

Notat

Jordens kulstof balance	Ansvarlig	benp
	Oprettet	12-12-2023
	Side	1 af 5

Projekt: 8512, Få styr på kulstoffet i jorden

Jordens kulstof balance

Opgørelse af ændringer i jordens kulstofindhold og regulering på baggrund af aktiviteter eller resultater

At bestemme jordens kulstofindhold og følge den over tid er en kompliceret opgave. Kulstofindhold er både svært at måle og modellere, og det er vanskeligt at bestemme effekten af et virkemiddels effekt på kulstofindholdet i jorden. I det følgende gennemgås dels hvad der menes med begreber som kulstoflagring og undgået emission og dels hvilke effekter virkemidler kan have på ændringer i jordens kulstofindhold. Det anskueliggøres, at virkemidler kan have forskellig effekt i forskellige situationer, og hvilke konsekvenser det kan have i en reguleringsmæssig kontekst.

Kulstoflagring, undgåede emissioner og effekt af virkemidler

Kulstoflagring anvendes ofte som en beskrivelse af enhver effekt som skyldes et tiltag, som har en positiv indvirkning på jordens kulstofindhold sammenlignet med en reference. Det betyder at kulstoflagring både anvendes til at beskrive en situation, hvor der er et netto øget kulstofindhold i jorden og en situation, hvor tabet af kulstof kunne have været større.

Don et. al (2023) har forsøgt at illustrere dette i figur 1. I scenarie (a) repræsenterer den horisontale linje en business as usual situation (BAU), hvor jorden er i balance og omsætningen af kulstof i jorden derfor svarer til inputtet. Ved at implementere et virkemiddel, som giver et øget kulstofinput giver det anledning til et øget kulstofindhold i jorden. Kulstoflagringseffekten af virkemidlet repræsenteres af den gule pil. I dette tilfælde svarer overens med den totale kulstoflagring (den grønne pil) og den totale ændring i kulstofindhold i jorden som følge af virkemidlet (den grå pil). I scenarie (b) er jorden ikke i balance i BAU situationen, men stiger fortsat. Kulstoflagringseffekten af at implementere et virkemiddel (gul pil) er derfor lavere end den totale kulstoflagring (grøn pil), som i stedet svarer til den totale ændring i kulstofindhold i jorden på baggrund af virkemidlet (grå pil). I scenarie (c) ses et stort fald i jordens kulstofindhold ved BAU situationen. Ved at implementere et virkemiddel reduceres tabet tilsvarende den blå pil. Her sker altså ingen kulstoflagring, men derimod undgås en emission. I scenarie (d) ses et fald i kulstofindholdet i BAU situationen. Ved at implementere et virkemiddel vendes denne udvikling til en stigning i kulstofindholdet. Den fulde ændring i jordens kulstofindhold som følge af virkemidlet beskrives af den grå pil. Denne effekt udgøres af en undgået emission (blå pil) og en kulstoflagringseffekt (gul pil).

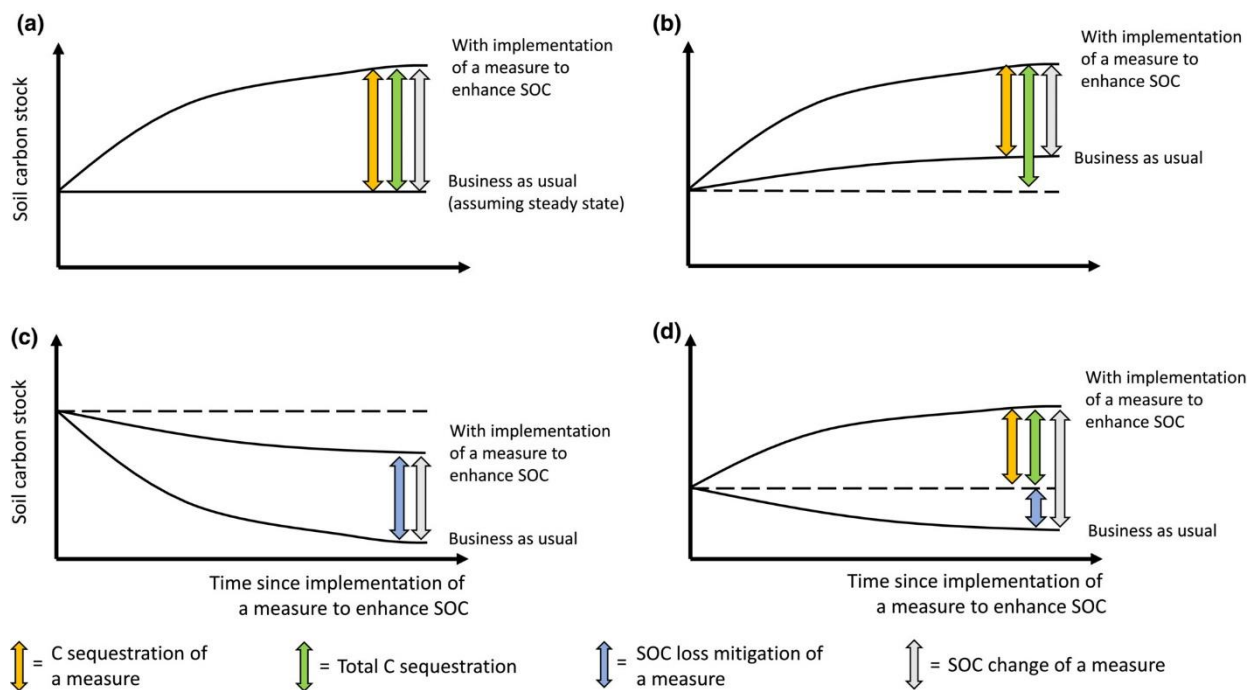


Figure 1: "Possible trends in soil organic carbon (SOC) stocks in business-as-usual (BAU) scenarios and following implementation of C sequestration measures. (a) SOC stocks are assumed to be in steady state with no change in a BAU scenario, (b) SOC stocks are predicted to increase even without C sequestration measures in the BAU scenario, (c) SOC stocks are expected to decline in the BAU scenario despite the implementation of C sequestration measures, and (d) SOC stocks are expected to decline if no C sequestration measures are implemented. "SOC change of a measure" is relative to the BAU scenario. The dashed line indicates zero change. Calculations are provided in the Data S1." Figur fra Don et al. (2023)

Om et virkemiddel giver anledning til en undgået emission eller en kulstoflagring afhænger altså i høj grad af BAU situationen, hvilket hænger også uløseligt sammen med kulstofindholdet i udgangspunktet. Jo højere det er, jo større er sandsynligheden for at BAU resulterer i et tab af kulstof. Det skyldes at jo større kulstofpuljen er, jo større er den totale omsætning også, og derfor skal der et større input til at vedligeholde det.

Klimaeffekt af undgåede emissioner og kulstoflagring

At undgå emissioner af CO₂ fra jordens kulstofpuljer er vigtigt. I tilfælde beskrevet i figur 1 leder en ændring i management til denne undgåede emission. Man kan også tænke sig en situation, hvor jorden er i kulstofbalance. Her skal management opretholdes for at undgå en emission. Der er altså ikke tale om et virkemiddel, som skal tages i brug, men en praksis som skal videreføres. Klimaeffekten af en undgået emission repræsenterer netop det – at der ikke sker en øget udledning. Det er naturligvis vigtigt for ikke at øge CO₂ indholdet i atmosfæren.

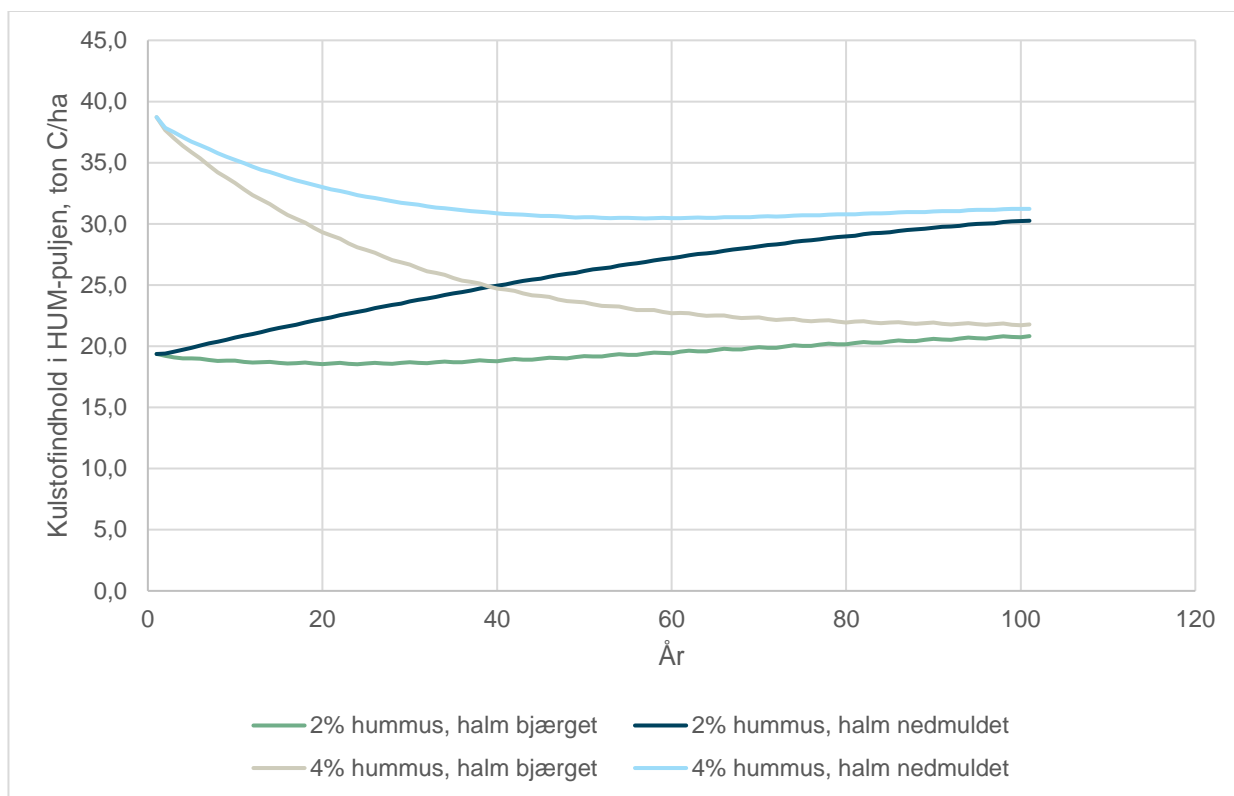
Kulstoflagring kan derimod fjerne CO₂ fra atmosfæren idet jorden kulstofpuljer netto øges. Effekten af dette er altså det, man til tider kan kalde en negativ emission. Det er uundgåeligt at landbrugsproduktion leder til emissioner af drivhusgasser. Derfor kan kulstoflagring være med til at neutralisere disse emissioner og således være en brik i at opnå "klimaneutralitet" i landbruget. Denne rolle kan undgåede emissioner ikke udgøre.

Det er derfor vigtigt at holde styr på, om der er tale om undgåede emissioner eller kulstoflagring.

Effekt af virkemidler beregnet med C-TOOL

I Danmark anvendes modellen C-TOOL (Taghizadeh-Toosi et al., 2014.) ofte til at beregne ændringer i kulstofpuljer. C-TOOL er en kulstofmodel, hvor jorden kulstof inddeles i tre puljer; fresh organic mater (FOM), humified organic matter (HUM) og resilient organic matter (ROM). ROM-puljen er meget stabil og påvirkes kun meget langsomt. HUM-puljen reagerer derimod på ændringer i management. Ud over en model for kulstofomsætning består C-TOOL af en allometrisk model, som beregner input af kulstof fra afgrøderester ud fra udbytte.

I figur 2 er effekten af at gå fra at bjerge alt halm til at nedmulde alt halmen i et korn-raps sædskifte på JB4. Effekten er vist både ved et udgangspunkt på 2% humus og 4% humus. Den totale ændring i kulstof i jorden er den samme ved de to udgangspunkter (9,4 t C/ha), men ved 2% humus er ændringen en kulstoflagring og ved 4% humus er ændringen en undgået emission.



Figur 2: Udvikling i kulstofindhold i HUM-puljen beregnet med C-værktøj (SEGES' version af C-TOOL) for halm bjergning/nedmuldning i et korn-raps sædskifte på JB4 ved henholdsvis 2 og 4% humus i jorden i udgangspunktet.

Opgørelse af effekter i praksis

Opgørelse af faktiske effekter af et virkemiddel i praksis ved at måle kulstofindholdet over tid er yderst vanskelig. For præcist at kunne bestemme effekten af et virkemiddel er det nødvendigt både at kende kulstofindholdet i udgangspunktet og at kende udviklingen i kulstofindholdet ved BAU. Kulstofindholdet i udgangspunktet kan med nogen præcision bestemmes ved målinger. På grund af den store heterogenitet i jorden på markniveau og de relative små ændringer i kulstofindhold over tid er det dog vanskeligt at detektere en ændring over tid. Som tidligere beskrevet er den egentlige effekt af et virkemiddel dog afhængigt af, hvordan BAU situationen ville have udviklet sig, og det kan i praksis ikke detekteres, da der ikke etableres en reference.

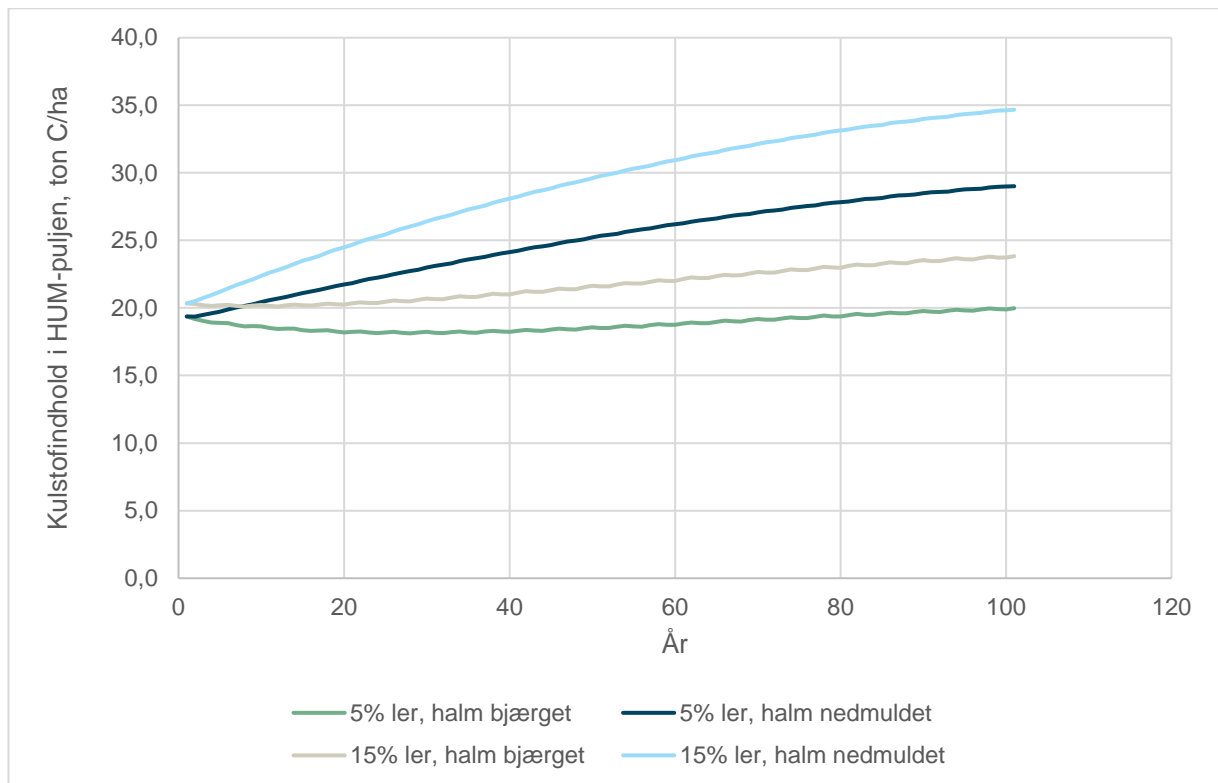
I eksemplet ovenfor er vist, at det samme tiltag kan give anledning til en ændring i jordens kulstofindhold af samme størrelsesorden, men ikke den samme effekt. Hvis effekten af virkemidlet bestemmes ved at måle forskellen i kulstofindhold over tid, vil effekten af halmnedmuldning overvurderes ved 2% udgangspunktet, mens effekten vil være negativ ved 4% udgangspunktet idet en undgået emission slet ikke kan måles, hvis der ikke er en reference.

I praksis vil det derfor formegentligt være nødvendigt at anvende modellering til at bestemme effekten på jordens kulstofindhold af et virkemiddel. En vurdering af om modelleringen rammer rigtigt kan foretages ved at måle på kulstofindholdet i jorden.

Aktivitets- eller resultatbaserede opgørelse af klimaeffekt

Som illustreret med C-TOOL beregningen ovenfor giver den samme indsats ikke den samme effekt i alle tilfælde fordi kulstofindholdet i udgangspunktet er vigtigt. I figur 3 ses et andet eksempel. Her er taget udgangspunkt i 2% humus i udgangspunktet i alle fire tilfælde, men lerindholdet er henholdsvis 5 og

15%. Det har dels en mindre effekt på det totale kulstofindhold i HUM-puljen i udgangspunktet, men mere tydeligt en effekt på udviklingen i kulstofindhold over tid. I denne beregning er udbyttet holdt konstant. Ofte vil det høje lerindhold også lede til højere udbytter og dermed en endnu større forskel. Den samme aktivitet vil altså give anledning til en lavere kulstoflagring ved et lavere lerindhold end ved et højere indhold.



Figur 3: Udvikling i kulstofindhold i HUM-puljen beregnet med C-værktøj (SEGES' version af C-TOOL) for halm bjærgning/nedmuldning i et korn-raps sædskifte ved henholdsvis 5 og 15% ler i jorden.

Ud fra et reguleringsperspektiv betyder det også at en resultatbaseret løsning, hvor landbrugere skal reguleres på baggrund af faktiske ændringer i kulstofindhold på markniveau giver forskellige forudsætninger. Forudsætningerne er dels historisk betingede i form af kulstofindholdet i udgangspunktet og hvorvidt jorden er i balance samt naturgivne i form af jordtype med videre. På en kvægbedrift som over tid har opbygget et højt kulstofindhold på grund af stør tilførsel af kvæggylle og en høj andel af græs i sædskiftet kan det være svært at øge indholdet yderligere. Til gengæld kan det argumenteres for at en fortsat praksis med husdyrgødning og græs giver anledning til en undgået emission.

Med en aktivitetsbaseret model for regulering kan landbrugerne i nogen grad sidestilles, ved at sige at en aktivitet svarer til en given effekt. Det betyder dog også, at der ikke skabes incitament til at gøre mest der, hvor effekten potentielt kan være størst. Det skyldes, at en aktivitetsbaseret model ikke tager højde for at effekten af et virkemiddel kan være forskellig på forskellige marker.

Det er desuden nødvendigt at være bevist om, også i reguleringsøjemed, om der er tale om undgåede emissioner eller kulstoflagring og om disse effekter skal sidestilles.

Opsamling

- Ændringer i kulstofindhold som følge af ændringer i management kan både give anledning til undgåede emissioner og netto kulstoflagring.
- Der er væsentligt at holde styr på, om management tiltag leder til undgåede emissioner eller netto kulstoflagring idet kun en netto kulstoflagring kan bidrage til "klimaneutralitet".
- Effekten af et virkemiddel på kulstofindholdet i jorden afhænger både af kulstofindholdet i udgangspunktet og af naturgivne faktorer så som jordtype.

- At bestemme effekten af et virkemiddel i praksis ved at måle udviklingen i kulstofindholdet er vanskeligt – ikke mindst fordi BAU situationen ikke er kendt og undgåede emissioner derfor ikke kan dokumenteres udelukkende ved måling. Det er derfor nødvendigt også at modellere udviklingen.
- En aktivitetsbaseret reguleringsmodel vil stille landbrugerne mest lige, men sikrer ikke, at indsatserne gøres, hvor de har størst effekt. En resultatbaseret mode betyder imidlertid at landbrugerne er stillet meget forskelligt ide historik og f.eks. jordtype er betydningsfulde.

Referencer

Don, A., Seidel, F., Leifeld, J., Kätterer, T., Martin, M., Pellerin, S., Emde, D., Seitz, D., & Chenu, C. (2024). Carbon sequestration in soils and climate change mitigation—Definitions and pitfalls. *Global Change Biology*, 30, e16983. <https://doi.org/10.1111/gcb.16983>

Arezoo Taghizadeh-Toosi, Bent T. Christensen, Nicholas J. Hutchings, Jonas Vejlin, Thomas Kätterer, Margaret Glendining, Jørgen E. Olesen, (2014). C-TOOL: A simple model for simulating whole-profile carbon storage in temperate agricultural soils, *Ecological Modelling*, 292, pp. 11-25, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.08.016>.