

# Status og udvikling i kulstofindholdet i mineraljorde

---

Rådgivningsnotat fra DCA – National Center for Fødevarer og Jordbrug

Lars Elsgaard<sup>1</sup>, Laura Sofie Harbo<sup>1</sup>, Lars J. Munkholm<sup>1</sup>, Steen Gyldenkærne<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut for Agroøkologi

<sup>2</sup>Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet

# Datablad

---

Titel:	Status og udvikling i kulstofindholdet i mineraljorde
Forfatter(e):	Lektor Lars Elsgaard, ph.d.-studerende Laura Sofie Harbo, professor Lars J. Munkholm, Institut for Agroøkologi, AU og seniorforsker Steen Gyldenkærne, Institut for Miljøvidenskab, AU
Fagfællebedømmelse:	Professor Jørgen Eriksen, Institut for Agroøkologi, AU
Kvalitetssikring, DCA:	Chefkonsulent Lene Hegelund, DCA Centerenheden, AU
Rekvirent:	Landbrugsstyrelsen, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (FVM)
Dato for bestilling/levering:	29.11.2022 / 05.12.2022
Journalnummer:	2022-0463997
Finansiering:	Besvarelsen er udarbejdet som led i "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening" indgået mellem Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (FVM) og Aarhus Universitet under ID nr. 2.08 i "Ydelsesaftale Planteproduktion 2022-2025".
Ekstern kommentering:	Nej.
Eksterne bidrag:	Nej.
Kommentarer til besvarelse:	Notatet præsenterer resultater, som ved notatets udgivelse ikke har været i eksternt peer review eller er publiceret andre steder. Ved en evt. senere publicering i tidsskrifter med eksternt peer review vil der derfor kunne forekomme ændringer.
Citeres som:	Elsgaard L, Harbo LS, Munkholm LJ, Gyldenkærne S. 2022. Status og udvikling i kulstofindholdet i mineraljorde. 8 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 05.12.2022.
Rådgivning fra DCA:	Læs mere på <a href="https://dca.au.dk/raadgivning/">https://dca.au.dk/raadgivning/</a>

## Baggrund

Landbrugsstyrelsen (LBST) er i gang med at vurdere omfanget af EU Kommissionens udkast til Forordning om Naturgenopretning. Dele af udkastet vedrører landbrugsområdet, bl.a. at medlemsstaterne skal opnå "en voksende tendens på nationalt niveau for lager af organisk kulstof i dyrket mineraljord". Da der tale om et forordningsudkast, har LBST behov for at vurdere omfanget af udkastet. Derfor har LBST brug for AUs bidrag vedr. status og udvikling i kulstofindholdet i mineraljorde.

LBST ønsker svar på følgende spørgsmål:

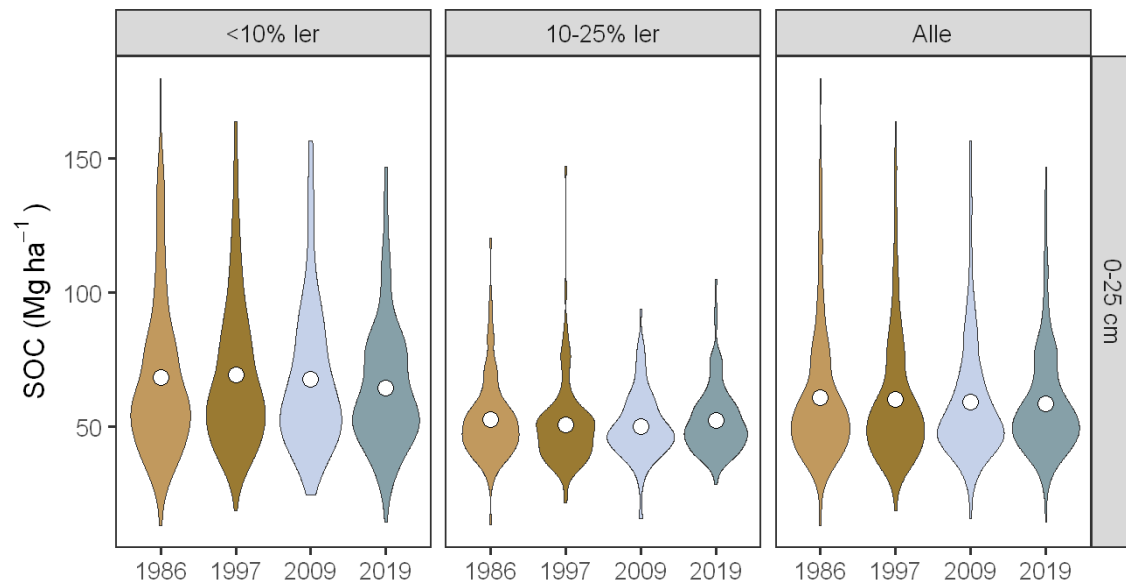
1. Hvor stort er indholdet af organisk kulstof i dyrket mineraljord på nationalt niveau (målt i ton organisk kulstof/ha (som angivet i bilag IV, side 29))?
2. Hvordan forventes kulstofindholdet at ændre sig frem mod 2030?
3. Hvad kan gøres for at øge kulstofindholdet? Herunder en vurdering af barrierer og omkostninger forbundet med at øge kulstofindholdet i mineraljorde
4. Med hvilken kadence giver det mening at afrapportere ændringer i jorden indhold af organisk kulstof? ("stock of organic carbon in cropland mineral soils"; Art. 9, stk. 2, litra (b); betragtning 54 og 55 (side 40 i forordningsudkastet)) Kommissionen foreslår i nævnte reference en kadence med afrapportering hvert 3. år. Såfremt det er muligt efterspørges også en vurdering af, hvilke udgifter der kan forventes ved en højere kadence af målekampagner, og hvilke udgifter der kan forventes ved at monitorere udviklingen i kulstofindholdet i mineraljorde med eksempelvis 3,5 og 10 års kadence?

## Besvarelse

### 1. Hvor stort er indholdet af organisk kulstof i dyrket mineraljord på nationalt niveau (målt i ton organisk kulstof/ha (som angivet i bilag IV, side 29))?

I 1986 etablerede Landbrugets Rågivningscenter (nu SEGES Innovation) 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 (Østergaard og Mamsen, 1990). De landbrugsmæssige jorde i Kvadratnettet bruges primært til måling jordens indhold af mineralsk kvælstof ( $N_{min}$ ), men i 1986 og siden tre gange (1997, 2008, 2019) 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. Resultaterne af disse undersøgelser er senest beskrevet af Taghizadeh-Toosi et al. (2014), Harbo et al. (2021, 2022) og Harbo et al. (submitted).

Indholdet af organisk kulstof i dyrket mineraljord på nationalt niveau, målt i ton (Mg) organisk kulstof per ha (0-25 cm), er vist på Figur 1 med baggrund i målinger i Kvadratnettet i perioden 1986-2019. Gennemsnitsværdierne på tværs af sandede og lerede jordtyper er hhv. 60, 60, 59 og 59 Mg C ha<sup>-1</sup> i årene 1986, 1997, 2009 og 2019.



Figur 1. Violin plot af indholdet af organisk kulstof ( $\text{Mg SOC ha}^{-1}$ ) i landbrugsjorde i Kvadratnettet (0-25 cm), målt i 1986, 1997, 2009 og 2019 for sites der blev prøvetaget i alle fire år ( $n = 229$ ). Data er opdelt på typerne sandjord, <10% ler (Sand, JB1-JB4;  $n = 117$ ) og lerede jorde, 10-25% ler (Loam, JB5-JB7;  $n = 112$ ). De hvide punkter angiver gennemsnit. Bredden på violinplottet indikerer hyppigheden af de målte SOC indhold; der hvor plottet er tykt, er der mange observationer og der, hvor det er smalt, er der få. SOC, Soil Organic Carbon. Data fra Harbo et al. (submitted).

Bilag IV (side 29) i forslaget til Forordning om naturgenopretning angiver, at beholdningen af organisk kulstof i mineraljord i 0-30 cm dybde skal benyttes som en biodiversitetsindikator. I den bagvedliggende litteratur, der henvises til i forordningsudkastet (side 29), er det diskuteret, hvorvidt det er 0-20 cm eller 0-30, der bør benyttes som det valgte dybdeinterval (Jones et al. 2022). Fra dansk side er det hensigtsmæssigt at fortsætte med opgørelse i 0-25 cm dybde, så vi kan bygge videre på de tidligere empiriske data uden at interpolere. Det skal desuden bemærkes, at der i dansk kontekst skelnes mellem mineralske jorde og organiske jorde ved et skæringspunkt på 6% organisk kulstof. Dette er også tilfældet for de analyser, der er foretaget af organisk kulstof i kvadratnettet. Andre europæiske lande, som har organiske jorde, har et højere SOC indhold som skæringspunkt. Definitionerne kan være forskellige, men typisk vil jorde med 6-12% SOC ikke blive kategoriserede som organiske jorde f.eks. i IPCC's definitioner (IPCC, 2006).

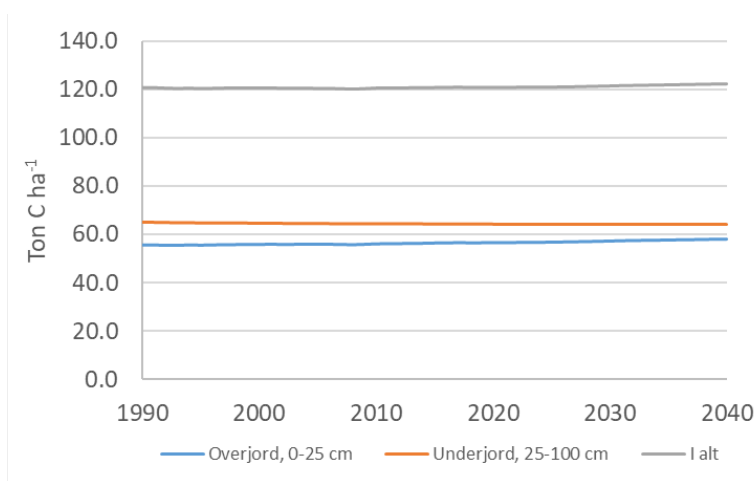
I forhold til omfanget af jorde med 6-12% organisk kulstof udgør disse 3,7 % af landbrugsarealet i Danmark, opgjort i 2018 (Tabel 1). For disse jorde gælder generelt at indholdet af organisk kulstof er faldende over tid, da hastigheden af mineralisering til  $\text{CO}_2$  overstiger den hastighed hvormed, der kan opbygges stabilt kulstof i jorden ved dyrkningsforanstaltninger.

Tabel 1. Areal (tusind ha) i hver kulstofklasse inden for landbrugsarealet opgjort for 2018. Arealet i hver klasse er også angivet i procent af det samlede areal. Skæringsværdierne mellem hver klasse indgår i det nedre af de to intervaller, som de afgrænser. OC, organisk kulstof. Data fra Greve et al. (2021).

Areal	<3% OC	3-6% OC	6-12% OC	>12% OC
1000 ha	2286	201	98	73
Procent	86,0%	7,6%	3,7%	2,8%

## 2. Hvordan forventes kulstofindholdet at ændre sig frem mod 2030?

I forbindelse med de årlige klimafremskrivninger fortager DCE fremskrivninger af mineraljordenes C indhold med forskellige scenarier med en dynamisk modellering (C-TOOL), senest i forbindelse med Klimafremskrivningen for 2022, KF22. C-TOOL opsætningen er lig den der anvendes i de nationale opgørelser til UNFCCC kombineret med en frozen policy scenarie, dvs. besluttede virkemidler kombineret med forventning til fremtidige høstudbytter samt klima (KF22 Basis). Klimadata til fremskrivningen er foretaget af DMI.



Figur 2. Beregnede arealvægtede ændringer i de mineralske landbrugsjordes C-indhold. Den blå linje er i overjorden, 0-25 cm, og den røde linje er i underjorden, 25-100 cm. Data fra den nationale drivhusgasopgørelse samt Klimafremskrivningen for 2022, KF22.

Som det fremgår af Figur 2 er der samlet set beregnet et uændret vægtet C-indhold i hele profilen (faktuel stigning på 0,01 %) i den samlede kulstofpulje fra 1990 frem til 2020, som er seneste opgørelse. Tallene fra 2021 og frem er baseret på KF22 basisscenariet. Fra 2020 og frem til 2030 forventes det gennemsnitlige arealvægtede C-indhold i hele profilen at stige med 0,49 ton C ha<sup>-1</sup> svarende til en stigning på 0,4 %. Dette er fordelt på et lille fald i underjorden og en stigning i overjorden. For overjorden er den beregnede stigning 0,61 ton C ha<sup>-1</sup> og for underjorden et fald på 0,12 ton C ha<sup>-1</sup>. Den forventede ændring/stigning frem mod 2030 skyldes primært forventede stigende udbytter, et øget areal med efterafgrøder kombineret med et uændret absolut halmudtag til foder, strøelse og energiformål i forhold til historisk udtagning.

### 3. Hvad kan gøres for at øge kulstofindholdet? Herunder en vurdering af barrierer og omkostninger forbundet med at øge kulstofindholdet i mineraljorde

Forøgelse af jordens kulstofindhold kan gøres ved at øge kulstoftilførslen til jorden og/eller ved at begrænse omsætningen af jordens organiske stof. Effektive virkemidler til at øge kulstoftilførslen har fokus på at øge biomasseproduktionen og afsætningen af kulstof i plantedele, som ikke høstes eller fjernes, herunder især i rodsystemet. Disse omfatter anvendelse af flerårige afgrøder som græs (frøgræs, fodergræs, brak og bioraffinering) og energiafgrøder samt efterafgrøder og mellemafgrøder (Andersen et al. 2022a). Særligt de flerårige afgrøder er effektive til at øge kulstoflagringen. Der henvises til klimatabellen (Andersen et al., 2022a) for et estimat af effekterne af de enkelte virkemidler.

Barriererne for en øget brug af græs er først og fremmest driftsøkonomiske. På kvægbrug konkurrerer græs med majs og helsæd og frøgræs konkurrerer med korn, bælgsgødning og raps. I forhold til anvendelse af græs til bioraffinering er der endvidere barrierer i forhold til mangel på teknologi og anlæg. I forhold til øget anvendelse af efter- og mellemafgrøder er der barrierer i forhold til driftsøkonomi. Først og fremmest er der omkostninger ved etablering af disse, og for efterafgrødernes vedkommende dyrkes der som regel vårsæd efterfølgende, som normalt har et lavere udbyttepotentiale end vintersæd.

For alle virkemidlerne gælder, at der forventes en lagringseffekt i en periode indtil en ny ligevægt opstår (Jensen et al., 2022a,b). Lagringseffekten vil endvidere afhænge af kulstofindholdet ved opstart (Peltre et al., 2016). Der forventes en større lagringseffekt ved lavt i forhold til højt kulstofindholdet i udgangspunktet. Der mangler særligt viden om den tidlige udvikling i kulstoflagringen efter ændring i dyrkningspraksis – hvor meget lagres/tages i løbet af de første år? hvor lang tid går der, før en ny ligevægt opstår? og hvad er lagringspotentialer ved den nye ligevægt? Jordtypen har også betydning for potentialer for kulstoflagring. Lerede jorde stabiliserer generelt set kulstof bedre end sandede jorde, som følge af binding til jordens partikler.

I forhold til at mindske omsætningen af organisk stof i jorden er der potentialer i at omdanne halm og husdyrgødning til svært omsætteligt biokul (ved pyrolyse) som derefter returneres landbrugsjorden (Andersen et al., 2022a). En væsentlig barriere for udnyttelse af halm og husdyrgødning til pyrolyse er mangel på anlæg med den rette teknologi og kapacitet. Desuden vil der være konkurrence om halmen til andre formål såsom foder, strøelse, afbrænding til energi samt til jordbeskyttelse i marken. I forhold til anvendelse af biokul til at øge jordens indhold af organisk kulstof (SOC), bør det dog overvejes om dette vil være et acceptabelt virkemiddel i forhold intentionerne i EU Kommissionens udkast til Forordning om Naturgenopretning, hvor SOC skal benyttes som en biodiversitetsindikator. Det er nødvendigt at undersøge, hvordan biokul påvirker jordens biodiversitet.

Det bør endvidere nævnes, at klimaforandringerne skal tages i betragtning i forhold til kulstoflagring i jord og effekten af diverse virkemidler (Andersen et al., 2022b). Højere temperaturer øger omsætningen af organisk stof i jorden med et fald i kulstofindholdet til følge. Om klimaforandringerne reelt giver et fald i kulstofindholdet vil dog stærkt afhænge af om de forbedrede vækstbetingelser i et varmere klima – særligt for plantevækst i vinterhalvåret – udnyttes fuldt ud til at øge biomasseproduktionen. Der er stærkt brug for undersøgelser, som sætter tal på samspillet mellem klimaforandringer og virkemidler til at øge kulstoflagringen.

4. Med hvilken kadence giver det mening at afrapportere ændringer i jorden indhold af organisk kulstof? ("stock of organic carbon in cropland mineral soils"; Art. 9, stk. 2, litra (b); betragtning 54 og 55 (side 40 i forordningsudkastet)) Kommissionen foreslår i nævnte reference en kadence med afrapportering hvert 3. år. Såfremt det er muligt efterspørges også en vurdering af, hvilke udgifter der kan forventes ved en højere kadence af målekampagner, og hvilke udgifter der kan forventes ved at monitorere udviklingen i kulstofindholdet i mineraljorde med eksempelvis 3,5 og 10 års kadence?

I forbindelse med AU's opgørelse af data fra kvadratnettet har Harbo et al. (2021) for nyligt fremsat overvejelser, der flugter med det forslag, der nævnes ovenfor fra Kommissionen. Baggrunden er, at det er 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. Flere målinger taget over kortere tid kan dog støtte hinanden i at vise en udvikling i jordens kulstof indhold. Med de lange tidsintervaller, som er benyttet i Kvadratnettet (ca. 10 år mellem målinger), er der kun få punkter til rådighed til at lave en kurve over udviklingen. Derfor, for at opnå et mere sikkert kendskab til udviklingen i jordens kulstofindhold, er det påkrævet at måle med større hyppighed end hver tiende år, også selvom ændringerne kun foregår langsomt, og selvom målinger f.eks. hvert tredje år er forbundet med en stor indsats.

Det vil være hensigtsmæssigt fortsat at benytte kvadratnettet som udgangspunkt for at måle ændringer i jordens indhold af organisk kulstof. Det bør dog overvejes at gøre arbejdet mere operationelt ved at begrænse prøvetagningen til den øverste halve meter (0-25 og 25-50 cm) i stedet for prøvetagning til en meters dybde. Det er også i den øverste halve meter, at de største puljer og ændringer i det organiske kulstofindhold forekommer. Det er ligeledes i den dybde (0-25 cm og 25-50 cm), at det er muligt at udtage volumenfaste prøver i intakt lejring til bestemmelse af volumenvægt, uden at skulle benytte destruktive arbejdsmetoder. Denne parameter (volumenvægt) er vigtig for at beregne det arealbaserede kulstofindhold.

Med udgangspunkt i det set-up, der var omkring planlægning, udtagning, forbehandling, analyser, databehandling og afrapportering ved seneste kvadratnets-undersøgelse, der omfattede knap 400 marker over hele Danmark, er det en foreløbig vurdering, at en sådan monitoringsindsats kræver et budget på mellem 4-5 mio. kr. pr. gang forudsat, at der indsamles og analyseres jordprøver fra de to dybder 0-25 og 25-50 cm. Dette kan tages som udgangspunkt for at beregne hvad den økonomiske ramme være i forhold til at monitorere med fx 3, 5 og 10 års kadence. Det bør i den forbindelse nævnes, at der for nuværende ikke findes et finansieret monitoringsprogram, der sikrer fortsat prøvetagning til kulstofanalyser i kvadratnettet, heller ikke med den hidtidige kadence på 10 år. Der er heller ikke en konsolideret plan for hvordan landbrugspunkter der af forskellige årsager udgår af kvadratnettet bliver erstattet.

## Referencer

Andersen, M.N., Hansen, E.M., Thomsen, I.K., Hutchings, N.J., Elsgaard, L., Jørgensen, U., Munkholm, L., Børgesen, C.D., Sørensen, P., Petersen, S.O., Lærke, P.E., Børsting, C.F., Lund, P., Kjeldsen, M.H., Maigaard, M., Vil-lumsen, T.M. Adamsen, A.P. Dalby, F.R., Kai, P., Nørremark, M., Mathisen, GB., Audet, J., Bruus, M., Krogh, P.H.,

Kronvang, B., Winding, A., Kristensen, H.L., 2022a. Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet (under udarbejdelse).

Andersen, M.N., Olesen, J.E., Holst, N., Skovgaard, H., Kudsk, P., Jørgensen, L.N., Børgesen, C.D., Munkholm, L.J., Gregersen, P., Holme, I., Pedersen, H.B., Kongsted, A.G., Børsting, C.F., Sørensen, J.T., Henriksen, B., Callesen, H., Woyengo, T., Ejrnæs, R., Fløjgaard, C., Krogh, P.H., Willumsen, T.M., Rasmussen, M.D., Guldborg, L.B., Rong, L. 2022b. Vidensyntese om klimatilpasning og landbrug. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet (under udarbejdelse).

Greve, M.H. (red.) 2021. Vidensyntese om kulstofrig lavbundsjord. Rådgivningsrapport fra DCA – National Center for Fødevarer og Jordbrug, leveret 30.03.2021.

Harbo, L.S., Elsgaard, L., Olesen, J.E. (2021). Ændringer i dansk landbrugsjords kulstofindhold. *Vand & Jord* 4, 155-158.

Harbo, L.S., Olesen, J.E., Lemming, C., Christensen, B.T., Elsgaard, L. (submitted). Limitations of farm management data to explain decadal changes in SOC stocks in the Danish soil monitoring network. Submitted to *Geoderma*.

Harbo, L.S., Olesen, J.E., Liang, Z., Christensen, B.T., Elsgaard, L. (2022). Estimating organic carbon stocks of mineral soils in Denmark: Impact of bulk density and content of rock fragments. *Geoderma Regional* 30, e00560.

IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe (Eds.), Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES, Hayama, Japan.

Jensen, J. L., Beucher, A. M., Eriksen, J. 2022a. Soil organic C and N stock changes in grass-clover leys: effect of grassland proportion and organic fertilizer. *Geoderma*, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4074490>.

Jensen, J. L., Eriksen, J., Thomsen, I. K., Munkholm, L. J., Christensen, B. T. 2022b. Cereal straw incorporation and ryegrass cover crops: The path to equilibrium in soil carbon storage is short. *European Journal of Soil Science*, 73, e13173.

Jones, A, Fernandes-Ugalde, O., Scarpa, S., & Eiselt, B. LUCAS 2022, EUR 30331 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg., 2021, ISBN 978-92-76-21079-5, doi:10.2760/74624, JRC121253.

Peltre, C., Nielsen, M., Christensen, B. T., Hansen, E. M., Thomsen, I. K., Bruun, S. 2016. Straw export in continuous winter wheat and the ability of oil radish catch crops and early sowing of wheat to offset soil C and N losses: A simulation study. *Agricultural Systems*, 143, 195-202.

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.

Østergaard H.S., Mamsen P. (1990). Kvadratnet for nitratundersøgelser i Danmark – oversigt 1986-1989. Landbrugets Rådgivningscenter, Landskontoret for Planteavl.