

Kulstof i jord – implementering i klimaregnskab

Forfattere: Troels Kristensen, Lisbeth Mogensen og Marie Trydeman Knudsen

Fagfællebedømt: Jørgen Eriksen og Jørgen E. Olesen

Nærværende notat er udarbejdet i forbindelse med del 1 "Kvantificering af kulstoflagring i jorden" i aftalen mellem SEGES og Institut for Agroøkologi (AGRO) i projektet "Landbrugets klimaregnskab", finansieret af Promilleafgiftsfonden, hvor AGRO indgår som ekstern partner.

Formålet er at besvare følgende spørgsmål fra SEGES:

På baggrund af data, der er til rådighed fra landmændene i Landbrugets klimaværktøj, skal det på en forskningsmæssig baggrund kvantificeres, hvor stor en kulstofopbygning/nedbrydning der er ved brug af forskellige afgrøder/sædskifter. Der skal blandt andet tages stilling til om tidshorizonten, der skal regnes med, er 20 år, som IPCC reglerne foreskriver, eller 100 år, som anvendes i LCA. sammenhæng.

1. Introduktion

Som grundlag for besvarelsen blev der afholdt et møde den 10. februar 2021 mellem SEGES og AGRO, hvor SEGES præsenterede klimaværktøjet generelt og deres ideer til kvantificering af kulstoflagringen.

Heraf fremgik det omkring klimaregnskabet bl.a. at formålet med klimaregnskabet er

- *"at udvikle et brugervenligt klimaværktøj, der kan opgøre et klimaregnskab på bedriftsniveau*
- *og danne grundlag for udarbejdelse af en klimahandlingsplan, der bidrager til iværksættelse af bedriftsspecifikke tiltag"*

Seges understregede, at klimaregnskabet skal være handlingsorienteret i forhold til, at bedriften kan dokumentere produktionen og iværksætte tiltag, der reducerer klimapåvirkningen. Datagrundlaget er en kombination af bedriftens data, nationale normer og IPCC standarder. Der opgøres et samlet klimaregnskab i CO₂ eq. med angivelse af de separate bidrag fra metan, lattergas og kulstofændringer i jorden. Bedriftens regnskab opgøres med import (LCA perspektivet) og uden bidrag fra import (Nationale perspektiv) og præsenteret pr. ha og pr. produkt.

2. Kulstof – klimaregnskab

I løbet af en vækstsæson optager planterne CO₂ fra atmosfæren, som via fotosyntesen indlejres i planten og det tilhørende rodsystem. Den del af planten, der høstes, antages at være CO₂-neutral, da det i planten indlejrede kulstof frigives til atmosfæren primært som CO₂, når f.eks. dyr og mennesker spiser planterne. Derimod kan kulstof indlejret i planterester og rødder bidrage til at reducere atmosfærens indhold af CO₂, såfremt det lagres i jorden. Jordens kulstofindhold er et resultat af de årlige input af kulstof fra planterester og rødder, kombineret med en årlige omsætning af kulstof fra tidligere års tilførsel. Hertil kommer, at der ud over input fra hovedafgrøden kan være bidrag fra f.eks. efterafgrøder eller tilførsel af husdyrgødning. Det handlingsorienterede formål med klimaregnskabet betyder, at det er vigtigt at estimere effekten af disse bidrag således, at de kan medtages i bedriftens emissioner samtidigt med effekten knyttet til hovedafgrøden.

I regnskabet præsenteres effekt af kulstofomsætningen i enheden CO₂ eq.

2.1 Metode

Det er grundlæggende to forskellige tilgange til beregning af klimaeffekten, som diskuteret af bl.a. Kløverpris et al. (2020), enten kulstof lagret i jorden eller effekten af kulstofomsætningen på atmosfærens strålingsbalance.

Kulstoflagring

Ved denne metode fastlægges, ved måling eller modellering, omsætningen i kulstofpuljen over tid afhængig af en afgrøde eller anden aktivitet på nettolagring i jorden. Det forudsættes således, at der er den samme produktion hvert år i den periode, hvor kulstofomsætningen estimeres. Det antages herefter at nettolagring af kulstof kan omregnes til klimaeffekten. Der findes en række modeller til kvantificering af nettolagringen, se f.eks. Smith et al. (2020). I danske nationale opgørelser (Nielsen et al., 2020) anvendes C-Tool modellen (Taghizadeh-Toosi et al., 2014a), hvor klimaeffekten opgøres med udgangspunkt i de stabile kulstofpuljer i modellen, hvilket stort set svarer til et 20-årigt perspektiv på kulstoflagringen. Et centralt element i beregningerne er niveauet af kulstof i udgangssituationen, hvor de nationale opgørelser anvender en klassificering ud fra 8 regioner og tre jordtyper (Nielsen et al., 2020).

Klimaeffekt

Petersen et al. (2013) udviklede en metode til at beregne klimaeffekter af kulstoflagring for forskellige tidsperspektiver baseret på det årlige kulstof input i et år kombineret med omsætning af kulstof i jorden, frigørelse af CO₂ fra jorden og optagelser i sinks over tid. Effekten på atmosfærens strålingsbalance afhænger således af, hvor stor andel af årets input af kulstof der frigives og hvor stor andel heraf som optages i de globale sinks - hvor oceanerne er den helt afgørende, på et givet tidspunkt. Et centralt element er, at det forudsættes der sker en sammenligning med en udgangssituation, f.eks. ingen halm i forhold til halmen snittes og efterlades på marken. Den udledte emissionsfaktor (seq. potential) udtrykker forskellen mellem udgangssituationen og den effekt der undersøges, er derfor på tilsvarende vis som for de øvrige drivhusgasser et estimat for effekten på atmosfærens strålingsbalance af de handlinger, der sker i et givet regnskabsår. Metoden giver mulighed for at estimere effekten ved et vilkårligt tidsperspektiv (Kløverpris et al., 2020).

2.2 Tidsperspektiv

Et klimaregnskab for et givet år udtrykker bedriftens udledning af drivhusgasser forårsaget af produktionen i løbet af året, modregnet evt. optag af CO₂ fra atmosfæren. Effekten heraf på strålingsbalancen beregnes over en given periode. Her anvendes der, for metan og lattergas i den nationale opgørelse, og typisk også i andre system- og livscyklusopgørelser, et 100-årigt perspektiv. For drivhusgasser som metan og lattergas frigjort i regnskabsåret udtrykkes det ved drivhusgassens global warming potential (GWP), som tager hensyn til, at drivhusgassen nedbrydes i atmosfæren over tid. Længden af tidsperspektivet er bestemmende for effekten af drivhusgassen. Metan har en levetid på ca. 12 år, hvorfor effekten af metan vil øges fra 25 ved et 100 årigt perspektiv, til næsten tre gange på meget, 72 ved et 20-årigt perspektiv, mens effekten af lattergas reduceres fra 298 ved 100 årigt perspektiv til 289 ved et 20-årigt, da levetid på lattergas er mere end 100 år i atmosfæren (baseret på IPCC 2007 – de absolutte værdier afhænger af kilder og årstal).

For ændringer i jordens kulstofpulje anvendes der derimod i de nationale regnskaber et ca. 20-årigt perspektiv. Modsat f.eks. metan og CO₂ fra diesel, så sker udledningen af CO₂ fra kulstof input til jorden ikke nødvendigvis i regnskabsåret, men ved at kulstof indlejret i jorden i regnskabsåret langsomt frigives som CO₂ i de efterfølgende år. Ud fra kulstoflagringsmetoden kan der

argumenteres for, at effekten af kulstofindlejring skal være kortere end for de øvrige drivhusgasser, fordi der indenfor en periode på typisk 20 til 30 år vil være opnået en balance mellem årligt input og frigivelse ved uændret drift, men også fordi den praksis der er efter regnskabsåret kan ændres, hvorfor effekten er mindre forudsigtelig. I et udkast til metode for kulstofindlejring i et klimaperspektiv (Anonym, 2020), er der foreslået en lineær effekt afhængig af tidsperspektivet, således 5% ved 20 årigt perspektiv eller 1% ved 100 årigt perspektiv, men ikke nogen konsensus omkring tidsperspektivet. Ud fra klimaeffektmetoden så bør tidsperspektivet fastlægges ud fra effekten på GWP, så er en kombination af frigivelse fra jorden og omsætning i atmosfæren. Til illustration af effekten ud fra Petersen et al. (2013) så har 100 kg kulstof tilført jorden en klimaeffekt på $100 \times 0,097 \times 44/12 = 36 \text{ kg CO}_2 \text{ eq.}$ i et 100 årigt perspektiv, men en klimaeffekt på $100 \times 0,21 \times 44/12 = 77 \text{ kg CO}_2 \text{ eq.}$ i et 20 årigt perspektiv.

3. Overvejelser omkring metode og tidsperspektiv

Modeller til estimering af kulstofændringer, primært på nationalt niveau, er omfattende diskuteret af Smith et al. (2020), herudover er der en løbende diskussion af tidsperspektiv og metode i forhold til klimaeffekten (Kløverpris et al., 2020; Anonym, 2020).

Ovenstående to metoder er begge baseret på årlige kulstofinput, hvor balance metoden over en årrække kombinere input og output til en netto lagring, mens klimaeffektmetoden er baseret på effekten over tid af input i et år. Ved denne metode kan effekten således ikke direkte verificeres i forhold til ændringer i kulstofpuljen. Som diskuteret af Smith et al. (2020) er verificering af modelberegninger i forhold til faktiske ændringer over tid et afgørende element i forhold til dokumentation af indlejret kulstof. På den enkelte bedrift, som er niveaet for klimaregnskabet, vil det dog ikke være realistisk at verificere en modelberegnet effekt, idet der over tid sker mange ændringer i driften, og fordi selv ændringer i jordens kulstofindhold på grund af den store rumlige variation kun vanskeligt lader sig påvise.

I LCA opgørelser indgår kulstofbidraget kun i få studier (se f.eks. Baldine et al. (2018)). I LCA opgørelser fra AGRO er typisk anvendt et tidsperspektiv på 100 år, ofte kombineret med metoden af Petersen et al. (2013). Tidsperspektivet er i Petersen et al. (2013) belyst for plantematerialer under gennemsnitlige danske jordbundsforhold, hvor de fandt en modelberegnet emissionsfaktor (seq. potential) af det årlige kulstof input af plantemateriale på 21% i et 20-årigt perspektiv og 9,7% i et 100-årigt perspektiv, og lidt lavere for en kombination af planterester og husdyrgødning. For biochar gælder specielt, at omsætningen og nedbrydningstiden er langt højere end for almindelige plantematerialer, således fandt Thers et al. (2019) et seq. potential på 72% for biochar i et 100-årigt perspektiv. Det illustrerer at seq. potentiallet kan være afhængig af kilden til kulstofindlejring, men for nærværende er der ikke yderligere dokumentation for variationen.

I klimaregnskabet skal den komplekse viden om kulstofomsætningen sammenvejes med de data og den praksis der er på bedrifterne. Balancemetoden er udfordret ved at der ofte sker ændringer i driften således at det på bedriftsniveau kan være vanskeligt at fastlægge dyrkningspraksis såvel i de foregående år som i fremtiden der en del af grundlaget for at kunne estimere effekten på kulstofpuljen. Hertil kommer at datagrundlaget for fastlæggelsen af bedriftens, og principielt den enkelte marks, nuværende kulstofniveau er mangelfuldt. Desuden er det ikke kun jordens kulstofindhold, der spiller en rolle for ændringer i kulstofpuljen ved ændringer i management, men også karakteren af dette kulstof, og lader sig kun vanskeligt bestemme. Klimaeffektmetoden er principielt også udfordret på disse områder, men her sker der en sammenligning til et basisniveau, så det ikke er den faktiske kulstof ændring, men den relative i forhold til basis der regnes på. Det

betyder at effekten af ændringer i dyrkningspraksis der påvirker kulstofinput i betydeligt omfang er elimineret, under antagelsen om ens nedbrydningsprofil.

Petersen et al. (2013) og Taghizadeh-Toosi et al. (2014b) konkluderer, at indenfor normal variation i jordbrugspraksis kan den årlige nedbrydning af planterester estimeres ud fra gennemsnitlige jordbundsforhold. Der kræver yderligere analyser for at klarlægge hvor stor effekten kan blive på bedriftsniveau af forhold som afviger fra normale praksis. Her kunne peges på

- Højt og lavt kulstofniveau på markniveau, herunder andel af svært omsætteligt kulstof i jorden
- Andel af vedvarende græsarealer
- Alternative kulstofkilder

For marker med afvigende kulstofniveau skal effekten på input og nedbrydningsprofil analyseres dels i kombination med uændret drift, dels hvor der sker markante omlægninger af driften f.eks. fra sædskifter med høj andel flerårige afgrøder til enårige afgrøder, eller modsat. Græsmarker som afgrøde dækker over en stor spredning i arts sammensætning, udnyttelse og varighed fra få år til vedvarende arealer som kan påvirke kulstofinput og omsætning markant (Olesen, 2018).

I forhold til klimaregnskabet er det afgørende at få identificeret de bedriftskaraktistika der betyder at det summerede resultat af alle kulstofinput er klart afvigende på bedriftsniveau, således at der i første omgang kan tages forbehold for beregninger og senere eventuelt laves tilpasninger i beregningerne.

4. Forslag til metode til estimering kulstof på bedriftsniveau i klimaregnskabet

Med udgangspunkt i ovenstående foreslås det, at anvende af metoden af Petersen et al. (2013). Som redegjort for vil de beregnede effekter i klimaregnskabet ikke være direkte sammenligning med de effekter der beregnes ved den nationale opgørelser. Trods dette er der valgt at foreslå klimaeffektmetoden, fordi den som for de øvrige poster i klimaregnskabet er baseret på aktiviteterne i det pågældende regnskabsår og ikke er afhængig af en given tidsperiode til fastlæggelse af kulstofbalancen og desuden umiddelbart kan implementeres med de data der er til rådighed.

Et centralt element er at det forudsættes der sker en sammenligning med en udgangssituation. Her har Mogensen et al. (2014) ved estimering af klimaeffekten fra C-jord for typiske danske afgrøder taget udgangspunkt i det gennemsnitlige C input pr ha i Danmark fastsat til 4056 kg C pr ha og senere opdateret til 4093 kg C i Mogensen et al. (2018). En yderligere nuancering heraf, samt løbende opdatering, ud fra afgrødefordeling, udbytte, tilførsel af husdyrgødning og andel af halm fjernet vil sikre et solidt grundlag for fastlæggelsen af effekten på den enkelte bedrift og bedst mulig overensstemmelse mellem udviklingen i det nationale niveau og det summerede niveau ud fra repræsentative klimaregnskaber.

Herudover er der brug for at fastlægge C input, nedbrydningsprofil og tidsperspektiv.

Input af kulstof

Mogensen et al (2018) beregnede C-input ud fra C-TOOL koefficienter for over- og underjordiske afgrøderester i forhold til afgrødens nettoudbytte for typiske afgrøder. Heri indgår bidrag fra halm, der ikke fjernes. Metoden giver dog mulighed for at beregne de separate C-input fra afgrøden og halmen. De anvendte koefficienter var fra C-TOOL (Taghizadeh-Toosi et al., 2014a), men der findes

tilsvarende i IPCC. Vurderingen af hvilke der er mest korrekte under danske forhold, er der her ikke taget stilling til.

For at gøre beregningen bedriftsspecifik, kan der anvendes konkrete udbytter i afgrøden, frem for typetal. Ud fra koefficienterne i Mogensen et al. (2018) kan det beregnes, at for slætgræs øges kulstofindlejringen med 72% af udbyttet i tørstof, mens det for vårbyg øges med 51% af tørstofudbyttet i kerne. Forholdet mellem top og rod må dog antages at ændres med udbyttet hvorfor gyldighedsområdet må undersøges nærmere. Det er således påvist, at denne sammenhæng mellem top og rod i en lang række tilfælde ikke er holdbar, og at kulstofinput fra rødder og rodafsat kulstof for en del afgrødetyper kan antages uafhængig af udbyttet (Taghizadeh-Toosi et al., 2016a; Hu et al., 2018).

I Mogensen et al. (2018) er der desuden indregnet ud fra IPCC en simpel effekt af varighed, hvor f.eks. C-input fra kornafgrøder reduceres med 20% og sædskiftegræs med 7% og en effekt af jordbehandling, hvor C-input i græsafgrøder øges med 10%. Det empiriske grundlaget herfor vurderes dog at være svagt.

Klimaeffekten fra efterafgrøder er i virkemiddelkataloget vedrørende klimagasser fra landbruget (Olesen et al., 2018) på 0,27 t C/ha/år. For C-TOOL benyttede Taghizadeh-Toosi et al. (2016b) estimater for kulstofafsætning fra efterafgrøder fra målinger gennemført af Li et al. (2015). Der må dog forventes at være betydelig variation i kulstofinput fra efterafgrøder, og der er behov for konsolidering af disse estimater.

For husdyrgødning kan C input beregnes ud fra N tilført under antagelse af et fast C:N forhold. Værdierne herfor er ikke nærmere undersøgt, men vil afhænge af typen af gødning og om der måles ab dyr eller ab tank.

Munkholm et al. (2020) konkluderer, at ved reduceret jordbehandling er der ikke nogen sikker effekt på kulstofpuljen i jorden, men der er en omlejring fra de øvre til de nedre lag. Herudover at Conservation Agriculture (CA) vil øge kulstoflagringen, først og fremmest pga. alsidige sædskifter med hyppigere dyrkning af efterafgrøder og konsekvent efterladelse af halm. Såfremt denne effekt allerede er indregnet via input af kulstof, så vil der ikke være et yderligere bidrag.

Udnyttelsen af græsmarken har en effekt på den årlige indlejring. Taghizadeh-Toosi et al. (2014b) estimerede, at dyrkning af græs betyder, at C i jorden er øget med 0,95 t C/ha/år ud fra målinger af ændringer af C i jorden fra 1986 til 2009 (23 år), mens Olesen (2018) angiver et niveau på 0,6 t C/ha/år. Det højere niveau i Taghizadeh-Toosi et al. (2014b) kan skyldes, at der indgår afgræsningsgræs, idet Olesen (2018) angiver at afgræsning øger kulstofindlejring med 0,6 til 1,2 t C pr ha årligt i forhold til slætgræs. Denne effekt er indarbejdet i koefficienterne angivet i Mogensen et al. (2018), hvor en mark med samme nettoudbytte ved afgræsning som slæt vil have 44% højere indlejring. Ligeledes diskuteres det om en let afgræsning, men en forholdsvis lang tid mellem udnyttelse (holistisk afgræsning) har en yderligere positiv effekt på kulstofopbygningen (Nordborg, 2016). Før differentiering i forhold til afgræsningsstrategi kan indgå kræves dog yderlig verificering af effekten.

Tidsprofil for nedbrydning

Ved denne metode er det en kombination af tidspunktet for udledning af CO₂ fra jorden og omsætningen heraf i atmosfæren der afgør klimaeffekten. På den baggrund kan der argumenteres for at kulstofomsætning i jorden, på lige fod med de øvrige emissioner, bør ses i et 100 årigt perspektiv i

et klimaregnskab, og med samme nedbrydningsprofil for alle de ovenstående kilder til C input. Dog vil tilførsel af biochar skulle håndteres med en anden tidsprofil.

Andre input

Ved LCA-perspektivet skal effekten ved produktion af ressourcer, typisk foder, tilført bedriften principielt også medtages. Det kræver, at der er data til rådighed, hvor kulstof input og frigørelsesprofil er kvantificeret på tilsvarende måde som skitseret for bedriften. For dansk producerede afgrøder kunne bruges de standard værdier, der er tilgængelige, f.eks. Mogensen et al (2018). Normalt udgør det udenlandske importerede foder en mindre del, hvorfor der for typisk importerede fodermidler kan bruges værdier fra Mogensen et al. (2018). Der er dog behov for at analysere betydningen af dette bidrag i forhold til den samlede kulstofbidrag, for evt. at tage forbehold ved betydende bidrag fra importeret foder.

5. Konklusion

Ved brug af metoden skitseret i foregående afsnit vil kulstof input til jorden i et regnskabsår give samme klimaeffekt uanset bedriftens nuværende niveau af C-jord og jordtype. Ud over afgrøden kan der inkluderes andre typer af C-input som summeres til bedriftens samlede C-input, hvorefter klimaeffekten beregnes under forudsætning af et basisniveau svarende til det årlige gennemsnitlig C input pr ha i Danmark og ens nedbrydningsprofil for alle input.

Metodens styrke er at den understøtter en dyrkningspraksis der enten fastholder eller øger kulstofinput. Modsat så skal det understreges at beregninger med denne metode ikke kan sammenlignes med resultaterne fra LULUCF i den nationale opgørelse (Nielsen et al., 2020).

Referencer

Anonym.2020. Development of LCA guidelines for the calculation of Carbon Sequestration in cattle production systems. Draft for public consultation. C-Sequ Public Consultation - IDF (fil-idf.org)

IPCC, 2006. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use; 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hayama, Japan.

Baldini, C., Gardoni, D., Guarino, M. 2017. Review: A critical review of the recent evolution of Life Cycle Assessment applied to milk production. J. Cleaner Production, 140, 421-435.

Hu, T., Sørensen, P., Wahlström, E.M., Chirinda, N., Sharif, B., Li, X. & Olesen, J.E. (2018). Root biomass in cereals, catch crops and weeds does not depend on aboveground biomass. Agriculture, Ecosystems and Environment 251, 141-148.

Kløverpris, J.H., Scheel, C.N., Schmidt, J., Grant, B., Smith, W., Bentham, M.J. 2020. Assessing life cycle impacts from changes in agricultural practices of crop production Methodological description and case study of microbial phosphate inoculant. The International Journal of Life Cycle Assessment 25:1991–2007.

Taghizadeh-Toosi, A. & Olesen, J.E. (2016). Modelling soil organic carbon in Danish agricultural soils suggests low potential for future carbon sequestration. Agricultural Systems 145, 83-89.

Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Nielsen, M., Gyldenkerne, S., Mikkelsen, M.H., Albrechtsen, R., Thomsen, M., Hjelgaard, K., Fauser, P., Bruun, H.G., Johannsen, V.K., Nord-Larsen, T., Vesterdal, L., Callesen, I., Caspersen, O.H., Scott-Bentsen, N., Rasmussen, E., Petersen, S.B., Olsen, T.

M. & Hansen, M.G. 2020. Denmark's National Inventory Report 2020. Emission Inventories 1990-2018 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 900 pp. Scientific Report No. 372 <http://dce2.au.dk/pub/SR372.pdf>

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. *J. Clean. Prod.*, 73 pp. 40-51

Mogensen, L., M. T. Knudsen, T. Preda, N. I. Nielsen, I. S. Kristensen and T. Kristensen (2018). "Bæredygtighedsparametre for konventionelle fodermidler til kvæg - metode og tabelværdier. DCA Rapport 116: 1-120.

Munkholm, L. J., Hansen, E. M., Melander, B., Kudsk, P., Jørgensen, L. N., Heckrath, G. J., Ravnkov, 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>

Nordborg, M. 2016. Holistic Management – a critical review of Allan Savory's grazing method. Uppsala Publisher: SLU/EPOK – Centre for Organic Food & Farming & Chalmers. ISBN 978-91-576-9424-9.

Olesen, J. E. (2018). Kulstofbinding i økologiske græsmarker. Notat.

Olesen, J. E., S. O. Petersen, P. Lund, U. Jørgensen, T. Kristensen, L. Elsgaard, P. Sørensen and J. Lassen (2018). "Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget. Aarhus Universitet, DCA. Se <http://web.agrsci.dk/djfpublikation/djfpdf/DCArapport130.pdf>." DCA rapport 130.

Petersen, B.M., Knudsen, M.T., Hermansen, J.E., Halberg, N., 2013. An approach to include soil carbon changes in life cycle assessments. *J. Clean. Prod.* 52, 217–224. doi:10.1016/J.JCLEPRO.2013.03.007

Smith, P., Soussana, J.-F., Angers, D., Schipper, L., Chenu, C., Rasse, D., Batjes, N., van Egmond, F., McNeill, S., Kuhnert, M., Arias-Navarro, C., Olesen, J.E., Chirinda, N., Fornara, D., Wollenberg, E., Alvaro-Fuentes, J., Sanz-Cobena, A., Klumpp, K. (2020). How to measure, report and verify soil carbon change to realise the potential of soil carbon sequestration for atmospheric greenhouse gas removal. *Global Change Biology* 26, 219-241.

Taghizadeh-Toosi, A., Christensen, B. T., Hutchings, N. J., Vejlin, J., Kätterer, T., Glendining, M. og Olesen, J. E. (2014a). C-TOOL – A soil carbon model and its parameterisation. *Ecological Modelling* 292: 11-25.

Taghizadeh-Toosi, A., J. E. Olesen, K. Kristensen, L. Elsgaard, H. S. Østergaard, M. Lægdsmand, M. H. Greve and B. T. Christensen (2014b). "Changes in carbon stocks of Danish agricultural mineral soils between 1986 and 2009. *European Journal of Soil Science* 65(5): 730-740.

Taghizadeh-Toosi, A., Christensen, B.T., Glendining, M. & Olesen, J.E. (2016a). Consolidating soil carbon turnover model by improved estimates of belowground carbon input. *Scientific Reports* 6, 32568.

Taghizadeh-Toosi, A. & Olesen, J.E. (2016b). Modelling soil organic carbon in Danish agricultural soils suggests low potential for future carbon sequestration. *Agricultural Systems* 145, 83-89.

Thers, H, Djomo, S.N., Elsgaard, L., Knudsen, M.T. 2019. Biochar potentially mitigates greenhouse gas emissions from cultivation of oilseed rape for biodiesel. *Science Total Env.*, 671, 180-188.

Appendix

Tabel A1. Eksempel på beregning af en bedrifts bidrag fra jordpuljen til klimaregnskabet

	antal	enhed	udbytte ts	C input pr enhed ¹⁾	Årlig C input, kg i alt
slætgræs	50	ha	8000	5751	287550
vårbyg	50	ha	4500	2283	114150
halm- snittet	30	ha	2475	1114	33480
gylle	5000	kg N		8 ²⁾	40000
samlet		Kg C			475180
pr ha		Kg C			4752
reference		KG C			4093 ³⁾
C - netto		Kg C			659
Klimaeffekt – 100 år ⁴⁾		kg CO ₂ eq.			234

- 1) Input fra afgrøde og halm er baseret på C-Tool (se tabel A2)
- 2) Typetal for gylle
- 3) Dansk gennemsnit (Mogensen et al. 2018)
- 4) 9,7% af årlig input (Petersen et al. 2013), 1 kg C = 44/12 kg CO₂

Tabel A2. Beregning af kulstofinput, fra Mogensen et al (2018)

		Slætgræs	Vårbyg	Vårbyg
			m halm	
a		0,7	0,45	0,45
b		0,45	0,17	0,17
c		0	0	0,55
Netto udbytte	kg tørstof	8000	4500	4500
Halm udbytte	kg tørstof	0	0	2475
Totaludbytte	kg tørstof	20779	12048	12048
Underjordiske rester	kg tørstof	9351	2048	2048
Overjordiske rester	kg tørstof	3429	5500	3025
Kulstof (45% C i tørstof)	Kg C	5751	3397	2283

Formler til beregning

$$\text{Total produktion (kg DM)} = \text{Nettoudbytte (kg DM)} * (1 / ((1-b) * a))$$

$$\text{Underjordiske rester (kg DM)} = \text{Total produktion (kg DM)} * b$$

$$\text{Overjordiske rester (kg DM)} = \text{Total produktion} - \text{Underjordiske rester} - \text{Nettoudbytte (kg DM)} - \text{halmudbytte fjernet}$$

$$\text{Total halmudbytte (kg DM)} = \text{Nettoudbytte (kg DM)} * c$$