

Ændringer i dansk landbrugsjords kulstofindhold

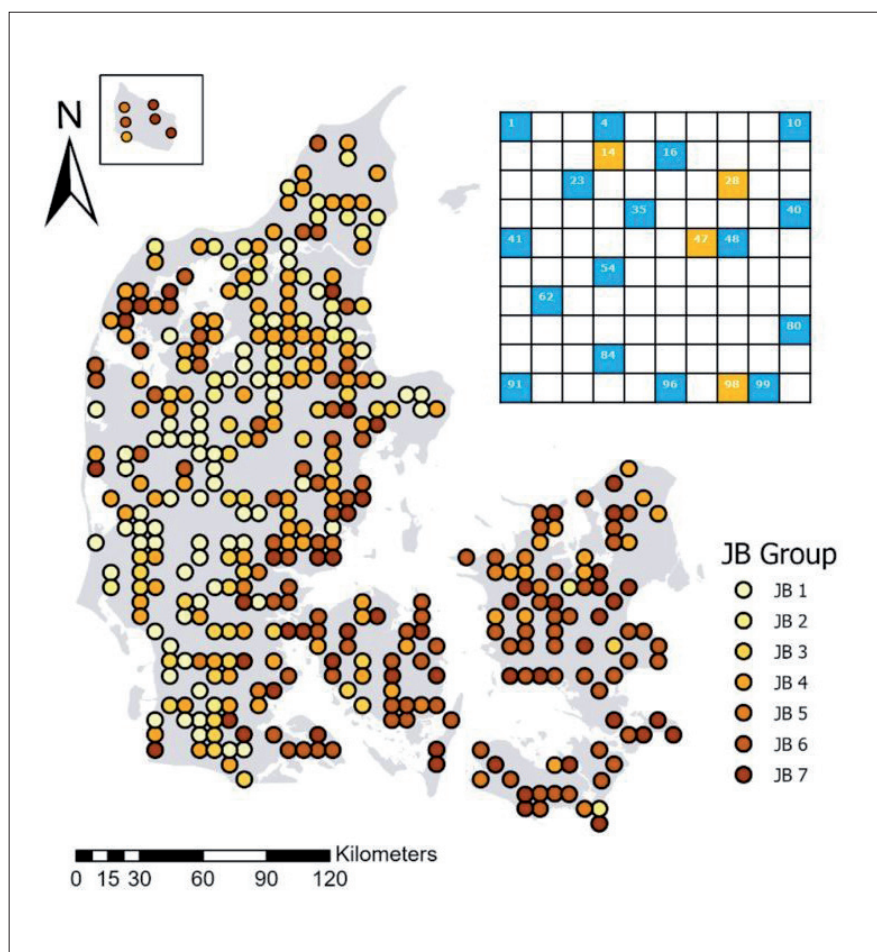
Kulstoffets kredsløb, især CO₂, spiller en stor rolle for klimaforandringer. Landbruget er en stor spiller når det kommer udledninger af klimagasser, og selv små ændringer i jordens kulstofpulje kan påvirke balancen i klimapåvirkningen. Men både de bagvedliggende mekanismer og metoderne til at opgøre størrelsen og ændringerne i jordens kulstofpulje er komplekse.

Laura Sofie Harbo, Lars Elsgaard
& Jørgen E. Olesen

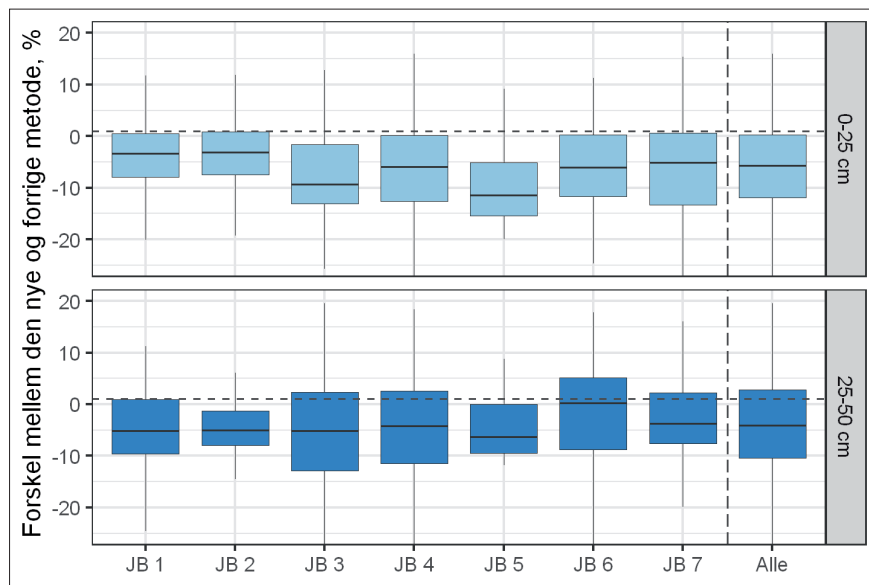
Kulstoffets betydning for jord og klima

Der er i stigende grad fokus på jordens indhold af organisk kulstof (C), idet kulstoffets kredsløb har væsentligt betydning for atmosfærens CO₂ indhold, og dermed for klimaforandringer. I jorden findes kulstof som organisk stof, der stammer fra planterester og andet tilført organisk materiale, i forskellige stadier af nedbrydning. Dette organiske stof har stor betydning for jordens struktur og evne til at tilbageholde vand, både i tørre perioder og i perioder med store mængder nedbør. Det organiske materiale bidrager også til mikrolivet i jorden, hvor svampe og bakterier nedbryder organisk stof og frigiver plantenæringsstoffer, og derved bidrager til at opretholde produktivitet i landbrugets planteproduktion.

Det organiske materiale i jord udgør en stor pulje af kulstof, der for en mineraljord typisk kan være på 1-2% på vægtbasis i overjorden eller svarende til et niveau på 100 tons C per hektar til 1 m dybde /1/. Jorden lagrer altså kulstof, og kan derigennem potentielt reducere mængden af CO₂ i atmosfæren. Jorden kan dog også miste kulstof i form af CO₂ fra mikrobiel nedbrydning og derved bidrage til klimaforandringer. Derfor bruges estimer



Figur 1. Punkter i kvadratnettet, hvor der blev taget prøver i både 2008 og 2018. Punkternes farve viser jordtypen (JB nummer), baseret på teksturanalyse af overjorden (0-25 cm). Det indsatte kvadrat (50 m x 50 m) viser de underfelter (5 x 5 m), hvoraf 16 anvendes til måling af jordens kulstofprocent (blå felter) og fire anvendes til måling af stenindhold og volumen-vægt i dybderne 0-25 cm og 25-50 cm (gule felter).



Figur 2. Procentvis forskel mellem estimater af jordens kulstofindhold i kvadratnettet, beregnet uden og med kendskab til jordens stenindhold og sted-specifikke volumenvægt. Data er vist som boksplot for de enkelte JB typer og for alle jorde. Den sorte vandrette streg angiver medianværdien, den blå boks angiver grænsen for den øvre og nedre kvartil (halvdelen af observationerne) og 'halerne' angiver 1,5 interkvartil afstand eller til den yderligste observation.

for ændringer i mængden af kulstof i jorden i det danske klimaregnskab, hvor en eventuel stigning i kulstofindholdet i jorden kan være med til at kompensere for andre udledninger. Det er derfor essentielt at have så troværdige og præcise estimater som muligt både for mængden af organisk kulstof i jorden, og for de ændringer der sker i jordens kulstofpulje.

Kulstof i dansk landbrugsjord

I 1986 etablerede Landskontoret for Planteavl (nu SEGES) et landsdækkende netværk af ca. 830 målepunkter med en afstand på 7 km x 7 km (Kvadratnettet), hvoraf ca. 600 var beliggende på marker i landbrugsmæssig omdrift /2/. De landbrugsmæssige jorder i Kvadratnet-

tet bruges primært til måling jordens indhold af mineralsk kvælstof (Nmin), men i 1986 og siden tre gange (1997, 2008, 2018) er der indsamlet jordprøver til analyse af jordens kulstofkoncentration. I alle årene er der indsamlet prøver fra 0-25 og 25-50 cm dybde, og i nogle år er der også indsamlet prøver fra 50-100 cm dybde. Derved er det i princippet muligt at beregne mængden af kulstof per hektar, og hvilke ændringer, der sker over tid i jordens kulstofindhold.

Der er dog en række faktorer, der i praksis komplicerer disse beregninger. For det første er det vigtigt at have en præcis måling af kulstofprocenten i jorden. Det organiske materiale i jord er meget ujævnt fordelt, og derfor kan selv en lille forskydning af et målepunkt introducere usikkerheder i estimaterne. Dernæst skal man kende jordens volumenvægt, samt jordens stenindhold for præcist at kunne beregne kulstofindholdet i tons per hektar. Prøvetagning og analyser er altid forbundet med visse usikkerheder. Denne usikkerhed kan reduceres ved at tage prøver fra mange prøvesteder og ved at sikre, at der benyttes de samme prøvesteder hver gang. Det er derfor essentielt at genfinde prøvepunkter med stor præcision for at målingerne reflekterer ændringer i tid og ikke ændringer i rum, og her kan præcise GPS målinger gøre en stor forskel.

Opdateringer til metode

I den nye metode til indsamling af jordprøver blev der i 2008 udtaget delprøver med et jord-

spyd i 16 felter (5 m x 5 m; vist som blå felter i Figur 1), der var beliggende i et større gitter på 50 m x 50 m, som var afsat med GPS. Hver prøve fra de 16 felter blev inddelt i dybder (0-25 cm for overjorden, 25-50 cm og 50-100 cm for underjorden), og de 16 jordprøver fra hver dybde blev puljet til én samlet analyseprøve for hvert punkt og dybde.

I 2018 blev der på samme måde udtaget jordprøver til kulstofanalyse, og yderligere blev der udtaget volumenfaste (100 cm³) jordprøver i 0-25 cm og 25-50 cm dybde fra fire andre felter (vist som gule felter i Figur 1) til bestemmelse af jordens stenindhold og volumenvægt. Stenindholdet beregnes som den fraktion af jordens volumen, der optages af sten (større end 2 mm), og bruges til at justere estimatet for kulstofindholdet i jorden, idet sten ikke indeholder organisk materiale. De sted-specifikke volumenvægte erstatter en gennemsnitlig volumenvægt for de forskellige JB jordtyper, der indgår i undersøgelsen (se Boks 1 om JB typer).

Ved at bruge de nye informationer omkring jordens volumenvægt og stenindhold bliver estimatet for mængden af organisk materiale i jorden mere præcist, og denne metode kan også bruges til at justere estimaterne for tidligere prøvetagninger, hvis det antages at jordens volumenvægt og stenindhold forbliver uændret.

Betydning af stenindhold og volumenvægt

Både de sted-specifikke volumenvægte og stenfraktioner bidrager til at justere estimatet for kulstof i jorden. I gennemsnit er kulstofindholdet med den nye metode 5% lavere end for den forrige metode, der benyttede gennemsnitlige volumenvægte og ikke tøj højde for stenindhold (Figur 2). Afvigelse varierer dog meget mellem punkter, afhængigt af stenindhold og volumenvægt.

Hvis stenfraktionen udelades i beregningen vil det altid medføre et overestimat af jordens kulstofpulje, idet jordens faktiske volumen reduceres proportionalt med dens stenfraktion. Derfor vil en jord med stort stenindhold opnå et lavere estimat med den nye metode. Den gennemsnitlige stenfraktion for alle punkterne er 2,7%. Derved er den gennemsnitlige effekt af at inkludere stenfraktionen et 2,7% lavere estimat af jordens kulstofpulje. Denne effekt er typisk større for de lerede jorde, hvor stenindholdet typisk er højere.

Effekten af at anvende sted-specifikke volumenvægte til at beregne jordens kulstofpulje afhænger af hvor forskellig den lokale volumenvægt er fra jordtypens gennemsnitlige volumenvægt. Derfor kan brugen af målt volu-

Tabel 1. På baggrund af teksturanalyser inddeles danske jordtyper i klasserne JB1 til JB12, som beskrevet i Den danske Jordklassificering /5/. Tilsammen dækker JB klasserne fra JB1 til JB7 omkring 99% af det danske landbrugsareal på mineralisk jord ($\leq 10\%$ humus), hvor JB1 er grovsandet jord og JB7 er lerjord.

Jordtype	JB-nr.	Vægtprocent					Humus 58,7% C	Kalk CaCO ₃	
		Ler < 2 μm	Silt 2-20 μm	Finsand 20-200 μm	Total sand 20-2000 μm				
Grovsandet jord	1	0-5	0-20	0-50	75-100	≤ 10	≤ 10		
Finsandet jord	2			50-100					
Lerblandet sandjord	3	5-10	0-25	0-40	65-95				
	4			40-95					
Sandblandet lerjord	5	10-15	0-30	0-40	55-90				
	6			40-90					
Lerjord	7	15-25	0-35		40-85				
Svær lerjord og siltjord	8	25-45	0-45		10-75				
	9	45-100	0-50		0-55				
	10	0-50	20-100		0-80				
Humusjord	11							> 10	10-90
Kalkholdig jord og atypisk jord	12							≤ 10	> 10

men vægt ikke entydigt siges at give en stigning eller reduktion i estimatets størrelse. Over 50 % af punkterne har en volumenvægt, der afviger mere end $\pm 5\%$ fra jordtypens gennemsnit, og mere end 25 % af punkterne har en afvigelse på mere end $\pm 10\%$.

Estimater og ændringer i jordens kulstofindhold fra 2008 til 2018

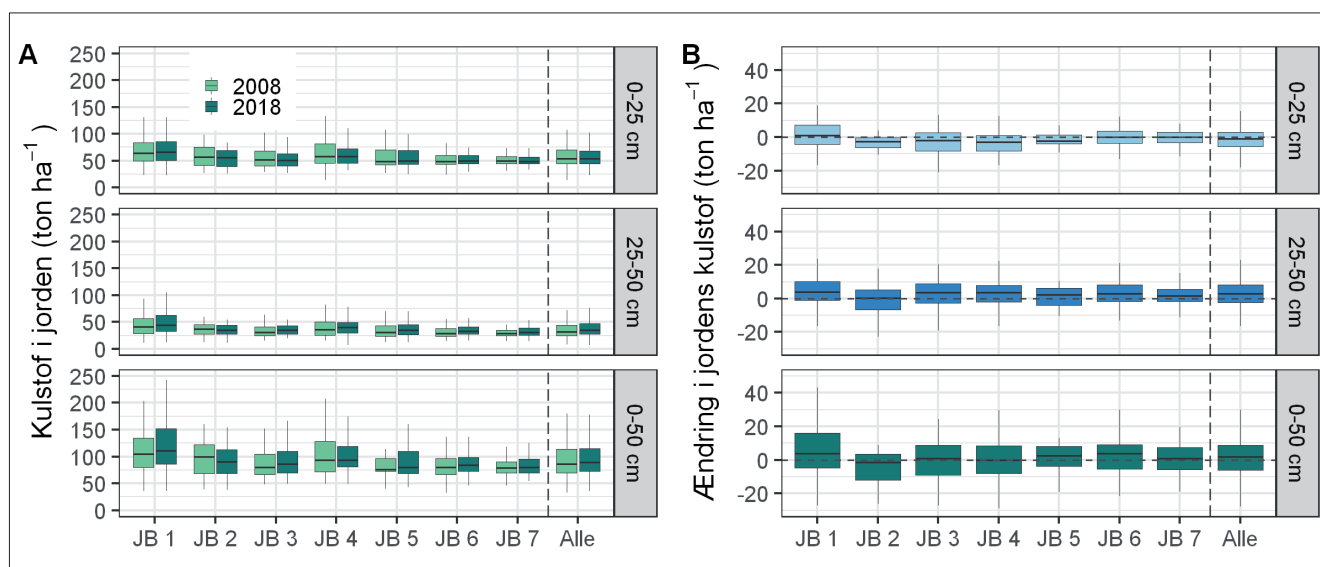
Estimater af jordens kulstofindhold i 2008 og 2018 viser, at ændringerne i jordens kulstofindhold er ikke ensartet i dybden; overordnet set er der et lille tab af kulstof i overjorden, som opvejes af en stigning i kulstofindhold i underjorden (Figur 3B). Dette ses for alle JB kategorier bortset fra JB2, hvor

begge dybder i gennemsnit viser et fald i kulstofindhold mellem 2008 og 2018. Årsagen til stigningen i 25-50 cm dybde kendes ikke, men en medvirkende årsag kunne være den mere udbredte dyrkning af efterafgrøder i perioden, da kulstofinput til underjorden primært kommer fra afsætning fra planterødder, og efterafgrøder medvirker til at øge denne afsætning. Vi mangler dog bedre viden om mængderne og stabiliseringen af det kulstof, der afsættes i underjorden via planterødder for at kunne drage yderligere konklusioner.

Generelt ses der lidt større kulstofpuljer i de sandede jorde (JB1), mens de mere lerede jorde (JB7) indeholder mindst kulstof. Dette afviger fra en generel forventning om at lerede

jorde har større kulstofpuljer, som man ser i andre internationale studier /3/. Lerpartikler i jorden har større evne til at forme et fysisk-kemisk bånd med det organiske materiale, som derved bliver beskyttet mod mikrobiel nedbrydning, så denne proces forløber langsommere.

Grunden til at vi ser de forskellige kulstofindhold i JB1 og JB7 jorderne kan blandt andet hænge sammen med hvilke former for landbrug, der typisk drives på de forskellige jordtyper. På sandjorderne i den vestlige, sydlige og centrale dele af Jylland (Figur 1) er der en mere udbredt kvæghold med græsmarker og tilførsel af kvæggødning, som kan bidrage til at opbygge jordens kulstofpulje. Desuden



Figur 3. A: Estimater for jordens organiske kulstofindhold i dybderne 0-25 cm, 25-50 cm og 0-50 cm i kvadratnettet i 2008 og 2018. B: Estimater for ændringerne i jordens kulstofindhold fra 2008 til 2018 i dybderne 0-25 cm, 25-50 cm og 0-50 cm. Data er vist som boksplot for de enkelte JB jordtyper og for alle jorde.

har en del af de jyske sandjorder et indhold af svært omsætteligt organisk materiale i jorden, formentlig knyttet til de tidligere hede- og lyngarealer.

Potentiale for lagring og tab af kulstof

Der er en negativ relation mellem størrelsen på kulstofpuljen i 2008 og ændringen i kulstofpuljen mellem 2008 og 2018. Dette hænger sammen med, at jorder med meget små kulstofpuljer ikke har meget at tabe, og at kulstoffet i disse jorde formentligt også er sværere at tabe, blandt andet på grund af fysisk-kemiske interaktioner med jordens mineralske fraktioner /4/.

Jorder med store kulstofpuljer er generelt mere sårbare over for tab af kulstof. For at kulstofpuljen i jorden skal øges, må der tilføres mere organisk materiale, end der nedbrydes i jorden, for eksempel via plantemateriale eller organisk gødninger. Mængden af organisk materiale, der er nødvendig for at opretholde jordens kulstofpulje, er proportionel med kulstofpuljens størrelse, da tabet af kulstof ved mikrobiel respiration stiger med mængden af omsætteligt organisk stof i jorden. Derfor bliver det sværere at forøge kulstofpuljen i jorden, hvis denne allerede er relativt høj. Dette skyldes også, at de mekanismer, der beskytter jordens kulstof mod mikrobiel omsætning, ser ud til at have en øvre grænse, så der er et maksimum for hvor meget kulstof, der kan opbygges i de fysisk-kemisk beskyttede puljer. Dette er blandt andet vist i langvarige forsøg, hvor et drift-system omlægges fra korndyrkning med årlig ompløjning til vedvarende græs /3/. Her stiger jordens kulstofindhold i

de første år næsten lineært, men denne stigning aftager asymptotisk med tiden og efter en årrække på måske 20-30 år, har jorden nået en ligevægt, hvor kulstofindholdet ikke længere øges /6/. Jorder med højt kulstofindhold er derfor sårbare over for tab af kulstof, idet det bliver sværere og sværere at tilføje nok organisk materiale for at opretholde kulstofpuljen, end sige at skabe yderligere vækst i kulstofpuljen.

Perspektivering

Lagring af organisk kulstof i dyrket jord har et potentiale til at nedbringe atmosfærens indhold af CO₂. Det er dog forbundet med betydelig usikkerhed at opgøre årlige ændringer i jordens kulstofpulje, og dermed bidraget til en klimagevinst. Dette skyldes dels metodemæssige forhold omkring prøveindsamling, analyser og beregning af kulstofindhold. Men det skyldes også, at de årlige ændringer i jordens kulstofindhold typisk kun udgør mindre end 1% af den kulstofpulje, der i forvejen findes i jorden. Det betyder i praksis, at der skal gå en længere årrække inden to på hinanden følgende målinger kan vise en statistisk signifikant tendens. Men disse lange tidsintervaller (fx 10 år i Kvadratnettet) betyder samtidigt, at de tendenser, der kan udledes, hviler på kun få observationer. For at opnå et mere robust kendskab til udviklingen i jordens kulstofindhold, er det påkrævet at måle med større hyppighed end hvert tiende år, også selvom ændringerne kun foregår langsomt, og selvom målinger fx hvert tredje år er forbundet med en stor indsats.

Referencer:

- /1/ Taghizadeh-Toosi, A., Olesen, J. E., Kristensen, K., Elsgaard, L., Østergaard, H. S., Lægdsmand, M., Greve, M. H., & Christensen, B. T. (2014). Changes in carbon stocks of Danish agricultural mineral soils between 1986 and 2009. *European Journal of Soil Science*, 65, 730–740.
- /2/ Østergaard H.S., Mamsen P. (1990). Kvadratnet for nitratundersøgelser i Danmark – oversigt 1986-1989. Landbrugets Rågivningscenter, Landskontoret for Planteavl.
- /3/ Johnston E., Poulton P.R., Coleman K. (2009). Soil Organic Matter: Its Importance in Sustainable Agriculture and Carbon Dioxide Fluxes. In: *Advances in Agronomy* (D.L. Sparks, Ed.), Volume 101, pp. 1-57. Academic Press.
- /4/ Lavalée, JM, Soong, JL, Cotrufo, MF. Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century. *Glob Change Biol.* 2020; 26: 261– 273.
- /5/ Madsen, H.B., Nørr, A.H., Aagaard Holst, K. (1992). Den danske jordklassificering. Atlas over Danmark (Kingo Jacobsen, N., ed.), Serie 1, Bd. 3. C.A. Reitzel, København.
- /6/ Johnston, A. E. (1986). Soil organic matter, effects on soils and crops. *Soil Use Management*, 2: 97-105

LAURA SOFIE HARBO, lauraharbo@agro.au.dk, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet & Sino-Danish College, Beijing, Kina

LARS ELSGAARD, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet
JØRGEN E. OLESEN, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet