

Planter

## Kulstoftilførsel til jorden fra efterafgrøder

Tilførsel af organisk materiale til jorden via efterafgrøde-biomasse bliver sandsynligvis kun vigtigere i fremtiden, hvor efterspørgslen på halm vokser. Men hvor meget organisk bundet kulstof tilføres egentlig med efterafgrøder?

Analyse

26. januar 2024

Der bliver fremadrettet et stigende behov for biomasse til f.eks. energiproduktion og produktion af biokul ved pyrolyse. Dette resulterer sandsynligvis i en lavere tilførsel af organisk materiale til jorden i form af halm og husdyrgødning. Kontinuert tilførsel af organisk materiale er afgørende for at opretholde jordens pulje af organisk bundet kulstof, som, hvis den bliver for lav, kan have betydning for jordens frugtbarhed.

Efterafgrøder har for mange hidtil overvejende været et virkemiddel i kvælstofreguleringen, men med den forventede faldende tilbageførsel af organisk materiale til jorden, kan efterafgrødernes rolle fremadrettet blive en afgørende faktor i vedligeholdelsen af jordens organiske kulstofpulje i mange områder.



Arealet med efterafgrøder udgjorde i 2022 knapt 500.000 ha og må således antages at udgøre en væsentlig andel det kulstof, som landbrugsjorden tilføres via afgrøderester. Det er imidlertid meget uklart, hvor meget kulstof efterafgrøderne bidrager med, mens det dog er helt sikkert, at der er en betydelig variation i tilførslen mellem år og mellem marker. Retvisende estimater for efterafgrødernes bidrag er vigtige ift. modelleringer af udviklingen i jordens kulstofindhold – som det f.eks. gøres i den nationale opgørelse af de danske klimagasemissioner (NIR – National inventory report).

Estimering af kulstoftilførsel fra over- og underjordiske planterester sker typisk ved brug af såkaldte 'allometriske funktioner', som ved hjælp af afgrødespecifikke forholdstal mellem udbytte og overjordisk biomasse, samt mellem over- og underjordisk biomasse, kan beregne tilførslen af afgrøderester ud fra information om udbyttet.

I forhold til efterafgrøder i det hele taget - og typiske danske efterafgrøder som olieræddike og rajgræs - forholder det sig desværre sådan, at der kun foreligger sparsomme målinger til bestemmelse af sådanne forholdstal for over- og underjordisk biomasse under danske forhold.

I denne undersøgelse gives et bud på kulstoftilførslen fra efterafgrøder, samt illustreres, hvad forskellige antagelser om efterafgrødernes biomasse betyder for en beregning af den samlede tilførsel af organisk kulstof til jorden fra efterafgrøder.

## Efterafgrøde-areal

Der tages udgangspunkt i følgende arealer udtrukket fra indberetninger i GKEA-skemaet (Gødningskvote og Efterafgrøder) for 2022:

- Areal græsefterafgrøder i majs: 87.000 ha
- Areal øvrige efterafgrøder: 391.000 ha, som deles, baseret på et skøn, i 25 % "Græsefterafgrøder udlagt i vårkorn" og 75 % "Olieræddike" (langt overvejende), svarende til henholdsvis 97750 ha og 293250 ha.

Der skelnes mellem de 3 efterafgrødekategorier, da græsefterafgrøderne i majs generelt har en markant ringere udvikling end græsefterafgrøder udlagt i korn. Mens olieræddike, som er den klart dominerende art af de øvrige efterafgrøder, adskiller sig i markant fra græsefterafgrøderne i vækstform.

## Tilførsel af kulstof med efterafgrøder

Med baggrund i egne forsøgsresultater og videnskabelig litteratur fastlægges her baggrunden for beregning af et højt og et lavt estimat for kulstoftilførslen i de tre efterafgrødekategorier.

## **Overjordisk kulstoftilførsel fra græsefterafgrøder i majs**

Der er samlet et datasæt fra landsforsøg udført 2019-2022, hvor den overjordiske biomasse i græsefterafgrøder i majs er blevet kvantificeret ved planteklip sent i efteråret. Observationerne varierer i strategi for etablering og gødskning af majs og i etableringstidspunkt for efterafgrøden; enten 0, 2, 4 eller 6 uger efter såning af majs. Den mest almindelige praksis er etablering ca. 6 uger efter såning af majs, derfor tages der udgangspunkt i disse observationer til beregning af kulstoftilførsel fra græsefterafgrøder i majs.

Der er i alt 96 observationer på ledniveau med etablering af efterafgrøde 6 uger efter såning af majs – her er udeladt observationer, hvor det er blevet vurderet, at biomassen var for lav til at udføre planteklip. Den gennemsnitlige overjordiske biomasse var 111 kg tørstof/ha, svarende til 50 kg C/ha ved en antagelse om 45% C i plantemateriale tørstof. Det er værd at bemærke, at for 32 observationer med etablering 4 uger efter såning af majs var den gennemsnitlige overjordiske biomasse 307 kg tørstof/ha, og tilsvarende for 22 observationer med etablering 0-2 uger efter såning af majs, 873 kg tørstof/ha.

Til beregning af et lavt estimat anvendes gennemsnit af observationer ved etablering 6 uger efter såning; 111 kg tørstof/ha og til beregning af højt estimat anvendes gennemsnit af observationer ved etablering 4 uger efter såning; 307 kg tørstof/ha.

## **Overjordisk kulstoftilførsel fra græsefterafgrøder udlagt i vårkorn**

Der er indsamlet 7 observationer på ledniveau af overjordisk biomasse af græsefterafgrøder etableret om foråret i vårbyg målt ved planteklip fra landsforsøg gennemført 2021 og 2022. Der er meget stor spredning i disse resultater. Den gennemsnitlige overjordiske biomasse var 1594 kg tørstof/ha, mens medianværdien var 1310 kg tørstof/ha.

Til beregning af et lavt estimat anvendes den nedre kvartil af observationerne; 1250 kg tørstof/ha, og til beregning af højt estimat anvendes den øvre kvartil; 1983 kg tørstof/ha.

## **Overjordisk kulstoftilførsel olieræddike**

Der er indsamlet et datasæt fra landsforsøg i 2019 og 2020, hvor den overjordiske biomasse i efterafgrøder er kvantificeret ved planteklip. Her er der 44 observationer på ledniveau med

olieræddike i ren bestand med en gennemsnitlig overjordisk biomasse tørstof på 869 kg/ha og med en medianværdi på 766 kg/ha. Tilsvarende fandt man i en undersøgelse af biomasse, fortrinsvis olieræddike som efterafgrøde i praktisk dyrkede marker (23 stk) i 2020 og 2021, en gennemsnitlig overjordisk biomasse på 1310 kg tørstof/ha og en medianværdi på 1082 kg tørstof/ha.

Til beregning af et lavt estimat anvendes den nedre kvartil af alle observationerne; 630 kg tørstof/ha, og til beregning af højt estimat anvendes den øvre kvartil; 1290 kg tørstof/ha.

## Underjordisk kulstoftilførsel

Målinger og estimeringer af underjordisk biomasse i såvel afgrøder som efterafgrøder sker ved en lang række forskellige metoder, som generelt alle er meget arbejdskrævende, da de involverer adskillelse af jord og plantemateriale ved vask. Der er derfor, sammenlignet med overjordisk biomasse, relativt få målinger af underjordisk biomasse. Det er desuden velkendt, at man ved isolering af rodbiomasse ved vask, uvægerligt ikke kvantificerer den andel af rodbiomassen, som udgøres af de allerfineste rødder, ligesom kulstof afsat fra rødderne som rhizodeposition/exudater heller ikke bestemmes.

Liang et al. (2022) viste i en undersøgelse af efterafgrøder (olieræddike, honningurt og vikke) i forskellige dyrkningssystemer, at af den totale underjordiske kulstoftilførsel udgjorde rodfragmenter, her defineret som værende mellem 0,25 mm og 4 mm, 39 – 59 %. Hvor stor en andel af disse rodfragmenter, der ikke kvantificeres i den enkelte undersøgelse, afhænger af metoden for adskillelse af jord og rodmateriale.

Her estimeres først en kulstoftilførsel fra rodbiomasse via et forhold mellem underjordisk og overjordisk biomasse (rod:skud) og derefter kulstoftilførsel fra rhizodeposition via et forhold mellem rhizodeposition og rodbiomasse (rhizodeposition:rod).

## Kulstoftilførsel via rodbiomasse i olieræddike

Forholdet mellem over- og underjordisk biomasse kan forventes at variere meget mellem arter og med efterafgrødens vækststadiet. Til estimering af den underjordiske biomasse tages der her udgangspunkt i en række forskellige nyere videnskabeligt publicerede undersøgelser, hvor rodbiomassen er kvantificeret ved rodvask.

I henholdsvis en toårig tysk (Kemper et al. 2023) og en etårig engelsk (Ashiq et al. 2022) undersøgelse blev der fundet et rod:skud-forhold i en olieræddike-efterafgrøde i markforsøg på 0,18. Hansen et al. (2021) fandt et rod:skud-forhold på 0,52 mens Hu et al. (2018) i en opsamling af resultater fra

markforsøg ved Aarhus Universitets rapporterede værdier mellem 0,16 og 0,46. Endelig fandt Hudek et al. (2021) et forhold på 0,34 for olieræddike voksende i store (>1m<sup>3</sup>) beholdere.

Til beregning af et lavt estimat anvendes et rod:skud-forhold på 0,3 og til beregning af højt anvendes et rod:skud-forhold på 0,5.

## **Kulstoftilførsel via rodbiomasse i græsefterafgrøder**

I den tidligere nævnte opsamling af resultater fra markforsøg ved Aarhus Universitet af Hu et al. (2018) er der tre observationer af rod:skud-forhold i forårsetablerede græsefterafgrøder; 0,41; 0,42 og 0,53. I etablerede græsmarker til græsproduktion ses generelt højere rod:skud-forhold - altså mere rod i forhold til skud - end i perioden efter etablering (Bolinder et al. 2002).

Til beregning af et lavt estimat anvendes et rod:skud-forhold på 0,4 og til beregning af højt estimat anvendes et rod:skud-forhold på 0,6.

## **Kulstoftilførsel via rhizodeposition**

For begge efterafgrødekategorier skal hertil lægges et bidrag fra rhizodeposition for at tage højde for de rodexudater, som ikke blev søgt kvantificeret i undersøgelserne nævnt ovenfor. I en review-undersøgelse af Pausch og Kuzyakov 2017 fandt man et gennemsnitlig rhizodeposition:rodbiomasse forhold på 0,5 i både et-årige afgrøder og græs, med medianværdier på henholdsvis 0,4 og 0,3. Liang et al. (2022) viste i undersøgelse af efterafgrøder (olieræddike, honningurt og vikke) i forskellige dyrkningssystemer, at af den totale underjordiske kulstoftilførsel udgjorde rhizodeposition og bladtab 5 – 37 %.

Til beregning af et lavt estimat anvendes et rhizodeposition:rod-forhold på 0,4 og til beregning af højt estimat anvendes et rhizodeposition:rod-forhold på 0,5.

## **Kulstoftilførsel fra efterafgrøder i National Inventory Report (NIR)**

I modelleringen af udviklingen i mineraljordens organiske kulstofindhold foretaget af DCE til de nationale opgørelser af dansk klimagasemission (NIR) antages en gennemsnitlig tilførsel af kulstof fra alle efterafgrøder på 2,2 ton C/ha x år. Med en generel antagelse om et kulstofindhold på 45 % i plantemateriale tørstof, giver det en total tørstofproduktion (inkl. rhizodeposition) på 4,9 ton tørstof/ha x år.

**Tabel 1. Opsummering af antagelser om overjordisk biomasse og allometriske forhold i efterafgrødekategorier**

Kategori	Estimat	Overjordisk biomasse, kg tørstof/ha	Rod:skud	Rhizodeposition:rod
Græs-efterafgrøde udlagt i vårkorn	Højt	1.983	0,6	0,5
	Lavt	1.250	0,4	0,4
Græs-efterafgrøde i majs	Højt	307	0,6	0,5
	Lavt	111	0,4	0,4
Olieræddike	Højt	1.290	0,5	0,5
	Lavt	630	0,3	0,4

NIR, total tørstoftilførsel, kg tørstof/ha: 4900

## Resultater

I tabellen nedenfor ses kulstoftilførsler i de tre efterafgrødekategorier beregnet ud fra antagelserne beskrevet ovenfor, samt den anvendte kulstoftilførsel anvendt i NIR.

**Tabel 2. Kulstoftilførsel pr. efterafgrødekategori og total**

Kategori	Estimat	Areal, ha	C-tilførsel, kg C /ha	Total C-tilførsel, ton C
Græs-efterafgrøde udlagt i vårkorn	Højt	97.750	1.695	165.732
	Lavt		878	85.776

Kategori	Estimat	Areal, ha	C-tilførsel, kg C /ha	Total C-tilførsel, ton C
Græs-efterafgrøde i majs	Højt	87.000	262	22.836
	Lavt		78	6.779
Olieræddike	Højt	293.250	1.016	297.905
	Lavt		403	118.054
Sum	Højt	478.000		486.473
	Lavt			210.608
DCE NIR efterafgrøder		478.000	2.200	1.049.688

Det ses:

- at højt og lavt estimat for kulstoftilførsel/ha i græsefterafgrøder udlagt i vårkorn er henholdsvis 1,7 og 2,2 gange større end i olieræddike
- at selv det høje estimat for C-tilførsel i græsefterafgrøder i majs er meget lavt
- at den samlede kulstoftilførsel fra efterafgrøder beregnes ved højt estimat til at være ca. 500.000 ton C, hvilket er ca. det halve af, hvad der beregnes i NIR.

Hvis der regnes med en gennemsnitlig kulstoftilførsel på 4,09 ton C/ha (DCA i notat til SEGES Innovation i projekt "Landbrugets Klimaregnskab" på hele omdriftsarealet, udgør kulstoftilførslen fra efterafgrøder, beregnet her i undersøgelsen, mellem ca. 2 og 5 % af den totale tilførsel, mens kulstoftilførslen anvendt i NIR udgør ca. 10 %.

## Referencer

Ashiq et al., 2022. [Biofumigation for the Management of Fusarium graminearum in a Wheat-Maize Rotation](#). Pathogens 11, 1427.

Bolinder et al., 2002. [Root biomass and shoot to root ratios of perennial forage crops in eastern Canada](#). Canadian Journal of Plant Science. 82(4).

Hansen et al., 2021. [Towards integrated cover crop management: N, P and S release from aboveground and belowground residues](#). Agriculture, Ecosystems and Environment 313, 107392.

Hu et al., 2018. [Root biomass in cereals, catch crops and weeds can be reliably estimated without considering aboveground biomass](#). Agriculture, Ecosystems and Environment 251, 141-148.

Hudek et al., 2022. [Functional root trait-based classification of cover crops to improve soil physical properties](#). European Journal of Soil Science 73, 13147.

Kemper et al., 2023. [Oil radish, winter rye and crimson clover: root and shoot performance in cover crop mixtures](#). Plant and Soil.

Liang et al, 2022. [Subsoil carbon input by cover crops depends on management history](#). Agriculture, Ecosystems and Environment 326, 107800.

Pausch og Kuzyakov, 2017. [Carbon input by roots into the soil: Quantification of rhizodeposition from root to ecosystem scale](#). Global Change Biology 24, 1-12.

## Emneord

Efterafgrøder

Klima

Majs

## Vil du vide mere?





## Henrik Vestergaard Poulsen

Specialkonsulent

SEGES Innovation P/S

[hevp@seges.dk](mailto:hevp@seges.dk)

+45 2099 1975

---

Publiceret: 26. januar 2024

Opdateret: 26. januar 2024

## Støttet af

**Promille**afgiftsfonden for landbrug

---

SEGES Innovation P/S      Tlf.      8740 5000

Agro Food Park 15      Fax.      8740 5010

8200 Aarhus N      Email      [info@seges.dk](mailto:info@seges.dk)