



Klimaeffekter i regenerativt landbrug

Gennemgang af klimavirkemidler i regenerativt landbrug og relation til klimaberegninger og opgørelse af effekter.



Kontakt
Majken Husted, Innovationscenter for Økologisk Landbrug
majh@icoel.dk, 4017 7126

STØTTET AF

Fonden for **økologisk landbrug**



Introduktion

Regenerativt landbrug er blevet fremhævet som en dyrkningsform som stimulerer og opbygger jordens sundhed, hvorved der skabes en robust dyrkningsjord ^[1]. Igennem de regenerative dyrkningspraksisser og ved at opbygge en frugtbar jord, vil der være en positiv effekt på næringsstofbalancer, vandbinding og kulstofopbygning og dermed potentielt også på klima ^[1]. Der mangler imidlertid undersøgelser under klimaforhold der er sammenlignelige til det klima vi har i Danmark, som understøtter antagelsen om en bedre klimaprofil for det regenerative landbrug. Dette skyldes særligt at det er vanskeligt at kvantificere kulstofopbygning og klimaeffekten af en større kulstofindlejring. Dette kræver langvarige forsøg, da kulstofopbygning er noget der sker over en længere årrække. Det formodes også, at regenerative dyrkningspraksis kan reducere drivhusgasudledninger, men dette er også noget der mangler tilstrækkelig forskning på.

Der mangler særligt forskning på regenerativt landbrug som helhed, da forskning oftest fokuserer på én praksis ad gangen, for at kunne lave forsøg som kan repliceres og for at isolere effekter. Dette ignorerer dog potentielt de synergieffekter der kan være ved at implementere flere regenerative tiltag samtidigt.

Dette notat beskriver regenerative dyrkningspraksis som kan have effekt på drivhusgasudledninger i landbruget, herunder produktion af plantebaserede fødevarer. Det beskrives også udfordringer ved at opgøre klimaeffekten af regenerativ dyrkningspraksis med klimaberegninger. Fokus er på nationale udledninger på bedriftsniveau, med hovedfokus på økologisk produktion.

Landbrugets drivhusgasudledninger

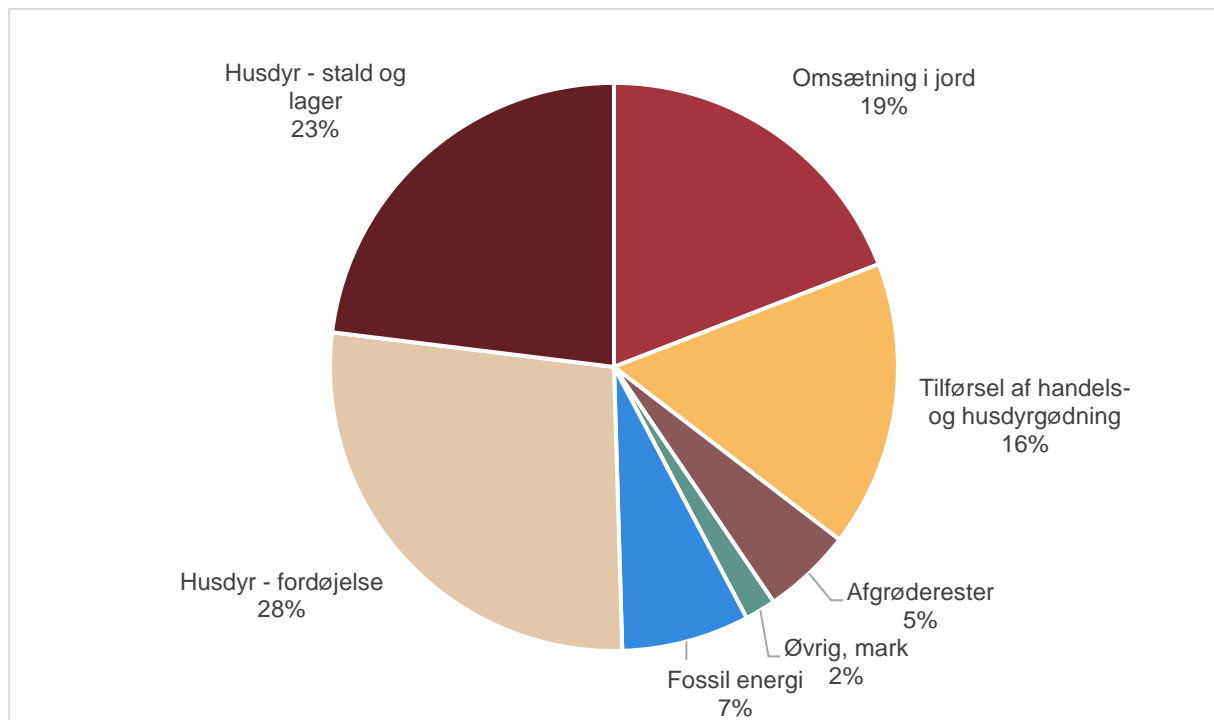
Når der laves klimaberegninger på bedriftsniveau, så er der en række udledningskilder som er af stor betydning for det samlede klimaaftryk fra bedriften. Figur 1 viser udledningerne fra landbruget i Danmark. Figuren viser de nationale udledninger, dvs. de udledninger som sker indenfor landets grænser og inkluderer dermed ikke importerede ressourcer, som fx importeret foder eller produktion af handelsgødning. Importerede ressourcer kan for nogle bedrifter fylde en stor del af deres samlede udledninger, men det kommer meget an på bedriftstype og produktionsform.

Det er tydeligt fra figur 1 at det er udledninger fra husdyrproduktionen som fylder en stor del af udledningerne i landbruget. Dette ses også når der laves beregninger på bedriftsniveau, hvor husdyrproducenter i gennemsnit har en højere udledning per hektar end planteavlere. Derfor vil det at gå over til planteavl reducere udledningerne fra en bedrift.

På planteavlsbedrifter er det udledninger fra anvendelsen af gødning som i gennemsnit står for de største udledninger på bedriften. Udledningen fra anvendt gødning afhænger naturligvis af hvor meget gødning der anvendes. Et højere gødningsniveau giver alt andet lige en højere udledning fra tilførsel af gødning. I beregninger antages 1% af anvendt total kvælstof udledt som lattergas. Derfor har det også en betydning hvor høj udnyttelsen af en given gødningstype har. Det er ikke ligegyldigt om der tilføres 65 kg udnyttet kvælstof per hektar med en udnyttelse på 80% eller med en udnyttelse på 50%, da det har betydning for mængden af total kvælstof der tilføres. I forhold til regenerativt landbrug kan det derfor have en stor indvirkning på bedriftens klimaprofil hvis der anvendes store mængder kompost med en lav kvælstofudnyttelse.

Udledninger fra afgrøderester kan også fylde relativt meget af udledningerne på en planteavlsbedrift. Der er stor forskel i kvælstofindholdet i afgrøderester fra forskellige afgrøder, hvor kvælstoffikserende afgrøder tilfører relativt mere kvælstof via afgrøderester sammenlignet med korn. Men en inkludering af kvælstoffikserende afgrøder i sædskiftet og god udnyttelse af forfrugtsværdien vil alt andet lige give lavere udledninger på bedriftsniveau, end et sædskifte med høj tildeling af kvælstof.

Hvordan udledningerne fordeler sig, samt hvor store udledningerne er på planteavlsbedrifter, vil således i høj grad afhænge af afgrødevalg og gødningsstrategi.



Figur 1: Landbrugets udledninger i 2022 ^[5]. Figuren inkluderer nationale udledninger, dvs. importerede ressourcer ikke er inkluderet her.

Dyrkning til plantebaserede fødevarer

Det er veletableret at en plantebaseret diæt har en lavere klimabelastning end en diæt med animalske fødevarer ^[7]. Men effekten i udledninger fra det danske landbrug og på bedriftsniveau, er afhængigt af, at husdyrproduktionen i Danmark mindskes. Hvis der fortsat er en stor husdyrproduktion i Danmark, selvom det danske kødforbrug skulle blive mindre i fremtiden, vil det altså ikke kunne ses i udledningerne i Danmarks nationale emissionsopgørelse ^[5]. På bedriftsniveau vil det have stor betydning for bedriftens udledninger om der produceres husdyr, eller om det er en ren planteavlsbedrift, og reduktionspotentialen på bedriftsniveau er stort, hvis man går fra husdyrproduktion til ren planteavl.

Et af de regenerative principper omhandler integrationen af husdyr i planteavl ^[1]. Der er dog meget begrænset viden om klimaeffekten af en integration af husdyrproduktionen i planteavl. Som beskrevet i "Regenerativt landbrug i økologisk landbrug – en vidensyntese" ^[1], så "er det ikke entydigt, hvordan en regenerativ produktion gennemføres, sammenholdt med den nuværende økologiske produktion" og "hvilke ændringer sker der i produktionssystemet i forhold til husdyrholdet og dets integration med planteavl, og hvilke af disse forhold kan tænkes at have en klimaeffekt" ^[1]. Som beskrevet ovenfor, så fylder udledninger fra husdyrproduktion relativt meget i landbrugets udledninger og bedrifter med fokus på husdyrproduktionen har i gennemsnit også højere udledninger end rene planteavlsbedrifter. Det er svært at sige om en integration af husdyr i planteavl, med fokus på planteavl og en større produktion af afgrøder til plantebaserede fødevarer, vil have markant højere udledninger på bedriftsniveau end rene planteavlsbedrifter. Dette kommer an på hvordan integrationen af husdyr vil fungere i praksis, hvor meget husdyrene fylder i produktionen, om det er drøvtyggere, og hvordan husdyrene påvirker øvrige udledninger, hvor længe dyrene er på græs og kulstoflagring på bedriften.



En planteavlsbedrift med en højere andel afgrøder til plantebaserede fødevarer, sammenlignet med en bedrift med planteavl med produktion af afgrøder til foder, vil på bedriftsniveau ikke nødvendigvis have et lavere klimaaftryk. Klimaaftrykket på planteavlsbedrifter afhænger i høj grad af hvor meget kvælstof der tilføres. Hvis der tilføres mere gødning til afgrøder til plantebaserede fødevarer, end til afgrøder til foder, vil det medføre en højere udledning. Udledningen fra en bedrift med fokus på plantebaserede fødevarer, vil derfor i høj grad afhænge af hvilke afgrøder der dyrkes og hvor kvælstofintensive disse afgrøder er.

Eksempler på sædskifter med afgrøder til plantebaserede fødevarer

Nedenstående eksempler er beregnet med samme metode som anvendes i ESGreen Tool Climate ^[3]. I tabel 1 kan man se de anvendte sædskifter.

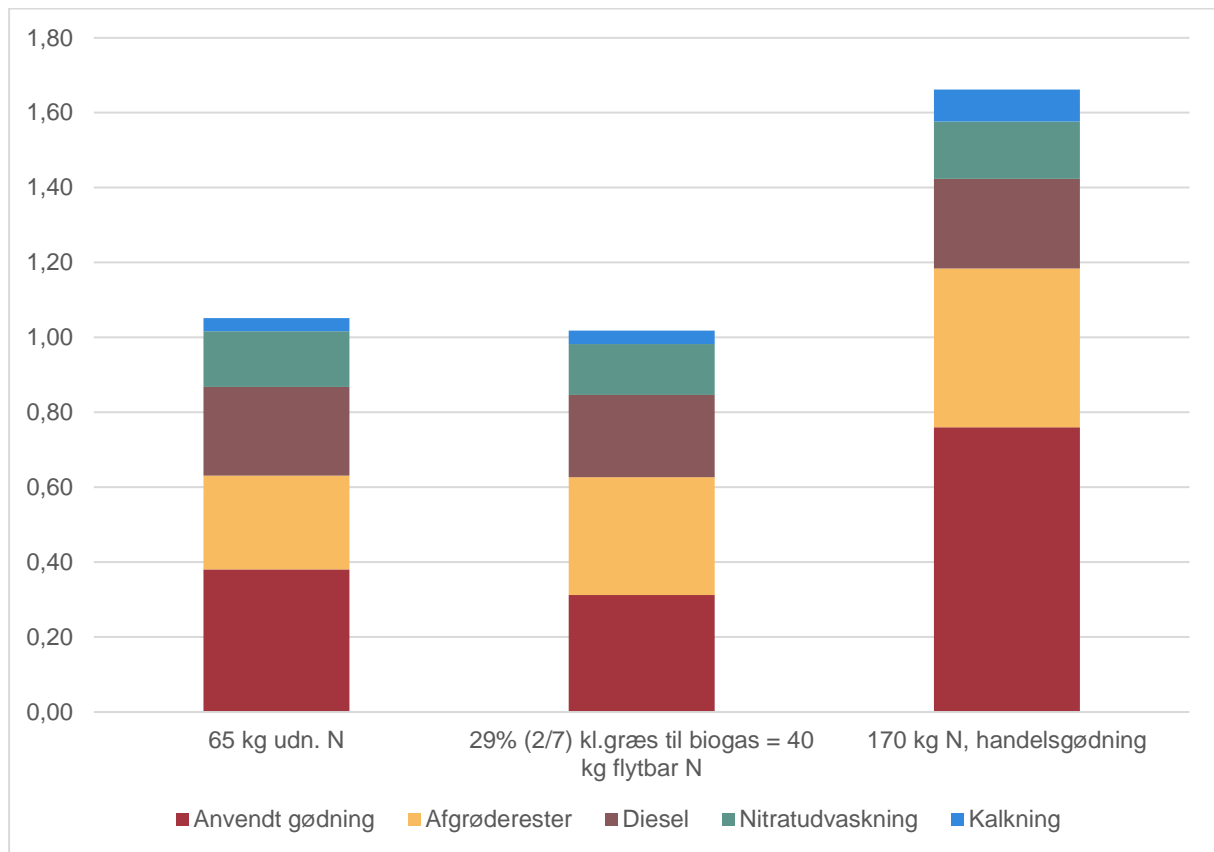
Der er fokus på korn, raps og bælgplanter til konsum i sædskifterne. Man kunne også have inkluderet grønsagsafgrøder, men der mangler faktorer fra IPCC ^[8] til beregning af kvælstof afgrøderester fra grønsager og det er derfor ikke muligt at lave en komplet beregning for disse afgrøder.

Tabel 1: Sædskifter anvendt til beregning af klimaaftryk som angivet i figur 2.

65 kg udn. N, husdyrgødning	29% kl. græs til biogas = 40 kg udn. N	170 kg N, handelsgødning
Vinterraps + efterafgrøde	Kløvergræs	Vinterraps
Vinterhvede + efterafgrøde	Kløvergræs	Vinterhvede + efterafgrøde
Havre	Havre + efterafgrøde	Vårbyg + efterafgrøde
Ært + efterafgrøde	Vinterraps + efterafgrøde	Vårbyg
Vinterrug	Vinterhvede	Vinterbyg
	Markært	
	Vinterrug + kl.græs udlæg	

Som det kan ses i figur 2, så er det mængden af gødning der er den største faktor for hvor stor udledningen er fra en given planteavlsbedrift. Herudover har lattergasudledningen fra afgrøderester også en stor betydning, hvor man i dette eksempel kan se, at sædskiftet med kløvergræs har en højere udledning fra afgrøderester end sædskiftet med 65 kg udn. N fra husdyrgødning. Samlet set har de to sædskifter med lav gødningstildeling sammenlignelige udledninger per hektar.

Der er ikke inkluderet effekter af importeret handelsgødning i scenariet med 170 kg N fra handelsgødning og der er heller ikke inkluderet effekter fra kulstoflagring. Det er således de nationale udledninger fra de 3 systemer der er vist i figuren.



Figur 2: Eksempler på udledninger per hektar, for sædskifter med forskellig afgrødefordeling og gødningstildeling.

Regenerativ dyrkningspraksis med klimaeffekt

Generelt mangler der viden om hvordan regenerativt landbrug som helhed påvirker drivhusgasudledninger og kulstoflagring. Dette skyldes bl.a. at der ikke er nogen konkret definition af hvordan et regenerativt landbrug ser ud og de variationer der vil være i bedriftstyper, både indenfor det regenerative landbrug og i de bedrifter som kan tænkes at implementere regenerative tiltag ^[1]. Herudover mangler der ensartede studier og studier der viser variationer under forskellige lokale forhold ^[1].

I det følgende er der taget udgangspunkt i tiltag og dyrkningspraksis som ligger indenfor det regenerative og hvordan disse tiltag påvirker drivhusgasudledningen. Der er tale om et begrænset udsnit af tiltag der falder indenfor regenerativ dyrkningspraksis. Der er ikke redegjort for eventuelle synergieffekter mellem tiltag.

Mellem- og efterafgrøder

Et af de regenerative principper, som angivet i "Regenerativt landbrug i økologisk landbrug – en vidensyntese" ^[1] er levende plantedække året rundt. Under dette princip er mellem- og efterafgrøder et af nøgletiltagene. Mellem- og efterafgrøder påvirker drivhusgasudledningerne på bedriften gennem reduceret nitratudvaskning, lattergasudledning fra afgrøderester, kulstoflagring og brug af fossil energi ^[1, 4, 6]. Der er også en effekt på drivhusgasudledningerne ved et mindre kvælstofforbrug til den efterfølgende afgrøde. Denne effekt er dog på bedriftsniveau betinget af, at det totale kvælstofforbrug på bedriften mindskes, ved inkludering af mellem- og efterafgrøder i sædskiftet.

Aarhus Universitet har i rapporten "Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget – 2024" vurderet effekten af efterafgrøder uden kvælstoffikserende arter til 1.003 kg CO₂e/ha og effekten af efterafgrøder med kvælstoffikserende arter til 874 kg CO₂e/ha. For mellemafgrøder er effekten vurderet til 455 kg

CO₂e/ha. Effekten er beregnet som en samlet klimaeffekt, hvor der tages højde for eftervirkning fra efterafgrøden, som leder til mindre forbrug af gødning, øget udledning fra tilførsel af afgrøderester, reduceret indirekte lattergasudledning ved reduceret nitratudvaskning, forbrug af fossil energi til etablering af mellem- eller efterafgrøden, samt kulstoflagring. Den største klimaeffekt fra mellem- og efterafgrøder kommer fra kulstoflagring ifølge Aarhus Universitets beregninger, hvor der for efterafgrøder er beregnet en kulstoflagring svarende til 990 kg CO₂e/ha og for mellemafgrøder er der beregnet en kulstoflagring på 495 kg CO₂e/ha ^[6].

Kløvergræs

Kløvergræs i sædskiftet kan opbygge kulstof i jorden ^[6, 9]. Hvorvidt kløvergræs i sædskiftet er et klimavirkemiddel, afhænger dog af hvordan kløvergræsset integreres i sædskiftet og hvordan det påvirker gødningstildelingen på bedriften. Anvendes kløvergræsset som en kulstof- og kvælstofopbyggende afgrøde i sædskiftet og med en minimal tildeling af gødning til kløvergræsset, så kan klimaeffekten potentielt være stor.

I praksis er det ofte økologiske kvægbedrifter der har en høj andel kløvergræs i sædskiftet ^[9] og kløvergræs er i den sammenhæng også et vigtigt tiltag i marken til integrering af husdyr i sædskiftet, i form af arealer til afgræsning og foderproduktion.

Aarhus Universitet har vurderet braklægning i sædskiftet til en klimaeffekt på 1.385 kg CO₂e/ha/år ^[6]. Effekten ved braklægning kommer hovedsageligt fra et mindre forbrug af gødning. Hvis kløvergræs i sædskiftet ikke gødes og gødningen ikke omfordeles til andre afgrøder i sædskiftet, vurderes det at klimaeffekten ved inkludering af kløvergræs i sædskiftet vil have en klimaeffekt der er sammenlignelig med braklægning.

Reduceret jordbearbejdning

Reduceret jordbearbejdning har ikke nogen, eller meget begrænset effekt på jordens kulstofindhold. Reduceret jordbearbejdning medfører en omfordeling af kulstoffet i jorden, hvor der ses et højere indhold af kulstof i de øvre jordlag (0-10 cm) og et lavere indhold af kulstof i de dybere jordlag (>10 cm), sammenlignet med en pløjet jord ^[1, 4]. Effekten af reduceret jordbearbejdning på jordens kulstofindhold påvirkes altså mere af hvad denne praksis betyder for den øvrige praksis, som hvis der fx anvendes flere efterafgrøder eller en højere andel græs i sædskiftet ^[1, 4].

Aarhus Universitet vurderer dog at der er en sikker klimaeffekt ved reduceret jordbearbejdning fra reduceret forbrug af fossile brændstoffer. Klimaeffekten er vurderet til 0,1 ton CO₂e/ha/år.

Recirkulering af næringsstoffer

En øget recirkulering af næringsstoffer vil ikke nødvendigvis have en klimaeffekt på bedriftsniveau. Her vil der sandsynligvis være tale om en effekt på samfundsniveau, eller på landbruget som helhed, igennem en reduceret anvendelse af handelsgødning i det konventionelle landbrug og dermed en reduceret udledning fra produktionen af handelsgødning. Er der tale om recirkulering af næringsstoffer via biogas-anlæg vil gasproduktionen kunne medvirke en fortrængning af fossil gas, men klimaeffekten ved dette tilfalder ikke landbruget og den enkelte bedrift.

Hvis en øget recirkulering betyder at man kan modtage mere effektive gødninger (dvs. gødninger med en højere udnyttelse) vil det betyde en lavere udledning fra anvendt gødning, da der skal bruges mindre total kvælstof for den samme mængde udnyttede kvælstof. Der kan også være en effekt på kulstoflagringen, hvis der tilføres en større mængde organisk gødning som fx kompost ^[1].

Klimaberegning på case-bedrifter

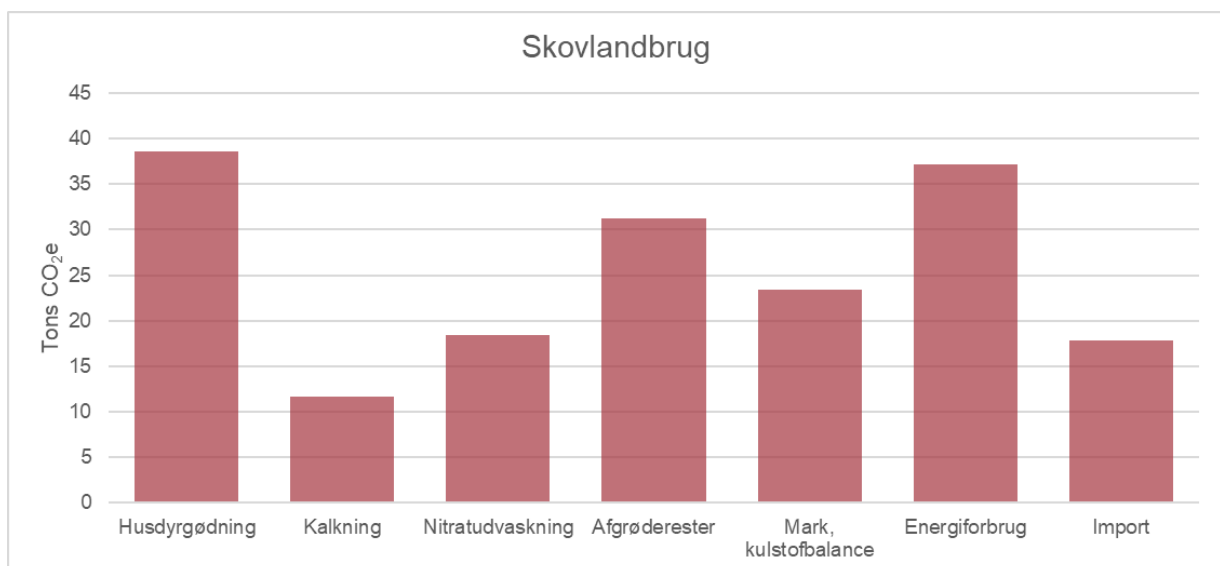
I projektet "Regenerativt landbrug til videreudvikling af den økologiske planteproduktion" er der lavet klimaberegninger på 2 case-bedrifter som på hver sin måde har implementeret regenerative tiltag. Den ene bedrift er et økologisk skovlandbrug med planteavl, og den anden bedrift er et konventionelt Conservation Agriculture (CA) planteavl. Beregningerne er lavet i ESGreen Tool Climate ^[3].

I figur 3 og 4 kan man se resultatet af klimaberegningerne for de 2 case-bedrifter. I figurerne er udledningerne vist per udledningskilde. På figurerne er der inkluderet udledninger fra anvendt handels- og husdyrgødning, udledninger fra anvendt kalk, indirekte lattergasudledning fra nitratudvaskning, lattergas fra nedbrydning af afgrøderester, tørvnedbrydning i kulstofrige lavbundsjord, kulstofbalance, energiforbrug, import af handelsgødning og import. Import dækker over importeret maskinarbejde og produktion af diesel. Udledningerne fra forbrænding af diesel ved kørsel med maskiner er inkluderet under energiforbruget. Det er ikke alle udledningskilder der fremgår for begge bedrifter.

Som det kan ses på figurerne, så er der ingen af de 2 bedrifter der har husdyr og derfor er der ikke nogen udledninger fra fordøjelse og husdyrgødning i stald og lager. På CA-bedriften er der kulstofrig lavbundsjord, som bidrager med en stor udledning fra tørvnedbrydning. Der er ingen kulstofrig lavbundsjord på bedriften med skovlandbrug og derfor heller ikke nogen udledning fra tørvnedbrydning.

På CA-bedriften anvendes der udelukkende handelsgødning, hvor der på skovlandbruget kun anvendes husdyrgødning. Dette kan ses på figurerne hvor der på skovlandbruget er udledninger fra anvendt husdyrgødning og der på CA-bedriften er udledninger fra hhv. anvendt handelsgødning og produktion af handelsgødning.

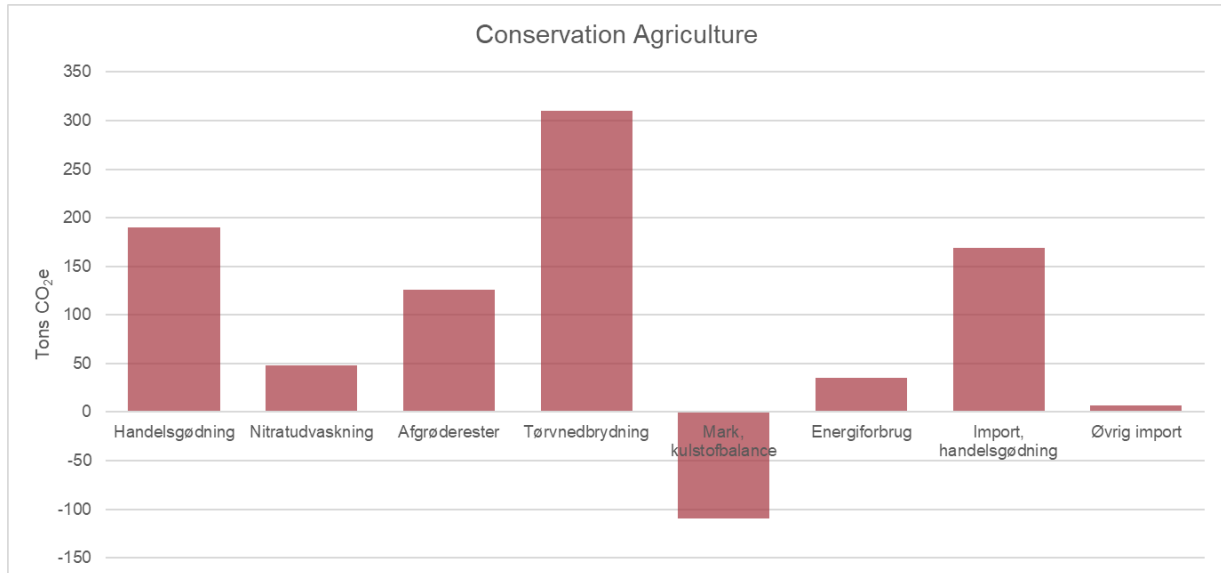
Begge bedrifter dyrker bælplanter og på skovlandbruget dyrkes der også kløvergræs. Dette afspejler sig i udledningerne fra afgrøderester, hvor der på begge bedrifter tilføres afgrøderester med højt kvælstofindhold gennem bælplanternes rod, stub og evt. halm. Halmnedmuldning forhøjer også udledninger fra afgrøderester, da der med halmen også tilføres kvælstof. Det har dog også en betydning for kulstofbalancen, da der med halmen også tilføres kulstof.



Figur 3: Resultat af klimaberegning i ESGreen Tool Climate på et økologisk skovlandbrug, med planteavl.

Som det kan ses på figur 3 og 4, så er der for skovlandbruget beregnet et potentielt netto tab af kulstof fra jorden hvor der for CA-bedriften er beregnet en potentiel netto opbygning af kulstof i jorden (se kulstofbalance). I ESGreen Tool Climate er kulstofbalancen beregnet som inputtet af kulstof fra afgrøderester og organisk gødning, relativt til en referenceafgrøde som antages at have en kulstoflagring tæt på 0, som beskrevet i Mogensen et al. (2014). Da mængden af afgrøderester antages at være lineært

stigende med stigende udbytte ^[5, 8], så betyder det også at jo højere udbytte des større sandsynlighed vil der være for at der beregnes en netto opbygning af kulstof i sædskiftet. Det er dog også vigtigt at bemærke at der i beregningerne i ESGreen Tool Climate ikke er inkluderet kulstofopbygning i jord og biomasse fra træer. Træerne på skovlandbrugsbedriften er således ikke inkluderet i beregningen.



Figur 4: Resultat af klimaberegning i ESGreen Tool Climate på et konventionelt landbrug med Conservation Agriculture, med planteavl.

Udledningerne som er, vist i figur 3 og 4 er totale udledninger for bedrifterne og er derfor også afhængige af bedriftsstørrelsen. I tabel 2 er udledningerne per hektar for de 2 case-bedrifter vist, for at man kan sammenligne de to bedrifter. Klimaaftrykket er vist både med og uden kulstofbalance, samt med og uden tørvnedbrydning. På skovlandbruget er der ikke nogen kulstofrige lavbundslande, derfor er klimaaftrykket for denne bedrift det samme med og uden tørvnedbrydning. I alle tilfælde er udledningerne per hektar lavere for skovlandbrugsbedriften end for CA-bedriften. Forskellen er dog marginal når kulstofbalancen inkluderes og uden bidrag fra tørvnedbrydning. Bidraget fra tørvnedbrydning betyder meget for udledningen per hektar for CA-bedriften, hvilket understreger vigtigheden af at tage stilling til sine kulstofrige lavbundslande på bedriften og vurdere om de er relevante for udtagning.

Tabel 2: Klimaaftryk per hektar (tons CO₂e/ha) for 2 case-bedrifter. Klimaaftrykket er angivet hhv. med og uden kulstofbalance, samt med og uden tørvnedbrydning.

	Skovlandbrug	Conservation Agriculture
Udledning pr. hektar (inkl. kulstofbalance, inkl. tørvnedbrydning), tons CO ₂ e/ha	1,33	2,30
Udledning pr. hektar (ekskl. kulstofbalance, inkl. tørvnedbrydning), tons CO ₂ e/ha	1,16	2,62
Udledning pr. hektar (inkl. kulstofbalance, ekskl. tørvnedbrydning), tons CO ₂ e/ha	1,33	1,38
Udledning pr. hektar (ekskl. kulstofbalance, ekskl. tørvnedbrydning), tons CO ₂ e/ha	1,16	1,70



Klimaaftrykket per kg produkt er beregnet i ESGreen Tool Climate 2, ud fra de gødningsudbringninger m.v. som er udbragt på den enkelte afgrødetype. Der er i beregningen også anvendt udbytter som angivet i bedriftenes registreringer i MarkOnline. Klimaaftrykket er vist uden bidrag fra kulstofbalance, samt uden bidrag fra mellem- og efterafgrøder. Klimaaftrykket per kg produkt er ab gård, dvs. at der ikke er medregnet udledninger som måtte komme under videre processering.

Klimaaftrykket per kg produkt er meget afhængigt af balancen mellem input og output. Har man et højt udbytte i en given afgrøde, men med et meget højt input af gødning, så vil det potentielt give samme, eller højere aftryk per kg som i et system hvor der køres med lavere udbytte, men også et lavere input.

I tabel 3 er der vist produktaftrykket for de 2 case-bedrifter, for de 4 afgrøder som de 2 bedrifter begge dyrker. Her kan man se at der er variation mellem afgrøderne for hvordan de 2 bedrifter præsterer på klimaaftryk per kg produkt. For nogle afgrøder er klimaaftrykket per kg produceret afgrøde næsten ens, som det fx er tilfældet for vinterhveden. For hestebønnerne er aftrykket lavere på CA-bedriften end på skovlandbrugsbedriften. Dette skyldes at der ikke tilføres kvælstofgødning til afgrøden og det dermed bliver udbyttet som er den bestemmende faktor. Her har CA-bedriften haft et højere udbytte i hestebønner. For vårhavren har skovlandbrugsbedriften et lavere klimaaftryk per kg produceret afgrøde. Dette kan skyldes at man her har haft en god udnyttelse af forfrugtsværdien fra den efterafgrøde eller kløvergræs som har været på marken året forinden og der derfor har været et lavt input af gødning relativt til udbyttet.

Tabel 3: Klimaaftryk per kg produkt (kg CO₂e/kg) for udvalgte afgrøder på de 2 case-bedrifter.

	Skovlandbrug	Conservation Agriculture
Vinterhvede, kg CO ₂ e/kg	0,276	0,281
Hestebønner, kg CO ₂ e/kg	0,221	0,120
Vårbyg, kg CO ₂ e/kg	0,368	0,258
Vårhavre, kg CO ₂ e/kg	0,199	0,244

Beregning af klimaeffekten ved kulstoflagring

Øget kulstoflagring omtales ofte som en klimaeffekt ved implementering af regenerativt landbrug og dyrkningspraksis. Der er dog en række udfordringer ved beregning og opgørelse af klimaeffekt ved kulstoflagring i klimaberegning. Nedenstående beskrivelser tager hovedsageligt udgangspunkt i hvordan klimaeffekten af kulstoflagring beregnes i ESGreen Tool Climate. Der perspektiveres til udfordringer og dilemmaer ved opgørelse af kulstoflagring.

Kulstoflagring i træer

ESGreen Tool Climate ^[3] inkluderer på nuværende tidspunkt ikke effekten af træer og skovlandbrug, hverken på kulstoflagring eller på udledninger af lattergas fra nedbrydning af blade og grene. Derfor vil der for landbrug med skovlandbrug og/eller en stor andel areal med læhegn være en manglende information om årlig opbygning af kulstof i ved, samt en opgørelse af hvor meget kulstof der er "lagret" i den stående biomasse, samt de udledninger nedbrydningen af plantemateriale medfører. Træer kan have en positiv indvirkning på at fjerne CO₂ fra atmosfæren, men dette aspekt kan således ikke regnes med på nuværende tidspunkt.

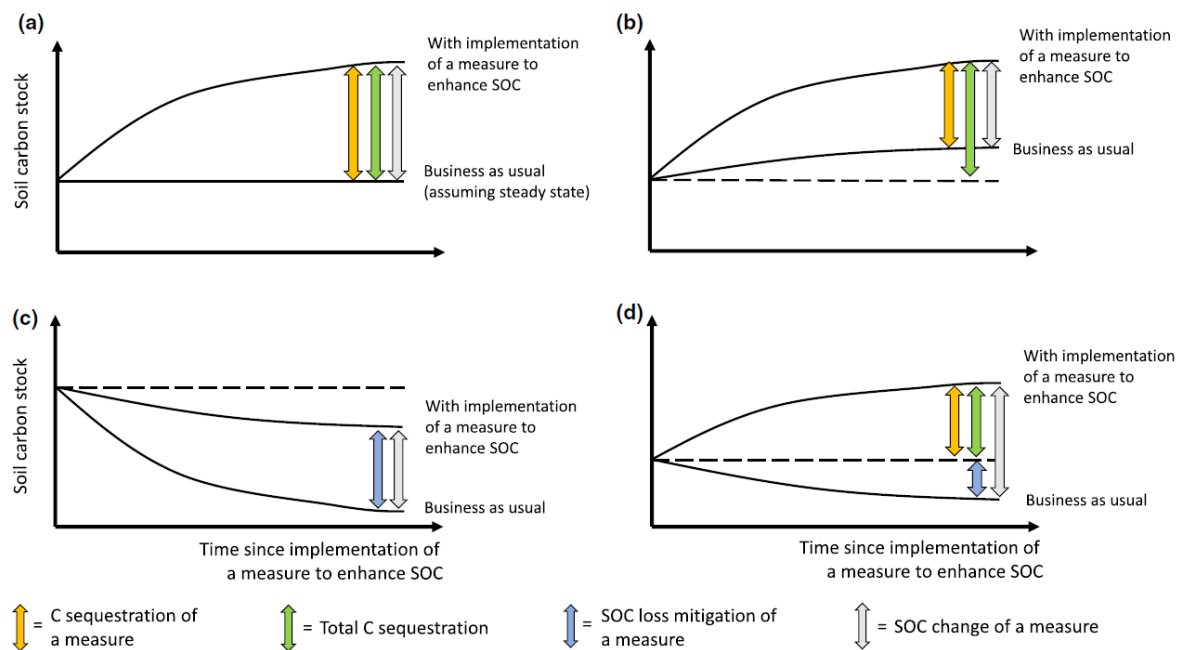
Aarhus Universitet har i rapporten "Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget – 2024" vurderet effekten af skovlandbrug med hurtigt voksende træer til 5,2 ton CO₂e/ha/år på arealet med træer med 5-års høstinterval og 7,0 ton CO₂e/ha/år på arealet med træer med 10-års høstinterval. Heraf kommer hhv. 3,98 og 5,81 ton CO₂e/ha/år fra kulstofbinding ^[6]. Det antages i rapporten af effekten fra kulstofbinding er en engangseffekt og at der efter de første 20 år med skovlandbrug ikke længere er nogen

kulstoeffekt af betydning. Effekten fra reduceret tildeling af kvælstof og den dertilhørende lattergasudledning vil fortsætte så længe dyrkningspraksis med skovlandbrug fortsætter [6].

Kulstoflagring i jord

Kulstoflagring i jord er defineret som en nettooverførsel af kulstof fra atmosfæren til jorden [2]. For at vurdere om der er tale om en kulstoflagring kræver det altså viden om udgangspunktet og det niveau af kulstof i jorden man sammenligner med. Det er nødvendigt at fastlægge en baseline, som man sammenligner op imod.

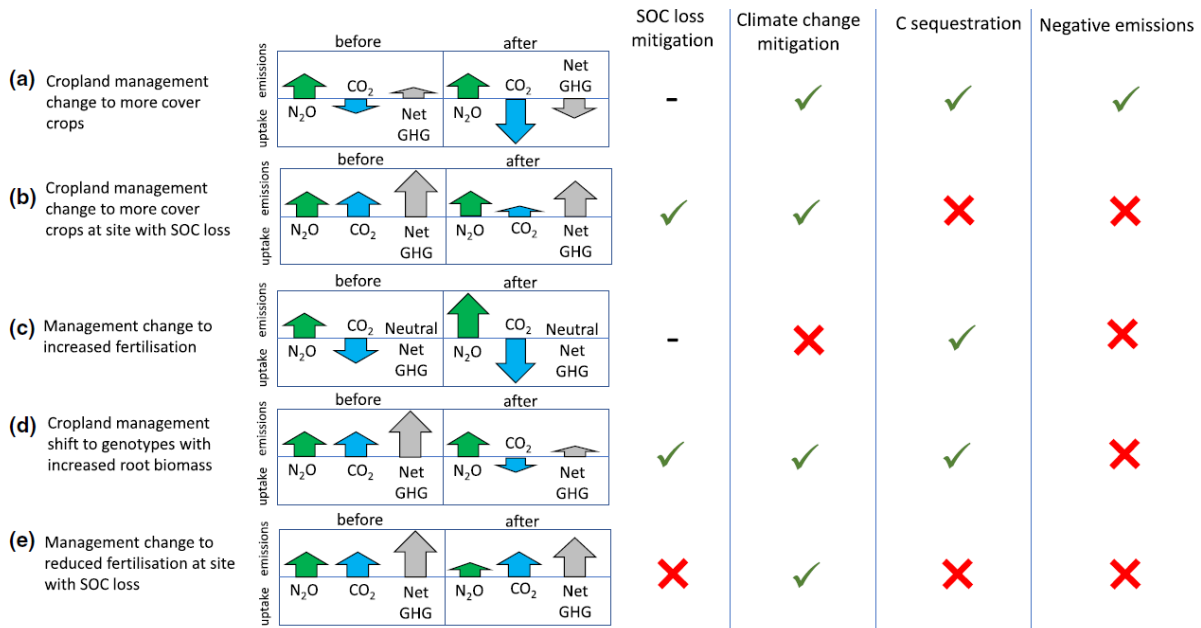
Når man snakker om *kulstoflagring* så antages der dermed en opbygning af kulstof fra ét niveau til et andet, som det fx er illustreret i figur 5a, nedenfor [2]. Her hæves kulstofindholdet i jorden ved implementering af et kulstoflagrende tiltag. Man kan dog også have situationer hvor kulstofindholdet i jorden tidligere har været højere og at man med eksisterende praksis mister kulstof fra jorden. Her kan man tale om, at man ved at implementere et kulstofopbyggende tiltag ikke laver *kulstoflagring*, men afbøder et tab af kulstof fra jorden ved implementering af tiltaget, som det fx er illustreret i figur 5c [2]. Der er også en klimaeffekt ved at afbøde et tab af kulstof fra jorden og der er også en klimaeffekt ved at holde på det kulstof der allerede er opbygget i jorden. Det er derfor også vigtigt at fremme praksis der mindsker tab af kulstof fra jorden og vedligeholder kulstofpuljerne. Men det besværliggør indregningen af kulstoflagring i klimaberegninger på lige fod med øvrige emissionskilder, som opfører sig væsentligt anderledes.



Figur 5: Mulige tendenser i jordens lagre af organisk kulstof (SOC) i business-as-usual-scenarier (BAU) og efter implementering af kulstofopbyggende tiltag. (a) SOC-lagrene antages at være i stabil tilstand uden ændringer i et BAU-scenarie. (b) SOC-lagrene forventes at stige selv uden kulstofopbyggende tiltag i BAU-scenariet, (c) SOC-lagrene forventes at falde i BAU-scenariet på trods af gennemførelsen af kulstofopbyggende tiltag, og (d) SOC-lagrene forventes at falde, hvis der ikke gennemføres kulstofopbyggende tiltag. »SOC change of a measure« er i forhold til BAU-scenariet. Den stiplede linje angiver nul ændring. Fra Don et al., 2023.

Som det kan ses i figur 6, så betyder en kulstoflagring ikke altid en afbødning af klimaforandringer. Hvorvidt en øget kulstoflagring betyder afbødning af klimaforandringer, afhænger af hvordan praksisændringen påvirker de øvrige udledninger. Sker en øget kulstoflagring fx ved at man tilfører mere

gødning, så øges lattergasudledningen også, som det er eksemplet i figur 6c. Hvorvidt der kan sættes lighedstegn mellem øget kulstoflagring og afbødning af klimaforandringer, er altså situationsspecifikt og afhænger af praksisændringen på bedriften.



Figur 6: Teoretiske eksempler på praksisændringer (a-e) og deres stedsspecifikke indvirkning på kulstofpuljer i jord og atmosfære og N₂O-fluxer. Eksemplerne er evalueret i henhold til deres effekt på afbødning af SOC-tab, afbødning af klimaforandringer, C-binding og negative emissioner. Pilens længde repræsenterer fluxens størrelse i CO₂-ækvivalenter. ✓: ja; ✗: nej; -: ikke relevant. Fra Don et al., 2023.

Konklusion

Det er ikke muligt på nuværende tidspunkt at give et eksakt tal for klimaeffekten ved regenerativt landbrug med fokus på produktion af plantebaserede fødevarer. Klimaeffekten vil være meget situationsspecifik, alt efter udgangspunkt, valg af sædskifte, hvorvidt der er husdyr på bedriften og mængden af gødning der anvendes.

Der findes dog en række tiltag som ligger indenfor det regenerative landbrug, som allerede er anerkendte klimavirkemidler. Dette inkluderer bl.a. efterafgrøder, kløvergræs i sædskiftet, nedmuldning af halm, reduceret gødningstildeling og skovlandbrug ^[6, 9].

Referencer

- [1] Jørgensen JR, Enni JA, Dalgaard T, Horsted K, Ingvorsen B, Jakobsen M, Jensen EH, Kongsted AG, Thorsøe MH, Kristensen HL, Pedersen LJ, Pedersen TM, Rasmussen C, Trkulja I. 2024. Regenerativt landbrug i økologisk landbrug – en vidensyntese. 117 sider. Rådgivningsrapport fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 31.08.2024.
- [2] Don, A., Seidel, F., Leifeld, J., Kätterer, T., Martin, M., Pellerin, S., ... & Chenu, C. (2024). Carbon sequestration in soils and climate change mitigation—Definitions and pitfalls. *Global Change Biology*, 30(1), e16983.

- [3] Henriksen, J. C. S., Hvid, S. K., Oudshoorn, F., Nielsen, N. I., Kristensen, M. Ø., & Petersen, J. S. (2021). Landbrugets klimaværktøj 1.0.- Innovationscenter for Økologisk Landbrug og SEGES Innovation – Aarhus Danmark.
- [4] Munkholm, L. J., Hansen, E. M., Melander, B., Kudsk, P., Jørgensen, L. N., Heckrath, G. J., Ravnskov, S. og Axelsen, J. 2020 Vidensyntese om Conservation Agriculture. Aarhus Universitet, DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 134 s. – DCA rapport nr. 177 <https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport177.pdf>
- [5] Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Nielsen, M., Gyldenkærne, S., Mikkelsen, M.H., Albrektsen, R., Hjelgaard, K., Fauser, P., Bruun, H.G., Levin, L., Callisen, L.W., Andersen, T.A., Johannsen, V.K., Nord-Larsen, T., Vesterdal, L., Stupak, I., Scott-Bentsen, N., Rasmussen, E., Petersen, S.B., Baunbæk, L., & Hansen, M.G. 2024. Denmark's National Inventory Document 2024. Emission Inventories 1990-2022 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Paris Agreement. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 936 pp. Scientific Report No. 622
- [6] Andersen MN, Adamsen AP, Lærke PE, Larsen SU, Jørgensen U, Olesen JE, Ma-nevski K, Bay SS, Hutchings NJ, Hansen EM, Munkholm LJ, Børgesen CD, Thom-sen IK, Elsgaard L, Petersen SO, Toda M, Ntinyari W, Sørensen P, Audet J, Krogh PH, Bruus M, Blicher-Mathieson G, Kronvang B, Zak D, Andersen TA, Albrektsen R, Gyldenkærne S, Callisen LW, Mikkelsen MH, Winding A, Sapkota R, Dalby FR, Kai P, Jensen M, Nørremark M, Børsting CF, Lund P, Kjeldsen MH, Maigaard M, Amorim Franchi G, Jensen MB, Villumsen TM, Hansen MJ, Kristensen, HL, Nør-gaard, JV, Bouquet A, Buitenhuis A, Nielsen HM. 2024. Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget - 2024. Rådgivningsrapport fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet. 375 sider. Leveret: 10.06.2024
- [7] Bruno, M., Thomsen, M., Pulselli, F. M., Patrizi, N., Marini, M., & Caro, D. (2019). The carbon footprint of Danish diets. *Climatic Change*, 156, 489-507.
- [8] IPCC 2019, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Available at: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>
- [9] Jensen, R.E., Poulsen, H.V., Jensen, N., Eller, F., Christensen, A.T., Vestenaa, M.W., Ege-lund, V.R., Husted, M.H., Pedersen, T.M., 2024. Kulstoflagring på landbrugsjord
- [10] Mogensen, L., Kristensen, T., Nguyen, T. L. T., Knudsen, M. T., & Hermansen, J. E. (2014). Method for calculating carbon footprint of cattle feeds—including contribution from soil carbon changes and use of cattle manure. *Journal of Cleaner Production*, 73, 40-51.