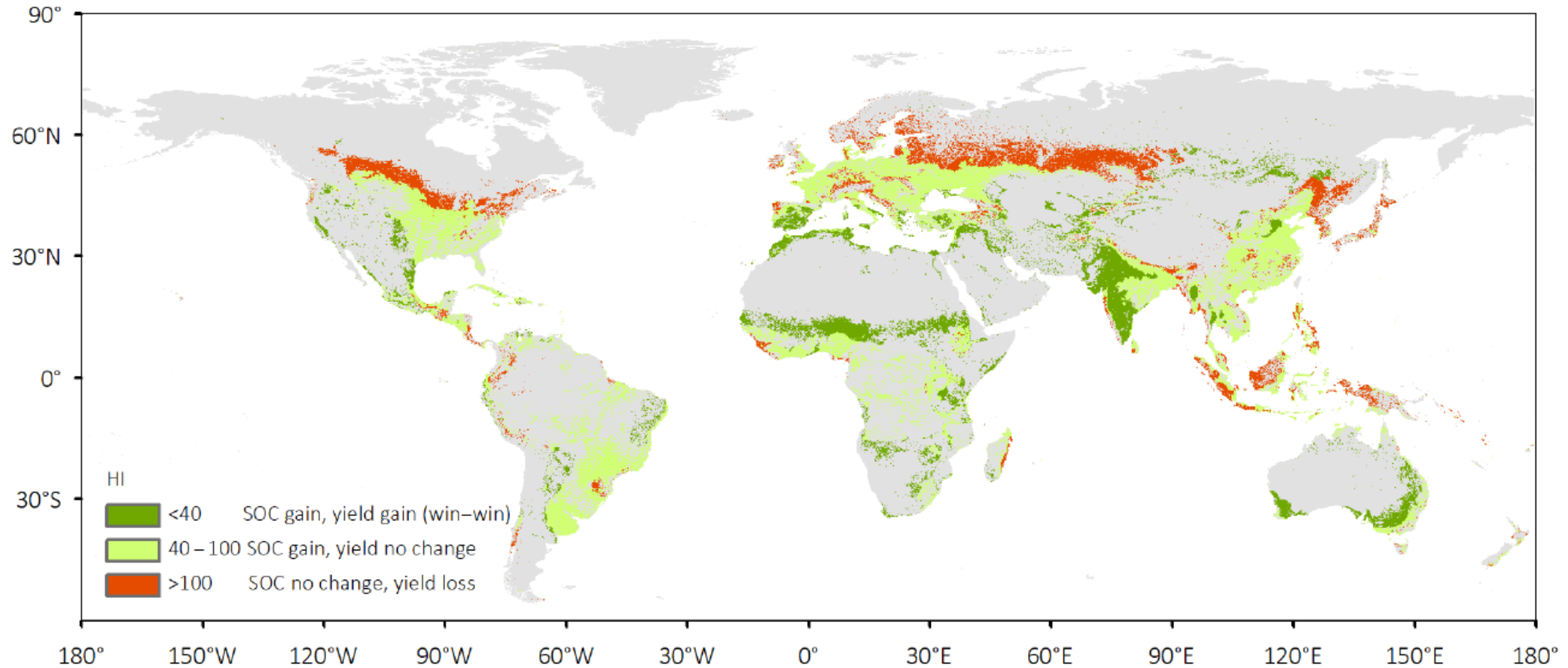


FIGURE 5 Global patterns of changes in soil organic carbon and crop yield after adopting conservation agriculture. The light green, green and red colours represent different humidity index (HI) levels and corresponding outcomes of adopting conservation agriculture derived from Figure 4a

Kulstoflagring i conservation agriculture

Jordbearbejdning

- Ingen/ringe effekt på kulstoflagring i fugtigt klima: 0 – 500 kg CO₂/ha
- Vigtigt at produktiviteten fastholdes / øges

Halmnedmuldning

- Effekt afhænger af alternative anvendelse (strøelse, bioenergi)
- Effekt fra forsøg, 0,2-0,4 t C/ha: 700 -1400 kg CO₂/ha
- Ved substitution af fossil energi, bliver effekten negativ

Efterafgrøder

- Kulstoflagring afhænger af vækst i efterafgrøderne
- Standardeffekt ca. 0,2-0,3 t C/ha
- Effekt ved 25% efterafgrøder i sædskiftet: 250 kg CO₂/ha

Reduktion i alt: 950 – 2150 kg CO₂e/ha (negativ ved energiproduktion)

Kulstoflagring fra halm og planterester

Nedmuldning af halm

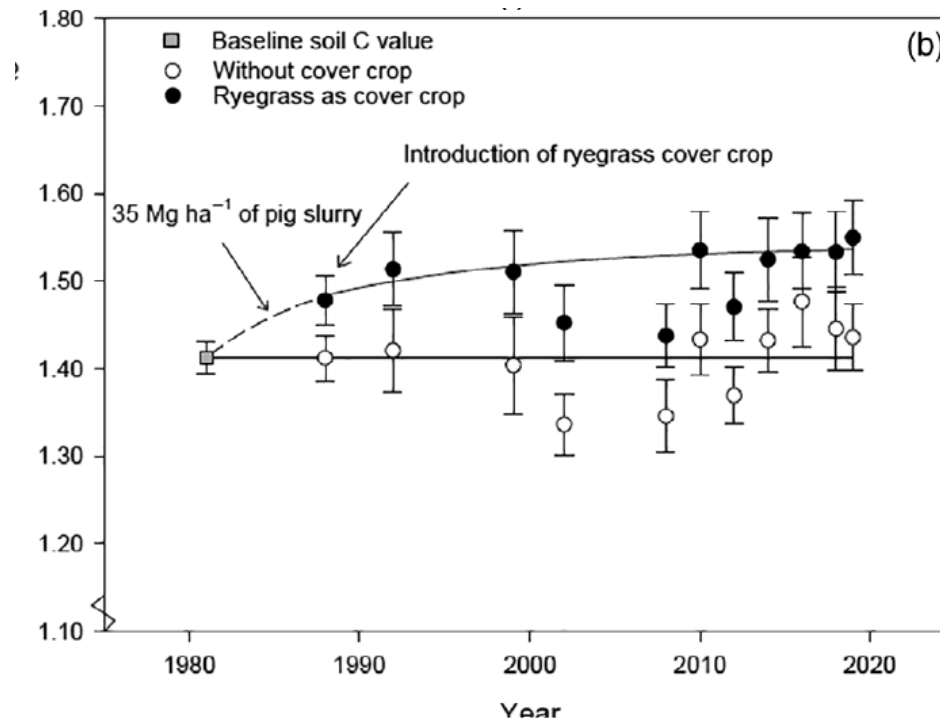
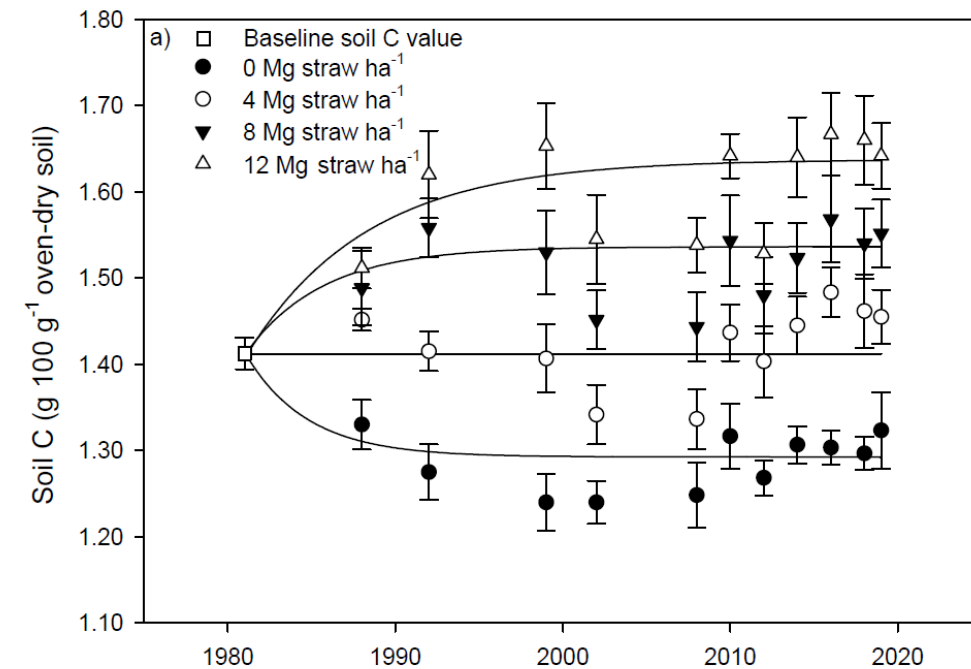
- Kulstoflagringseffekt af halm mætter over 10-15 år
- Nedmulding af 5 t halm/ha svarer til 1050 kg CO₂/ha

Halm til bioenergi

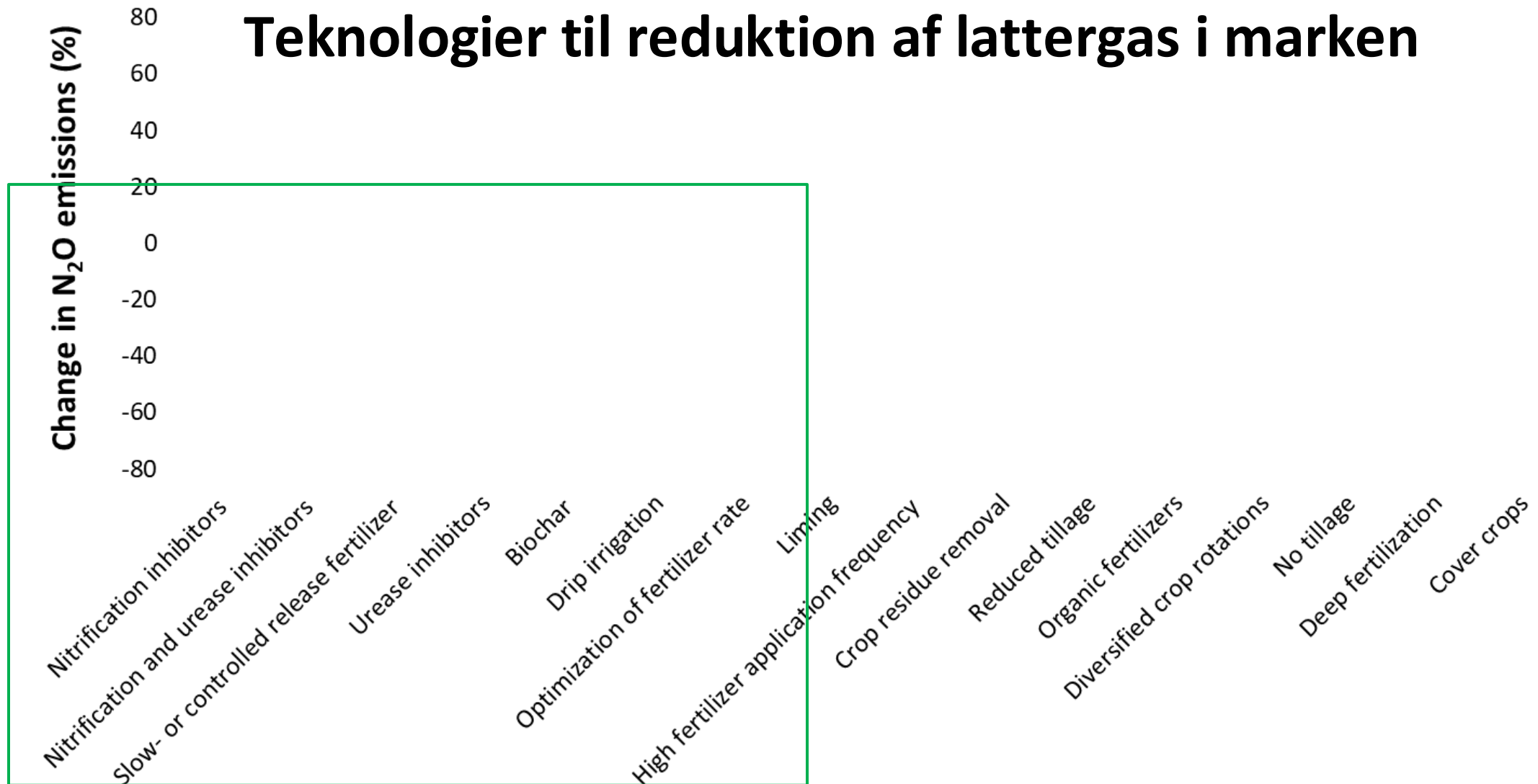
- Afbrænding på kraftvarmeværk erstatter naturgas: 2700 CO₂/ha

Alternativ udnyttelse af halm

- Biogas
 - Lidt mindre kulstoflagring end ved nedmulding
 - Næringsstoffer returneres
- Biokul
 - Stabilt kulstof (20-50% af input)
 - Ikke alle næringsstoffer returneres



Teknologier til reduktion af lattergas i marken



Teknologiske løsninger (fx inhibitorer, biokul) og gødningsoptimering har betydeligt potentiale (30-50%)

Fremtidens dyrkningssystemer skal opfylde mange funktioner – alle med aspekter af regenerativ landbrug

FUNKTION OG MANAGEMENT



Foto - Colourbox

Enårige afgrøder

- Mere biodiverse dyrkningssystemer, inkl. bælplanter og blandinger
- Tidligere høst af korn og frø – forbedret etablering af efterafgrøder med mulighed for høst til bioraffinering (dobbeltafgrøder)



Foto - Colourbox

Foderafgrøder

- Græs-baseret foderproduktion baseret på blanding af flerårige arter



Foto - Colourbox

Flerårige dyrkningssystemer

- Nye produktive flerårige dyrkningssystemer (inkl. skovlandbrug)
- Integration med energiproduktion (inkl. solceller)



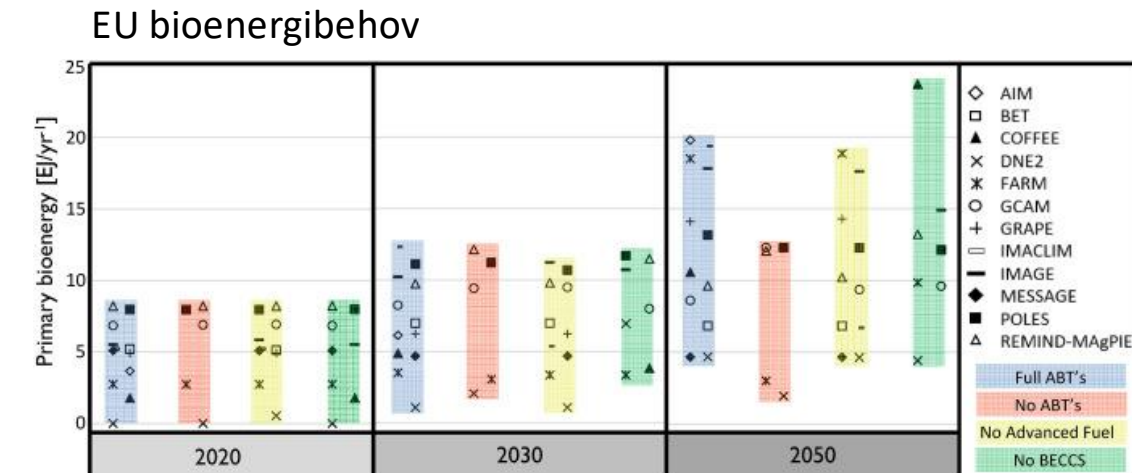
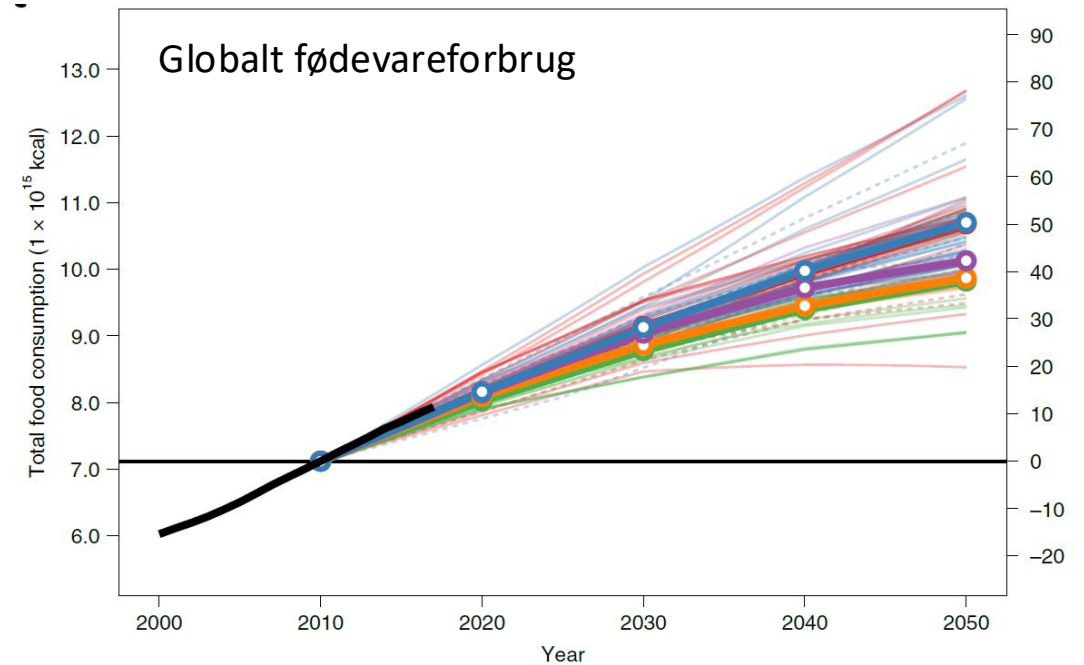
AU Foto – Lars Kruse

Management

- Nye gødskningssystemer (inkl. recirkulering af næringsstoffer)
- Præcisionslandbrug (sensorer, modeller and robotter)
- Planteforædling – fokus på resiliens, miljø/klima og effektivitet i forsyningskæden
- Bioraffineringsteknologier - upcycle biomasse fra hele landskabet
- Øge jordkulstof, flerårige afgrøder og biochar (integration med energi)

Biogent kulstof til mange formål

- Foder og fødevarer (stigende globalt forbrug, forvente 30% i 2050)
- Bioenergi (stigende globalt forbrug, især af moderne bioenergi, fx biogas)
- Materialer (fx beklædning, byggeri) forventes i stigende grad at konkurrere med behov for bioenergi
- Øget jordfrugtbarhed og kulstoflagring i vegetation og jord
- Biogent kulstof er også afgørende for økosystemers funktioner



Kampen om kulstof og arealer i Danmark

Kulstof

- Fødevarer (bidrag til verdens fødevarer)
- Energi (bioenergi, energilagring)
- Materialer (substitution for olie- og betonbaserede produkter)
- Lagring af kulstof i jorden (kompensation)
- Natur (naturens behov for biodiversitet)

Udfordringer

- Klimaændringer truer produktionen

Muligheder

- Øget produktivitet (flerårige afgrøder)
- Bioraffinering, recirkulering, biokul

Arealer

- Foder og fødevarer
- Energi (bioenergi, solceller)
- Materialer (træ, cellulose, tekstiler)
- Natur
- Byer og infrastruktur

Udfordringer

- Planlægning til udfordringerne (produktion, miljø, natur, infrastruktur)
- Behovet overstiger det tilgængelige areal

Muligheder

- Målretning af arealer til flere formål
- Agrivoltaics (landbrug og solceller)

Kulstoflagring i jord

Øge jordens kulstof i dyrkningssystemer

- Flerårige afgrøder (især græs)
- Biokul

Kræver ændrede produktionssystemer

- Flerårige afgrøder (især græs)
- Biokul af halm, træflis og gyllefibre (pyrolyse)

Andre mindre effektive muligheder

- Skov og skovlandbrug
- Efterafgrøder
- Halm

Problemstillinger

- Permanens i lagring
- Effekt af global opvarmning på kulstoflagring

Klimamodeller har overvurderet opbygningen af kulstof i jord. Ny forskning viser at klimaændringer fører til faldende kulstofindhold.

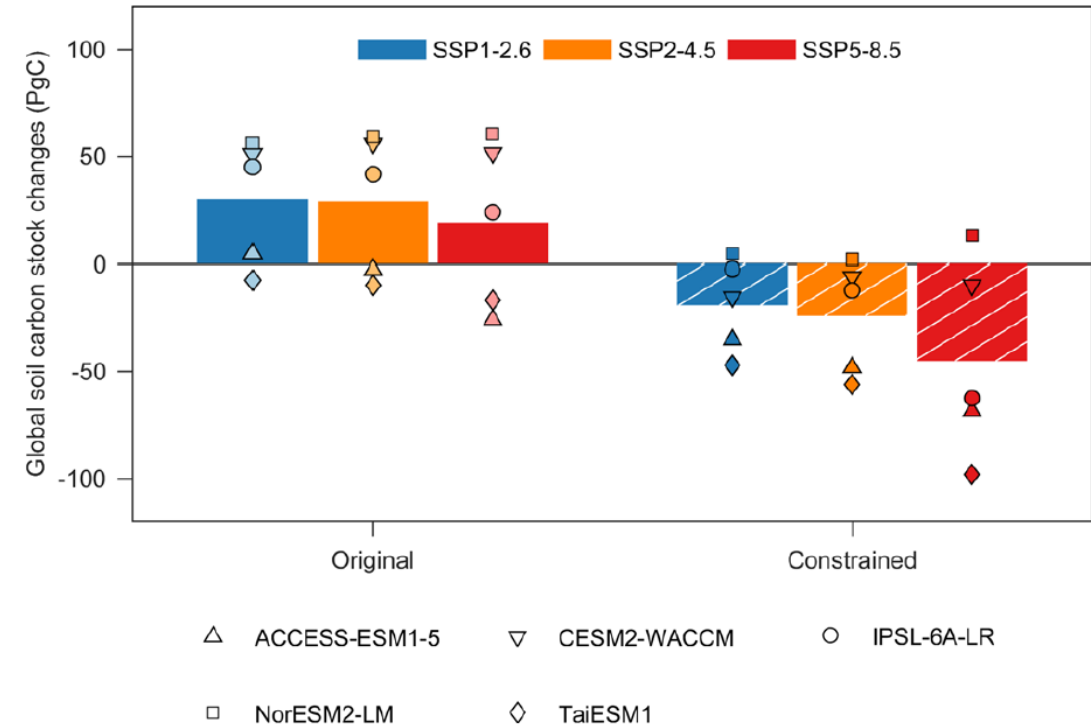


Fig. 3 | Projected changes in global soil carbon stock. Changes in global soil carbon stock between the current period (2005–2014) and the end of the century (2080–2099) from the original and constrained CMIP6 models under SSP1-2.6 (blue), SSP2-4.5 (orange) and SSP5-8.5 (red) emissions scenarios, respectively.

Ren et al. (2023) Nature Communications

Klimaændringer tærer på jordens kulstof

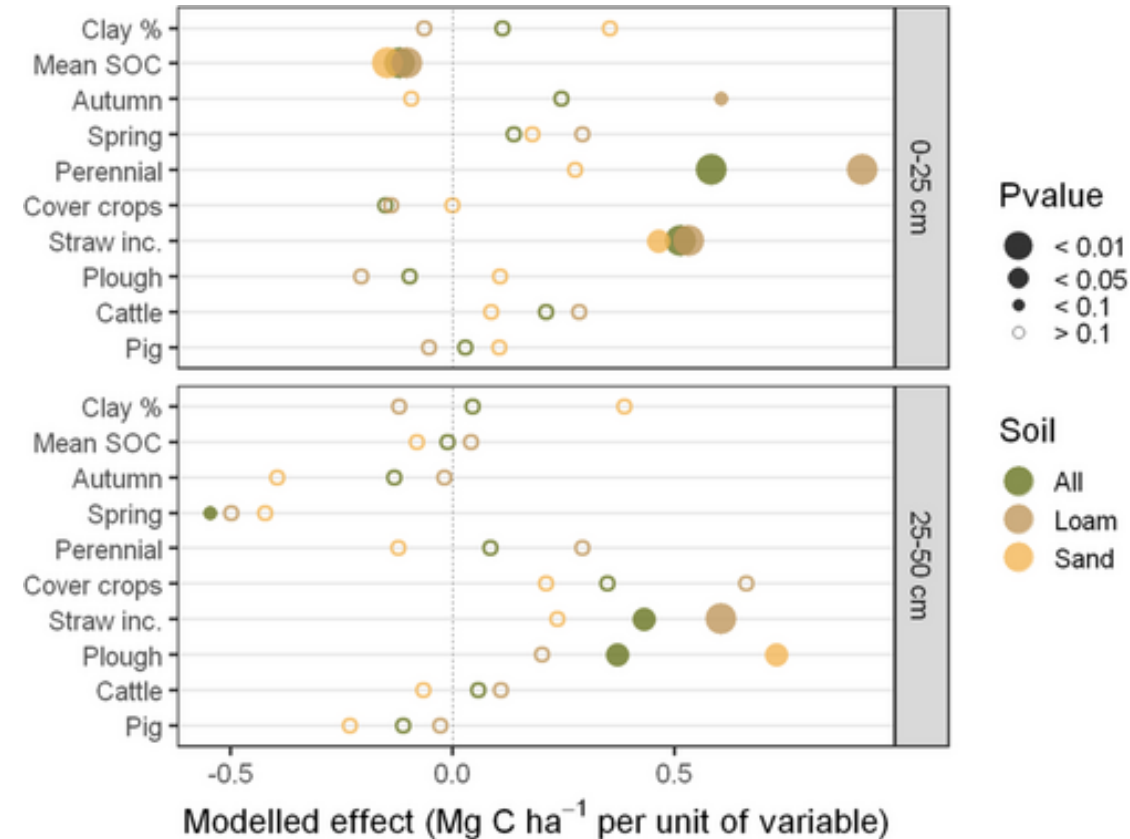
Højere temperatur øger nedbrydningen af organisk stof:

- En temperaturstigning på 1°C øger nedbrydningen med ca. 10% under danske klimaforhold
- Temperaturen i Danmark stiger med ca. 0,5°C per årti
- Temperaturen i Danmark er allerede steget med mere 2°C

Kulstoflagring i dansk landbrugsjord kræver derfor øget kulstofinput eller mere stabilt input:

- Græsmarker
- Halm og efterafgrøder
- Biokul

Resultater fra Kvadratnettet viser at især græsmarker og halmnedmuldning kan øget jordens kulstofindhold.



Harbo et al. (2023)

Udfordringer med at ændre systemerne til øget kulstofudnyttelse

Det biobaserede samfund

- Mere arealeffektiv fødevareproduktion (fx plantebaserede fødevarer, grøn bioraffinering til dyrefoder)
- Recirkulering og udnyttelse af næringsstoffer
- Maksimal produktion og udnyttelse biogent kulstof

Væsentlige udfordringer

- Investeringer i bioraffineringsteknologier
- Ejerstruktur for biomassehåndtering
- Regulering af arealanvendelse og biomasseudnyttelse
- Incitamenter til ændringer i status quo

Bæredygtig arealanvendelse

- Begrænse vækst i byer og infrastruktur
- Målrette arealanvendelse til flere formål samtidigt (fødevarer, energi, materialer, bosættelse, rekreation, natur, biodiversitet, miljø)

Væsentlige udfordringer

- Hvordan sikres ordentlige og transparente beslutninger om arealanvendelse?
- Hvordan øges hastigheden i beslutninger og implementering?

I fremtiden skal afgrøder levere på mange forskellige parametre

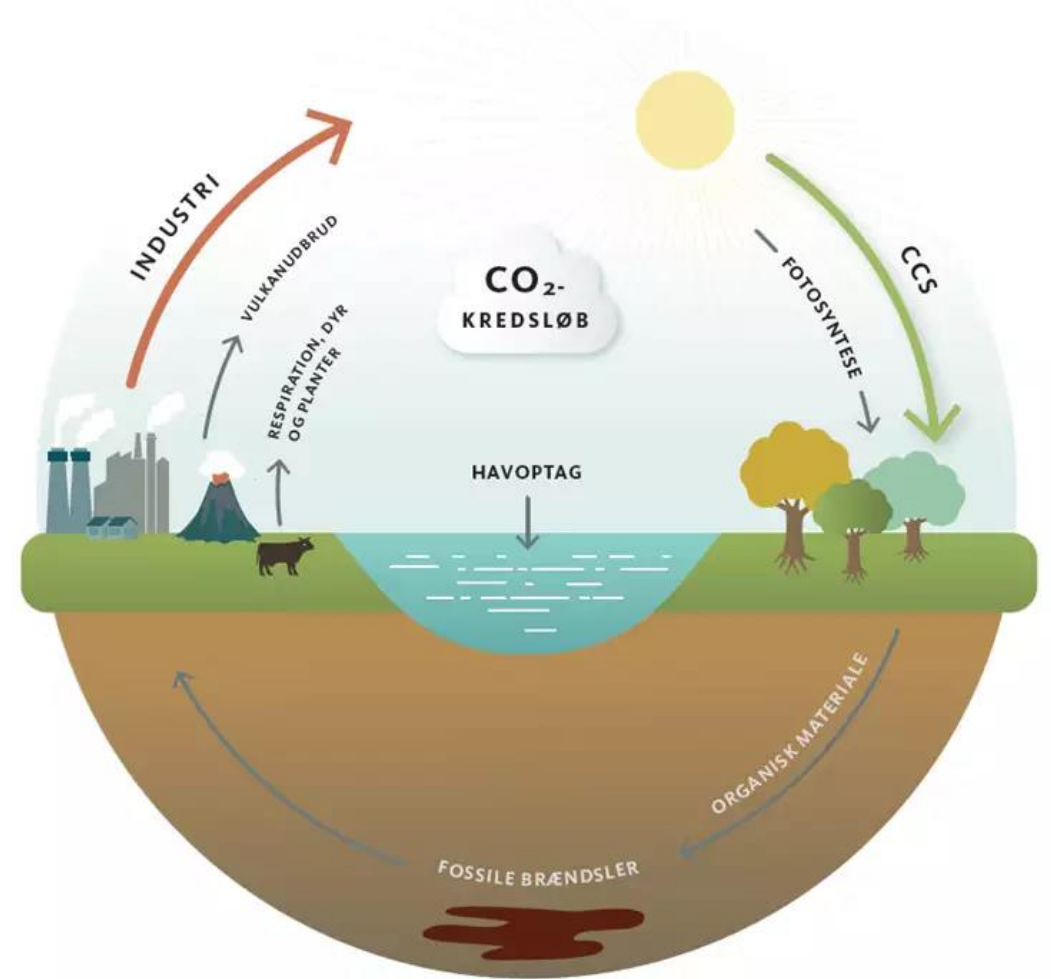
- Fanger så meget CO₂ som muligt
- Holder på N og P, så det ikke tabes til vandmiljøet
 - Det kan være afgrøder til byggematerialer, som bidrager til negative emissioner
 - Nye proteinafgrøder, fx kløvergræs og grønne hestebønner, sojabønner og lupiner
 - Agrivoltaic – solcellelandbrug, evt. kombineret med robotter til afgrødepasning
 - Flerårige kornafgrøder kan måske lagre mere CO₂ og holde bedre på N og P
 - Og meget mere - der bliver MEGET behov for landbrug



Refleksioner over den grønne trepart

Internationalt nytænkede og banebrydende

- Gør op med fastlåst positioner (lock-ins)
- Videnbaseret – men kræver fortsat stærk innovation og forskning
- Lokal forankring er afgørende (lokale treparter)
- Nye forretningsmodeller skal udvikles
- Reguleringsmodeller skal tilpasses (løbende)
- Offentlig støtte til arealomlægning og nye forretningsmodeller er afgørende
- Kulstof og energi bliver væsentlige nye forretningsområder til supplement for fødevarer



Refleksioner om regenerativt landbrug i Danmark

Udbredelse

- Pløjefri dyrkning breder sig
- Efterafgrøder er blevet et krav
- Afgrødediversitet er låst på produktionssystemerne
- Produktionssystemer er låst på regionale forskelle
- Ny kvælstofregulering kan blive afgørende for sædskifter

Jordkvalitet

- Ny EU regulering for jordsundhed

Klimabidrag

- Regenerativt landbrug har ringe klimaeffekt

Kvælstofudledning

- Afhænger af hvilket regenerative tiltag





AARHUS
UNIVERSITY