

Opdatering af C-TOOL med ny input-funktion i græs	Ansvarlig	hevp
	Oprettet	02-11-2022
	Side	1 af 8

Projekt: 8512 Få styr på kulstoffet i jorden.

Opdatering af inputberegning for græs i C-TOOL

Indledende øvelse i projektet "Få styr på kulstoffet i jorden" – kulstofinput fra græsmarker

Baggrund og data

I regi af "Klimagræs" projektet finansieret af Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri er undersøgt effekten af græsmarksalder (1, 2, 3 og 4 år) og gødskning (ugødet og 300 kg total-N i kvæggylle) på rod-biomassen, stubbiomassen efter 4. slæt og rod-top forholdet i kløvergræs ved en udtagning i efteråret 2020.

Prøverne til bestemmelse af rodbiomasse blev udtaget i 0-30 cm dybde og opdelt i 0-10 og 10-30 cm dybde. I hvert parcel blev der udtaget ni prøver i alt, seks i rækken og tre imellem rækkerne. På disse jordprøver blev rødder adskilt fra jorden ved en grov rodvask (Cong et al., 2019), hvorefter de blev tørret ved 60°C i 48 timer og rodbiomassen blev bestemt. Rodbiomassen blev korigeret for aske ved dels at lave glødetabsbestemmelse ved 550 °C i 6 timer dels syrebehandling. Desuden blev der bestemt kulstofindhold i rodbiomassen. Der blev foretaget planteklip af stubben efter 4. slæt, og disse prøver blev behandlet som rodprøverne med den undtagelse, at den botaniske sammensætning af stubben også blev bestemt.

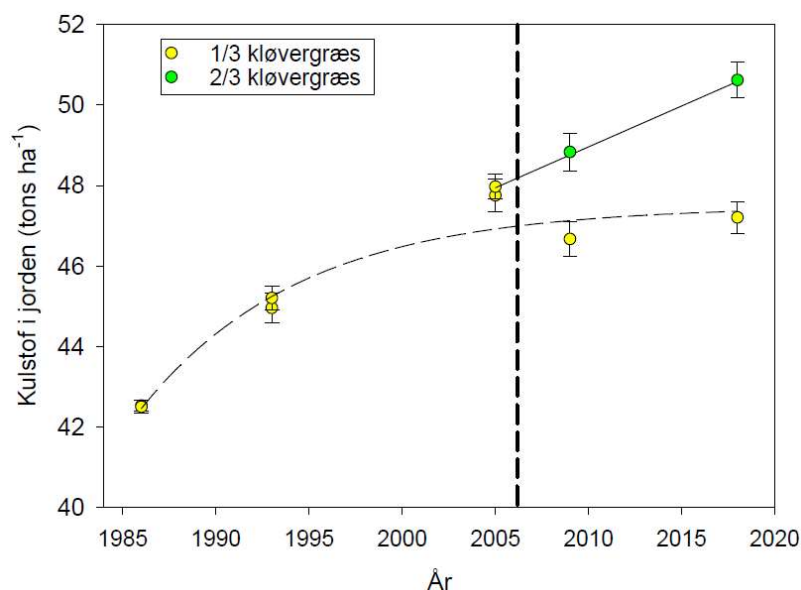
Foreløbige ikke-publicerede resultater viser at den totale C-fraførsel (græsudbytte) i de fire slæt var signifikant højere i 1. årsgræsmarken end i 3. og 4. årsgræsmarken, mens at gødskningen generelt havde en positiv effekt på C-fraførslen uafhængig af græsmarksalder (Tabel 1). Kulstoftilførslen fra rodbiomassen varierede fra 2,10 til 2,83 tons C per ha, og der var ikke signifikant effekt af græsmarksalder på rodbiomasse-C. Derimod var rodbiomasse-C signifikant højere i den gødgede 1. årsgræsmark sammenlignet med den ugødgede, mens det omvendte var tilfældet i 4. årsgræsmarken. Kulstoftilførslen fra stubbiomassen efter 4. slæt varierede fra 0,58 til 0,71 tons C per ha, og der var ikke signifikante forskelle afhængig af græsmarksalder og gødskning.

Resultaterne viser dermed, at der ikke er en sammenhæng imellem den totale C-fraførsel (græsudbytte) og rodbiomasse-C, hvilket ellers antages, når den nuværende allometriske funktion for græs benyttes. Resultaterne viser snarere, at rodbiomasse-C udbyttet stort set er ens uafhængig af gødskning og græsmarksalder. Cong et al. (2019) fandt ligeledes ens rodbiomasse-C udbytte uafhængig af forskellig græsudbytte forårsaget af forskelle i gødskningshistorien.

Tabel 1. Kulstof i biomasse (tons per ha) for de fire slæt og i alt samt i stubben efter 4. slæt og i rød-
derne for kløvergræs med forskellig græsmarksalder (1-4 år) og gødskning (ugødet og 300 kg total-N i
kvæggylle). Forskellige bogstaver inden for hver græsmarksalder, indikerer signifikante forskelle
($P < 0.05$) imellem gødskningsbehandlinger.

Græs- marksalder	1		2		3		4	
Gødskning	Ugødet	300	Ugødet	300	Ugødet	300	Ugødet	300
1. slæt	0,94a	1,67b	0,84a	1,65b	1,37a	1,89b	1,10a	1,83b
2. slæt	1,39a	1,87a	1,12a	1,32a	0,67a	1,06b	0,84a	0,97a
3. slæt	1,16a	1,28b	1,03a	1,02a	0,58a	0,61b	0,80b	0,62a
4. slæt	0,42a	0,69a	0,55a	0,61a	0,49a	0,52a	0,58a	0,60a
I alt	3,91a	5,51b	3,53a	4,60a	3,10a	4,07a	3,32a	4,01a
Stub	0,59a	0,58a	0,71a	0,62a	0,58a	0,64a	0,66a	0,63a
Rodbio- masse	2,29a	2,83b	2,41a	2,83a	2,18a	2,66a	2,73b	2,10a

Stubbiomasse-C (bud på overjordiske afgrøderester i kløvergræs) var ligeledes ikke påvirket af græsudbyttet, hvilket ellers antages ved brug af den nuværende allometriske funktion for græs. Dermed viser resultaterne, at der som for rodbiomasse snarere bør benyttes et fast kulstofinput fra overjordiske afgrøderester uafhængig af græsudbyttet end et kulstofinput, som er stigende med stigende græsudbytte. I det samme forsøg, hvor ovenstående resultater stammer fra har vi opgjort effekten af græsandel i sædskiftet og gødskning på kulstoflagringen (Jensen et al., 2022). Forsøget blev anlagt i 1987, hvor et seksmarks sædskifte med to år med kløvergræs blev indført på et areal med korndyrkning som forhistorie. I 2006 blev eksperimentet opdelt i to; det ene sædskifte fortsatte med to år med kløvergræs, mens antal år med kløvergræs blev øget til fire i det andet sædskifte. Der blev udtaget jordprøver og målt kulstofindhold løbende i 0-20 cm jordlaget, og der blev udtaget uforstyrrede volumenfaste jordprøver til bestemmelse af volumenvægt i 2020. For sædskiftet med 1/3 kløvergræs i hele perioden steg kulstof i jord indtil en ny ligevægtstilstand blev opnået (Figur 1). Den nye ligevægtstilstand blev opnået efter 20 år, hvorefter kulstof i jord ikke ændrede sig yderligere. Den gennemsnitlige årlige lagring af kulstof ved at omlægge et areal, som tidligere blev brugt til korndyrkning, til et sædskifte med 1/3 kløvergræs blev bestemt til 0,25 tons $\text{ha}^{-1} \text{år}^{-1}$. I 2006 blev græsandelen i sædskiftet øget fra 1/3 til 2/3, hvilket medførte en lineær stigning i kulstof i jord, og der var endnu ikke tegn på en ny ligevægtstilstand (Figur 1). Det svarer til en ændring på 0,20 tons $\text{ha}^{-1} \text{år}^{-1}$, når man øger græsandelen i sædskiftet fra 1/3 til 2/3 i den 13 år lange periode.



Figur 1. Kulstof i jord i 0-20 cm for to sædskifter i perioden 1986 til 2018. Seks-marks sædskiftet bestod af to år med kløvergræs fra 1987 til 2006. I 2006 blev eksperimentet opdelt i to (markeret med den vertikale linje); det ene sædskifte fortsatte med to år med kløvergræs, mens antal år med kløvergræs blev øget til fire i det andet sædskifte. Standardfejlen er angivet ($n=60$).

Resultaterne på kulstof i jord viser dermed, at et sædskifte med fire år med kløvergræs øger jordens kulstoflager sammenlignet med et sædskifte med to år med kløvergræs. Dette er ikke i overensstemmelse med målinger af kulstoftilførsel fra en 1. årsgræsmark vs. en 4. årsgræsmark, som umiddelbart havde cirka samme totale C-tilførsel opgjort som summen af kulstoftilførsel i rødder og stub (Tabel 1). Her er det værd at bemærke, at vi ikke har målt rhizodeposition samt løbende afsætning af overjordiske afgrøderester i forsøget. Det må bidrage betydeligt til kulstoftilførslen fra græs til jorden – især i længerevarende græsmarker, idet vi ser en tydelig positiv effekt af øget græsandel i sædskiftet på ændringen i jordens kulstoflager.

Opdatering af kulstof-inputberegning i C-TOOL

I C-TOOL-modellen differentieres kulstof-inputtet fra græsmarker ikke ift. år, hvor marken ligger eller hvor den omlægges. Det er rimeligt at antage, at inputtet i omlægsår vil være markant større, hvis ellers omlægningen sker efter et fuldt produktionsår. Det beregnede input i C-TOOL-modellen repræsenterer således ét gennemsnit af både brugsår og omlægningsår, hvorved der ikke er nogen effekt af liggetid/persistens.

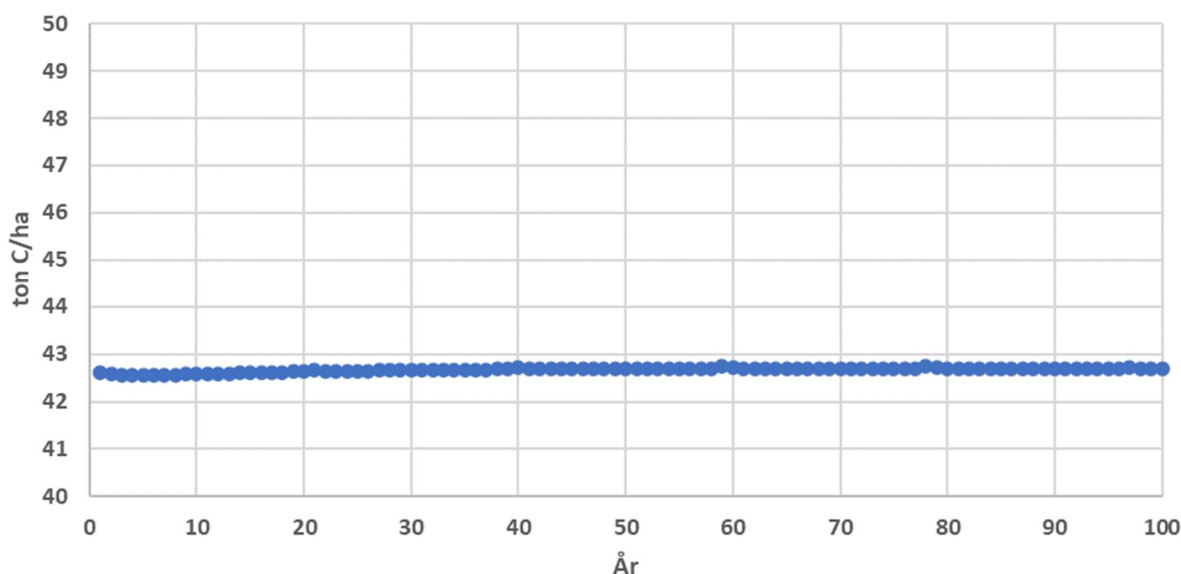
I det følgende beskrives, hvordan der er estimeret nye kulstof-input fra græsmarker i henholdsvis ligge- og omlægsår ved brug af C-TOOL-modellen og resultaterne fra forsøget beskrevet ovenfor. Information om jordtype, lerindhold, sædskifte og management er hentet fra Jensen et al. (2022).

Forud for de beskrevne forsøg beskrives arealet af være dyrket med et korn-sædskifte. Det antages, at denne praksis rækker langt tilbage og jorden kulstofindhold er i 'steady-state'. I Tabel 2 ses, at et tænkt sædskifte med vinterhvede efter vinterhvede med et udbytte på 80 hkg/ha og halmbjærgning beregnes at give et årligt kulstof-input på 4,32 ton C/ha.

Tabel 2. Tænkt sædskifte forud for beskrevet forsøg.

Hovedaf-grøde	Udbytte	Halm	Efteraf-grøde/udlæg	Udbytte	Organisk gødning	Mængde	Kulstof-input pr år
Vinterhvede	80 hkg/ha	Bjærget	-	-	-	-	4,32 ton C/ha

I Figur 2 er vist modellering af dette sædskifte ved C-TOOL over 100 år. Det ses, at sædskiftets kulstof-input netop kan opretholde udgangskulstofindholdet på ca 42,5 ton C/ha i overjorden.

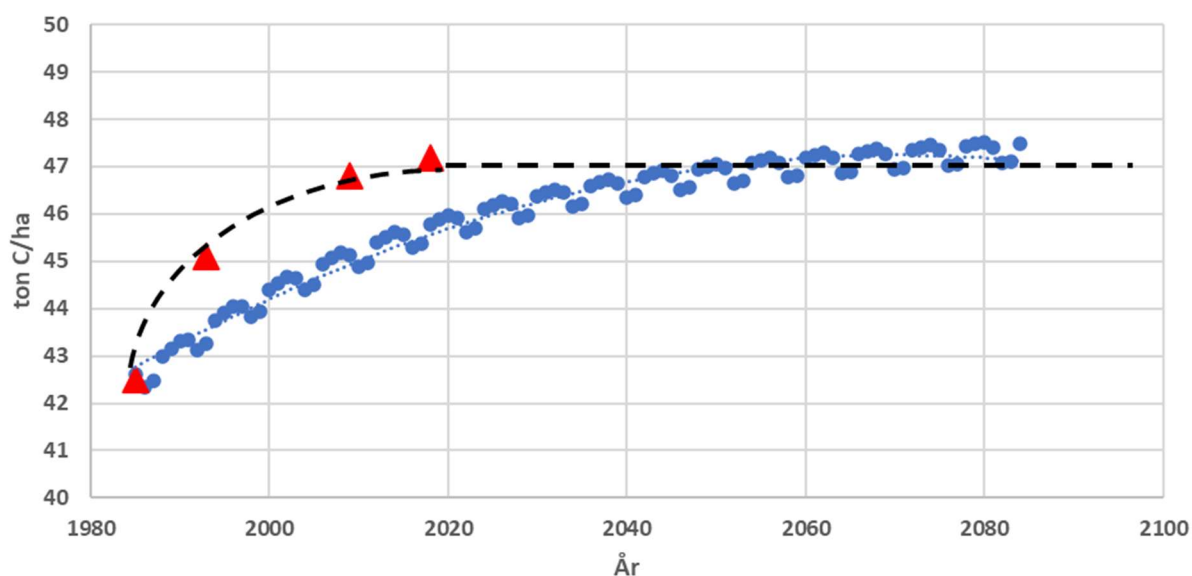


Figur 2. Modellering af jordens kulstofindhold i overjorden (0-25cm) med C-TOOL af sædskiftet beskrevet i Tabel 2. Det viste kulstofindhold er indholdet i HUM- og ROM-puljer.

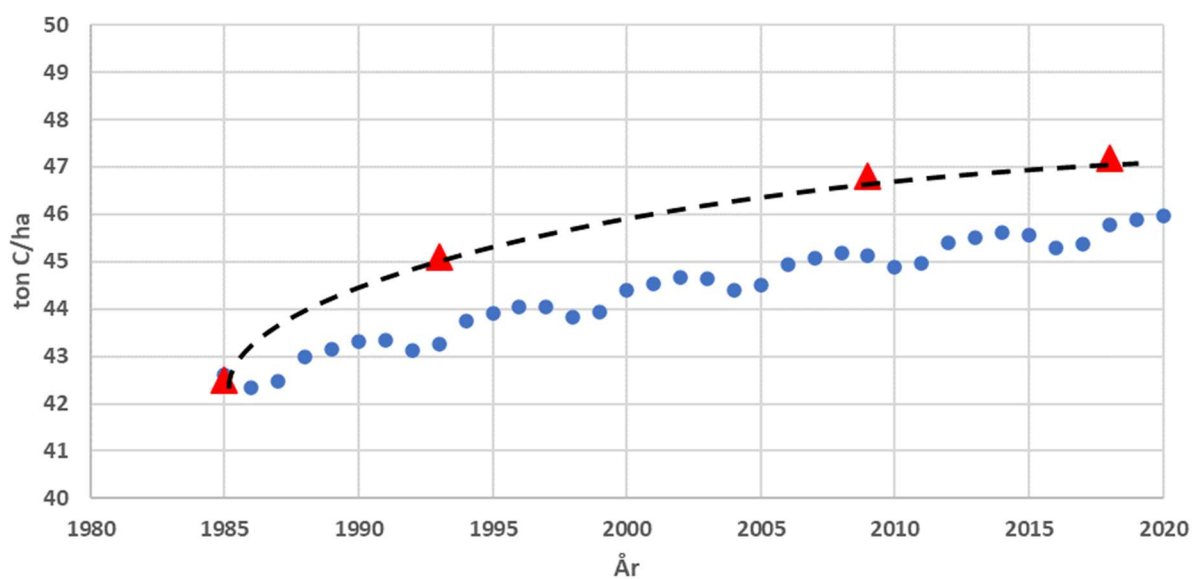
Sædskiftet med 1/3 græs, som blev introduceret ved forsøgets start i 1986 er vist i Tabel 3. Der er taget udgangspunkt i norm-udbytter på JB4, mens mængden af husdyrgødning ca svarer til den gennemsnitlige tilførsel i forsøget. Kulstof-inputtet fra kløvergræs-markerne er justeret sådan, at det C-TOOL-modelerede kulstofindhold når samme plateau (steady-state) som observeret i forsøget. Modelleringen over 100 år er vist i Figur 3 og for forsøgsperioden (1986-2018) i Figur 4.

Tabel 3. Sædskifte i forsøg med 1/3 græs.

Hovedaf-grøde	Udbytte	Halm	Efteraf-grøde/udlæg	Udbytte	Organisk gødning	Mængde	Kulstof-input pr år
Vårbyg	53 hkg/ha	Bjærget	Kløvergræsudlæg	620 FE/ha	-	-	2,86 ton C/ha
Kløvergræs	7400 FE/ha	-	-	-	Kvæggylle	25 ton/ha	4,70 ton C/ha
Kløvergræs	7400 FE/ha	-	-	-	Kvæggylle	25 ton/ha	7,85 ton C/ha
Vårbyg, helsæd	5900 FE/ha	-	Græsudlæg eft-afg	3000 FE/ha	-	-	4,93 ton C/ha
Vårhavre	52 hkg/ha	Bjærget	Græsudlæg eft-afg	1300 FE/ha	-	-	4,00 ton C/ha
Vårbyg	53 hkg/ha	Bjærget	Olieræddike eft-afg	1 ton TS/ha	-	-	4,16 ton C/ha
						Middel input:	4,75 ton C/ha



Figur 3. Modellering af jordens kulstofindhold i overjorden (0-25cm) med C-TOOL af sædskiftet beskrevet i Tabel 3 (Blå prikker) over 100 år. Det viste kulstofindhold er indholdet i HUM- og ROM-puljer. De røde trekanter viser målingerne i forsøget og den sorte linje regressionen over disse målinger.



Figur 4. Modellering af jordens kulstofindhold i overjorden (0-25cm) med C-TOOL af sædskiftet beskrevet i Tabel 3 (Blå prikker) over forsøgsperioden, 1986-2018. Det viste kulstofindhold er indholdet i HUM- og ROM-puljer. De røde trekanter viser målingerne i forsøget og den sorte linje regressionen over disse målinger.

Det ses i Figur 3 og 4, at modellen ikke er stand til at vise en så brat stigning i kulstofindholdet i overjorden efter sædskifteomlægningen til 1/3 græs, når der skal nås samme steady-state niveau på ca. 47 ton C/ha.

Justering af input fra græsmarker.

Inputtet fra kløvergræsmarkerne er i modellen justeret ved at antage, at inputtet fra stub på ca. 0,65 ton C/ha og fra rodbiomasse på ca. 2,5 ton C/ha, begge ifølge resultaterne præsenteret ovenfor, kun tilføres i omlægningsåret. Herefter er det antaget, at inputtet fra bladtab i både omlægs- og brugsår er på 0,5 ton C/ha. Det vil sige, at det overjordiske kulstofinput i omlægsår er på 0,65 ton C/ha(stub) + 0,5 ton C/ha(bladtab), i alt 1,15 ton C/ha, mod 0,5 ton C/ha(bladtab) i brugsår.

Inputtet fra underjordiske rester, udover rodbiomassen tilført i omlægsår, dvs. rodexudater og henfald af rødder, er herefter tilpasset, indtil steady-state i modelleringen ramte ca. 47 ton C/ha. Dette skete ved et årligt kulstofinput fra rodhenfald og exudater på 3,1 ton C/ha. Det vil sige, at det underjordiske kulstofinput i brugsår er 3,1 ton C/ha og 5,6 ton C/ha i omlægningsår.

I tabel 4 ses sædskiftet med 2/3 græs, som blev introduceret i en del af forsøget fra 2006. Modelleringen med C-TOOL af dette sædskifte, fra 2006 og i henholdsvis forsøgsperioden, 2006-2018, og i 100 år, ses i Figur 5 og Figur 6.

Tabel 4. Sædskifte i forsøg med 2/3 græs.

Hovedafgrøde	Udbytte	Halm	Efterafgrøde/udlæg	Udbytte	Organisk gødning	Mængde	Kulstofinput pr år
Vårbyg	53 hkg/ha	Bjærget	Kløvergræsudlæg	620 FE/ha	-	-	2,86 ton C/ha
Kløvergræs	7400 FE/ha	-	-	-	Kvæggylle	25 ton/ha	4,70 ton C/ha
Kløvergræs	7400 FE/ha	-	-	-	Kvæggylle	25 ton/ha	4,70 ton C/ha
Kløvergræs	7400 FE/ha	-	-	-	Kvæggylle	25 ton/ha	4,70 ton C/ha
Kløvergræs	7400 FE/ha	-	-	-	Kvæggylle	25 ton/ha	7,85 ton C/ha
Vårbyg, helsæd	5900 FE/ha	-	Græsudlæg eft-afg	3000 FE/ha	-	-	4,93 ton C/ha
						Middel input:	4,96 ton C/ha

Opdatering af C-TOOL med ny input-funktion i græs

Ansvarlig

hevp

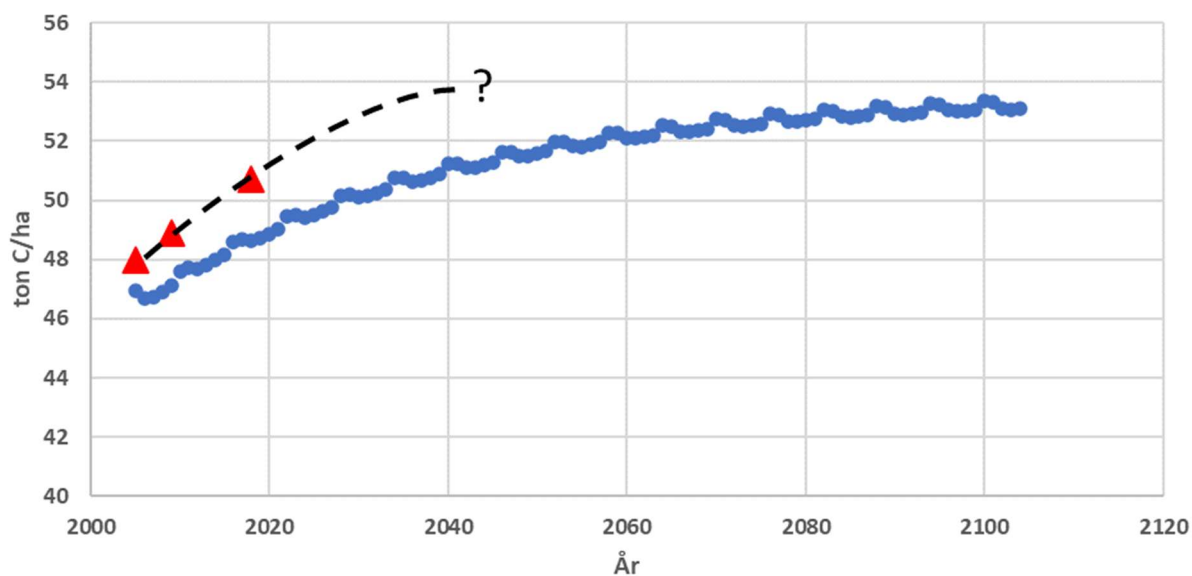
Oprettet

02-11-2022

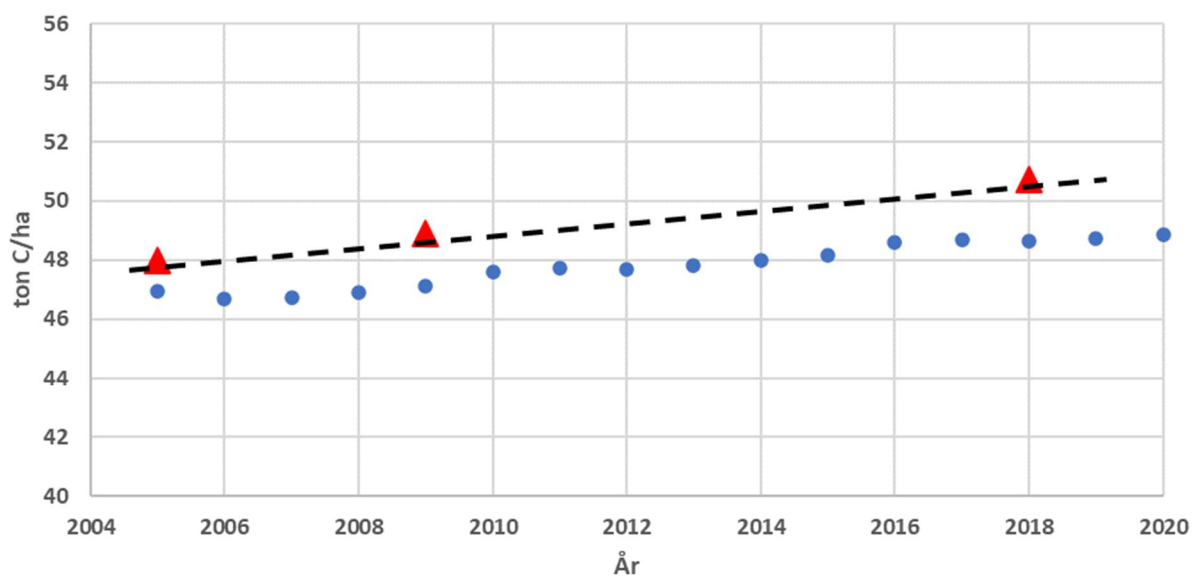
Projekt: 8512 Få styr på kulstoffet i jorden.

Side

7 af 8



Figur 5. Modellering af jordens kulstofindhold i overjorden (0-25cm) med C-TOOL af sædskiftet beskrevet i Tabel 4 (Blå prikker) i 10 år. Det viste kulstofindhold er indholdet i HUM- og ROM-puljer. De røde trekanter viser målingerne i forsøget og den sorte linje regressionen over disse målinger.



Figur 6. Modellering af jordens kulstofindhold i overjorden (0-25cm) med C-TOOL af sædskiftet beskrevet i Tabel 4 (Blå prikker) over forsøgsperioden, 1986-2018. Det viste kulstofindhold er indholdet i HUM-

og ROM-puljer. De røde trekanter viser målingerne i forsøget og den sorte linje regressionen over disse målinger.

Det ses i Figur 5 og 6, at der fra steady-state kulstofindholdet ved sædskiftet med 1/3 græs på ca 47 ton C/ha, i modelberegningen og sker en stigning med introduktion af sædskiftet med 2/3 græs. Igen her beregner modellen ikke en så skarp stigning, som fundet ved målinger i forsøget. Figur 4 indikerer, at steady-state niveauet ifølge C-TOOL for dette sædskifte ligger på ca. 53 ton C/ha.

Kulstofinput

Af Tabellerne 2, 3 og 4 ses det gennemsnitlige kulstofinput på tværs af sædskifterne. De gennemsnitlige kulstofinput stiger fra vinterhvede efter vinterhvede på 4,32 ton C/ha (antaget steady-state på 42,5 ton C/ha), til 1/3 græs på 4,75 ton C/ha (steady-state på ca. 47 ton C/ha) og videre til 2/3 græs med 4,96 ton C/ha (modelleret steady-state på ca. 53 ton C/ha).

Det ses af Tabel 2 og 3, at kulstofinputtet fra græs i brugsår i modellen beregnes til 4,70 ton C/ha og til 7,85 ton C/ha i omlægningsår. Det betyder, at det gennemsnitlige kulstofinput fra græsmarkerne i sædskiftet med 2 års græs ud af 6 år er på 6,28 ton C/ha, mens det er på 5,49 ton C/ha.

Referencer

- Cong, W-F., Christensen, B. T., Eriksen, J. 2019. Soil nutrient levels define herbage yield but not root biomass in multispecies grass-legume ley. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 276, 47-54.
- Jensen, J. L., Beucher, A. M., Eriksen, J. 2022. Soil organic C and N stock changes in grass-clover leys: Effect of grassland proportion and organic fertilizer. *Geoderma* 424, 116022.
- Taghizadeh-Toosi, A., Christensen, B.T., Hutchings, N.J., Vejlin, J., Kätterer, T., Glendining, M., Olesen, J.E. 2014. C-TOOL: a simple model for simulating whole-profile carbon storage in temperate agricultural soils *Ecological Modelling*, 292, 11-25.