

Dyrkning af raps med lavt klimaaftryk: "Klimaraps"



Forfattere:

Benita Hyltdgaard, SEGES Innovation, Planter & Miljø – Klima

Christine Thomsen, SEGES Innovation, Planter & Miljø – Klima

Betina Nørgaard Pedersen, SEGES Innovation, Planter & Miljø – Jord & Dyrkningsystemer

Projekt: Få styr på kulstoffet i jorden

Promilleafgiftsfonden for landbrug

Introduktion

Når der dyrkes afgrøder på en mark, udledes både CO₂ og lattergas, som begge er klimagasser. Der er en række klimavirkemidler der kan tages i brug for at reducere udledningen af klimagasser i plante-produktionen¹.

Produktaftrykket er en samlet opgørelse over alle udledninger af klimagasser fra alle aktiviteter fra alle sektorer (f.eks. både fra energi- og landbrugssektoren), der er sket i forbindelse med tilblivelsen af et produkt, som i dette tilfælde er frøudbyttet ved dyrkning af vinterraps. I beregning af et produktaftryk indgår både de biologiske processer i marken, men også klimaaftrykket fra fremstilling og transport af produkter, der indkøbes til bedriften og bruges i marken (f.eks. handelsgødning og planteværn).

Udledninger af klimagasser fra planteproduktionen inkluderer både CO₂ (kuldioxid) og lattergas (N₂O), hvor udledninger af lattergas omregnes til CO₂-ækvivalenter (CO₂e) ved hjælp af en omregningsfaktor: GWP, global warming potential, på 265, ifølge den nyeste nationale opgørelse², som laves én gang årligt af DCE – Nationalt center for Miljø og Energi på Aarhus Universitet.

Klimatiltag ved dyrkning af vinterraps

En afgrødes klimaaftryk beregnes ud fra de ressourcer, der er anvendt til dyrkningen (inkl. importerede produkter) og opgøres på basis af udbyttet (dvs. kg CO₂e pr. kg produceret enhed), og derfor opnås det lavest mulige klimaaftryk ved at optimere udbyttet med brug af færrest mulige ressourcer.

Her gennemgår vi mulighederne for at reducere klimaaftrykket ved dyrkning af vinterraps. Afsnittene nedenfor skal ses som tilføjelser eller supplement til dyrkningsvejledningen for vinterraps, som kan findes på LandbrugsInfo: [Dyrkningsvejledning for vinterraps \(landbrugsinfo.dk\)](https://landbrugsinfo.dk)

Hvis du ønsker at afsætte rapsfrø til produktion af biodiesel og/eller rapshalm til biogasanlæg bør du ligeledes gøre dig bekendt med kravene inden du påbegynder dyrkningen.

Samdyrkning/brug af hjælpeafgrøde

Dyrkning af kløver eller anden hjælpeafgrøde sammen med vinterraps vil øge kulstofinputtet til jorden og evt. bidrage med næringsstoffer, hvorved kvælstofdeling kan reduceres³. Tildeling af kvælstofholdig gødning fører til udledning af lattergas og en reduktion i gødningstildeling vil derfor reducere klimaaftrykket på udbyttet.

En hjælpeafgrøde kan udover et ekstra kulstofinput være gavnlig i forhold til skadedyr, idet rapsjordlopper og snegle foretrækker f.eks. kløver fremfor raps, hvilket reducerer risikoen for tab af udbytte⁴. Det skal dog nævnes, at en hjælpeafgrøde i visse tilfælde kan konkurrere med afgrøden om de tilgængelige næringsstoffer i jorden og dermed påvirke udbyttet negativt.

¹ Henriksen, L., Kaiser, K., Christensen, M.N., Hyldgaard, B., Wiborg, I.A., Toft, L.V., Hvid, S.K., Holm, M., Tybirk, P., Nielsen, N.I. 2023. [Klimavirkemidler til dansk landbrug](#). SEGES Innovation P/S.

² Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S. m.fl.. 2023. [Denmark's National Inventory Report 2023. Emission Inventories 1990-2021 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change](#). Aarhus Universitet, DCE – Nationalt center for Energi og Miljø, Rapport nr. 541.

³ [Næringsstof- og kulstofbidrag fra efterafgrøder \(landbrugsinfo.dk\)](#)

⁴ [Effekten af companion crops i vinterraps til reduktion af angreb af rapsjordlopper \(landbrugsinfo.dk\)](#)

Vanding

Som det fremgår af dyrkningsvejledningen har vinterraps et dybtgående rodnet, men på lettere jordtyper kan vanding omkring blomstring være afgørende for udbyttet. Vandbalancemodulet i CropManager⁵ kan benyttes til at opnå optimal vanding. Der bruges energi ved vanding og dermed udledes CO₂, medmindre der benyttes solceller eller anden vedvarende energikilde (ca. 0,6 kg CO₂e pr. mm pr. ha).

Jordtype

Dyrkning af vinterraps på humusrig jord bør undgås, hvis man ønsker et lavt klimaaftryk, idet dræning af humusrig jord (JB11) fører til nedbrydning af tørvematerialet i den kulstofrige jord og dermed udledning af store mængder CO₂. Der udledes op til 42 tons CO₂e pr. ha pr. år for marker med et indhold af organisk stof på 12% eller mere og ca. 21 tons CO₂e pr. ha pr. år for marker med 6-12% organisk indhold⁶⁺⁷.

Pløjefri dyrkning

Ved pløjefri dyrkning spares brændstof til maskinhandling og dermed reduceres udledningen af CO₂ (ca. 3,4 kg CO₂e pr. liter diesel). Det er dog vigtigt at holde sig for øje, at klimaaftrykket opgøres på produktniveau, dvs. som kg CO₂e pr. kg udbytte, og derfor er optimering af udbyttet helt centralt for at minimere klimaaftrykket. Det anbefales derfor kun at benytte pløjefri dyrkning eller reduceret jordbearbejdning, hvis det er muligt at opretholde et uændret udbyttensniveau.

Kvælstofholdig gødning

Hvis der kan opnås en merpris for udbytte med et lavt klimaaftryk, bør denne merpris indgå i beregningerne, når der laves en gødningsplan.

Ved udbringning af kvælstofholdig gødning omdannes 1% af det tilførte kvælstof til lattergas⁸. Det er derfor vigtigt at optimere tilførslen af kvælstofgødning og undgå overgødsning. Reduktion af kvælstofforbruget vil føre til et lavere klimaaftryk, hvis udbyttet er uændret. Gødsningen kan optimeres ved at følge vejledninger gældende for vinterraps hhv. forår⁹ og efterår¹⁰⁺¹¹.

Hvis det er muligt at sikre god etablering ved tidlig såning, vil det være medvirkende til at reducere klimaaftrykket, idet behovet for tilførsel af kvælstof i efteråret reduceres.

Brug af nitrifikationshæmmer kan reducere lattergasdannelsen ved gødningsudbringningen med ca. 40%. Nitrifikationshæmmer kan benyttes ved tildelingen af både kvælstofholdig handelsgødning og husdyrgødning.

Produktaftryk for handelsgødning

Produktion af handelsgødning indgår i opgørelsen af udbyttet klimaaftryk og det er derfor relevant at minimere brugen af handelsgødning. Klimaaftrykket fra produktion af handelsgødning afhænger af producenten, men på nuværende tidspunkt er der ikke oplyst et klimaaftryk for alle typer af handelsgødning fra alle producenter. Gennemsnittet for kvælstofgødninger produceret i EU er 3,8 kg CO₂e pr.

⁵ [Sådan følger du vandbalancen i dine marker med CropManager \(landbrugsinfo.dk\)](#)

⁶ Greve M.H. et al. 2021. [Vidensyntese om kulstofrig lavbundsjord](#). Aarhus Universitet, DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug.

⁷ Gyldenkærne, S. og Greve, M. 2020. Bestemmelse af drivhusgasemissionen fra lavbundslande. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, Rapport nr. 384.

⁸ Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 2019.

⁹ [Gødsning af vinterraps i foråret 2023 \(landbrugsinfo.dk\)](#)

¹⁰ [Gødsning af vinterraps om efteråret \(landbrugsinfo.dk\)](#)

¹¹ [Fastsæt kvælstofbehovet til vinterraps ud fra biomassemålinger i efteråret \(landbrugsinfo.dk\)](#)

kg N for ammoniumnitrat og 2,8 kg CO₂e pr. kg N for svovlsur ammoniak. Klimaaftrykket fra handelsgødning produceret i Rusland er markant højere.

Benyttelsen af svovlsur ammoniak har både et lavere produktaftryk, men der er yderligere en positiv klimateffekt, hvis denne gødningstype bruges samtidig med nitrifikationshæmmer, da nitrifikationshæmmere netop hæmmer den mikrobielle proces, nitrifikation, hvor ammonium omdannes til nitrat. Der kan også dannes lattergas i marken, når nitrat ved denitrifikation omdannes til frit kvælstof. Ved at bruge en handelsgødning med 100% ammonium kombineret med nitrifikationshæmmer, minimeres lattergasdannelsen fra begge processer. "Grøn ammoniak" er også tilgængelig på markedet, hvor klimaaftrykket ved produktion af gødningsproduktet er minimeret.

Ved første tildeling i foråret kan det overvejes at benytte svovlsur ammoniak, i det omfang det er muligt, for bedrifter med husdyrgødning, mens bedrifter uden husdyrgødning anbefales at benytte NS 26-14 til første tildeling og ammoniumnitrat ved anden tildeling. Dette er for at minimere klimaaftrykket fra handelsgødningen – men der kan være forhold i marken, som gør valg af andre typer af handelsgødning mere optimalt både i forhold til klimaaftryk og økonomi. Der er ved anvendelse af svovlsur ammoniak restriktioner ift. udbringningstidspunkt og der skal være opmærksomhed på ikke at overskride grænserne for tildeling af svovl.

Kvælstofudvaskning

Der udledes også lattergas fra udvasket kvælstof, hvorfor det er relevant at minimere kvælstofudvaskning, i det omfang det er muligt. Udvasning beregnes dog på nuværende tidspunkt som en fast faktor (37 kg N pr. ha for vinterraps) og lattergasdannelse beregnes som en fast andel af udvasket N (0,75% af udvasket N bliver til lattergas).

Udbringningstidspunkt

For at reducere klimaaftrykket kan det overvejes at minimere antallet af gødningsudbringninger og benytte to gødningstildelinger i foråret fremfor tre, hvis det kan lade sig gøre. Der udledes ca. 9,5 kg CO₂ pr. ha fra brændstofforbrug ved udbringning af handelsgødning. Hertil kommer køreturen til og fra marken, som skal lægges oveni. Der udledes ca. 3,4 kg CO₂ pr. liter diesel.

Der arbejdes på SEGES Innovation på at udvikle et værktøj, som kan hjælpe med at vælge den bedste dag til gødningsudbringning i forhold til at minimere risikoen for lattergasdannelse. Når et sådant værktøj bliver tilgængeligt, anbefales det at bruge det.

Plantebeskyttelse

Optimering af udbyttet er helt centralt for at opnå et lavt klimaaftryk på et udbytte. Det anbefales derfor at være opmærksom på både alle typer af skadevoldere og ukrudt. Plantebeskyttelsesmidler har generelt et lavt produktaftryk på maks. 5,3 kg CO₂e pr. liter og mange midler ligger under 1 kg CO₂e pr. liter. Dog skal der også beregnes udledninger af CO₂ fra brændstofforbruget ved marksprøjtning, som typisk er ca. 7 kg CO₂e pr. ha.

CO₂-udledningen fra brændstofforbruget ved mekanisk ukrudtsbekæmpelse (bl.a. radrensning) er ca. 13,3 kg CO₂e pr. ha.

Bjærgning af halm

Halmbiomassen kan bjærges f.eks. til brug i biogasanlæg. Brug af rapshalm i biogasanlæg er dog stadig under udvikling og skal optimeres inden det for alvor kan træde i kraft.

Ved bjærgning af halm reduceres kulstofinputtet til jorden, medmindre der efterfølgende tilføres afgasset biomasse til jorden. Samtidig reduceres lattergasudledningen fra afgrøderest i marken, da afgrøderesten ved bjærgning af halm mindskes. Bjærgning af rapshalm til kraftvarmeværker vil samlet set

øge klimaaftrykket på de producerede rapsfrø, da der her ikke føres noget tilbage til marken og kulstofinputtet til jorden derved reduceres. Brug af rapshalm i kraftvarmeværker vil, ligesom ved brug i biogasanlæg, reducere brugen af fossile brændsler og give en klimaeffekt i det nationale klimaregnskab for Danmark.

Læs her om krav ved levering af halm til kraftvarmeværker og biogasanlæg:

[Nye krav ved levering af halm til store kraftvarmeværker og biogasanlæg \(landbrugsinfo.dk\)](#)

Læs også om hvordan du minimerer lattergasdannelsen fra afgrøderesten i marken her:

[Håndtering af planterester i marken – undgå tab af lattergas \(landbrugsinfo.dk\)](#)

Biokul

Kulstofindholdet i marken kan øges ved tilførsel af biokul (ca. 750 kg CO_{2e}/ton halm, som laves til biokul og spredes på marken; ca. 2,5 kg CO_{2e}/kg biokul).

Tilførsel af biokul til marken bidrager, alt efter hvilket materiale biokulproduktionen er baseret på, også med næringsstoffer, såsom fosfor. Der kan også være en vis mængde kvælstof i biokulproduktet, men det er bundet i stabile kulstofforbindelser og er derfor ikke tilgængeligt for planterne¹².

Læs her om hvordan biokul/biochar kan spredes på marken: [Hvordan spreder vi biochar på marken? \(landbrugsinfo.dk\)](#); [Regler og anbefalinger til sikker anvendelse af biokul på landbrugsjord \(landbrugsinfo.dk\)](#); [Ændrede regler for brug af biokul på landbrugsarealer \(landbrugsinfo.dk\)](#)

Tørring af udbytte

Udledningen af CO₂ fra energiforbrug ved tørring varierer alt efter hvilken tørringsmetode, der benyttes¹³. Udledningen er ca. 4,8 kg CO_{2e} pr. ton høstet udbytte.

¹² Elsgaard, et al. 2022: [Videnssynthese om biokul i dansk landbrug](#), Aarhus Universitet, DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug.

¹³ [Energiforbrug ved tørring af afgrøder \(landbrugsinfo.dk\)](#)

Markforsøg

I denne rapport har vi belyst effekten af valg af klimavirkemiddel på udbyttets produktaftryk ved at analysere en række markforsøg i tre forsøgsserier, hvor der er benyttet henholdsvis 1) Tilførsel af biokul; 2) Forskellige gødningsstrategier; 3) Brug af nitrifikationshæmmere.

I bilag 1 kan ses en detaljeret gennemgang af antagelser og forudsætninger, som ligger til grund for klimaberegningerne.

For en mark med vinterraps har vi medregnet følgende elementer, som vises i figurene i dette afsnit:

- "Kulstofbalance"
 - Kulstofbalancen beregnes ud fra sammenligning af kulstofinput til jorden fra over- og underjordisk afgrøderest i vinterraps sammenlignet med kulstofinput i en gennemsnitlig dansk mark (4093 kg C/ha/år).
 - I den valgte beregningsmetode for kulstofbalance, sker der en kulstoflagring (dvs. en negativ kulstofbalance), når kulstofflørslen til jorden er større end det gennemsnitlige input af kulstof til en dansk mark, idet der i en gennemsnitlig dansk mark er opstået en ligevægt, hvorved det årlige kulstofinput og den årlige kulstoffrigivelse fra marken, grundet mikrobiel omsætning i jorden, opvejer hinanden.
 - I nedenstående figurer er en positiv værdi for kulstofbalance lig med en kulstoffrigivelse og en negativ værdi er lig med kulstoflagring.
 - Idet kulstofbalancen opgøres ud fra et gennemsnitsscenario, skal opgørelser, der resulterer i en negativ kulstofbalance i denne rapport ikke anses som et udtryk for, at der i alle marker med denne forsøgsbehandling vil opnås en kulstoflagring, idet den årlige frigivelse af kulstof er afhængig af kulstofindholdet i jorden.
- "Afgroderest"
 - Lattergasudledning fra nedbrydning af over- og underjordiske afgrøderester.
 - Det kan ses i figurene nedenfor, at størrelsen på denne sølje er uændret imellem forsøgsbehandlinger indenfor en forsøgsserie, fordi afgrøderesten beregnes på baggrund af udbyttet og produktaftrykket, som vises i figurene, er udtrykt på basis af udbyttet. Derfor vil lattergasfrigivelsen pr. hkg udbytte fra afgrøderesten være uafhængig af forsøgsbehandlingen.
- "Energj"
 - CO₂ udledning ifm. forbrug af brændstof ved markarbejde. Inkl. udledning ved produktion
- "Hjælpestoffer"
 - CO₂ udledning ved brug af energi til produktion af udsæd, pesticider og handelsgødning
 - CO₂ udledning ved kalkning, hvor CaCO₃ omdannes til CO₂ i marken
- "N₂O fra gødning"
 - Lattergasudledning ved gødningstildeling, inkluderer både den direkte dannelse af lattergas (nitrifikation + denitrifikation) og indirekte lattergasdannelse fra kvælstof fordampet som ammoniak og udvasket kvælstof.

Forsøg med tilførsel af biokul

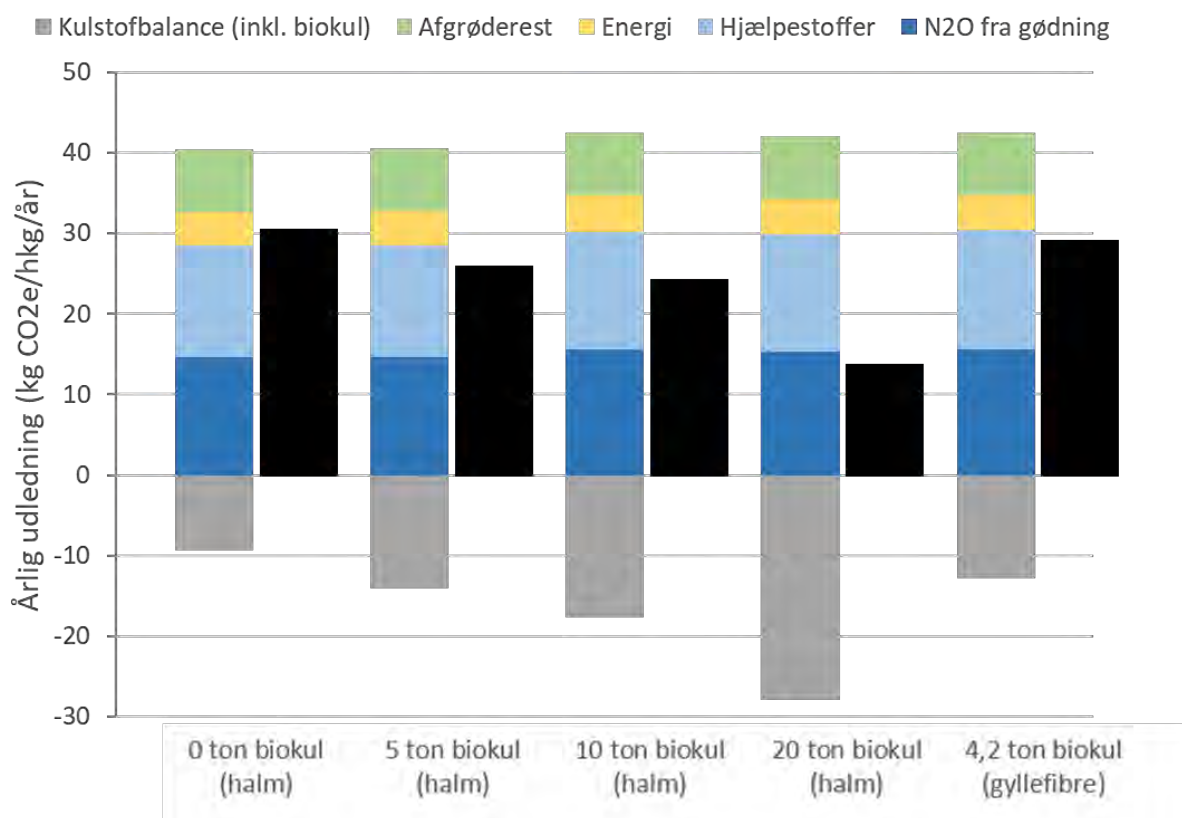
Biokul eller biochar fremstilles gennem pyrolyse af organisk materiale, såsom afgrøderester og organiske gødningsfraktioner og forventes primært at blive benyttet som klimavirkemiddel til at øge kulstoflagringen i marken. Biokul har en høj koncentration af kulstof og lave niveauer af brint og ilt, hvilket gør det svært nedbrydeligt. Når biokul tilsættes jorden, binder det kulstof til jorden i mange årtier og formentlig flere århundreder, hvilket resulterer i en reduktion af atmosfærens CO₂-indhold.

Landsforsøget "Biochar til vinterraps"¹⁴ blev anlagt på to lokaliteter i efteråret 2022 og høstet i 2023. Formålet med forsøget var at teste effekten på udbyttet af vinterraps ved tildeling af to forskellige typer af biokul (fremstillet af hhv. halm og gyllefibre), hvor biokul fra halm blev tildelt i forskellig mængde (Tabel 1).

Tabel 1: Forsøgsbehandlinger og udbytte for de to enkeltforsøg i forsøgsserien "Biochar til vinterraps".

Beh.	Mængde biokul (ton/ha)	Biomassekilde til biokul	Udbytte	
			Vestjylland JB5/JB6 (kg/ha)	Østjylland JB4 (kg/ha)
1	0	Halm	5216 (JB5)	5977
2	5	Halm	5268 (JB6)	5869
3	10	Halm	5047 (JB5)	5413
4	20	Halm	5101 (JB5)	5497
5	4,2	Gyllefibre	5222 (JB5)	5805

Udbyttet i forsøget i Østjylland var højere end forsøget i Vestjylland, men tendensen i variationen i udbyttet mellem behandlingerne var sammenlignelig.



Figur 1: Udledninger af klimagasser ved dyrkning af vinterraps med tilførsel af forskellige mængder biokul baseret på enten halm eller gyllefibre (Landsforsøget "Biochar til vinterraps"). I figuren ses gennemsnit af to enkeltforsøg (Tabel 1). Den sorte sølje viser det samlede produktaftryk for rapsudbyttet.

¹⁴ [080232323 Biochar til vinterraps](#)

Øget kulstoflagring ved tilførsel af biokul:

I alle behandlinger ligger den grå sølje under nul og indikerer dermed en opbygning af kulstof i jorden, dvs. en kulstoflagring (Figur 1). Det ses tydeligt i figur 1, at der er en sammenhæng mellem mængden af tilført biokul og kulstoflagringen, hvilket også forventes.

Biokul indeholder også en vis mængde kvælstof fra den biomasse, som biokulproduktet er lavet af. Forsøg har vist, at kvælstof bliver bundet i stabile kulstofforbindelser i pyrolyseprocessen og derfor ikke er tilgængeligt for hverken mikroorganismer eller planter¹⁵. Der beregnes derfor ingen lattergasdannelse fra kvælstofmængden i biokul.

Det laveste produktaftryk opnås ved den tilførsel af 20 tons biokul pr. ha:

Det laveste produktaftryk opnås, når der tilføres 20 tons biokul (halm) pr. ha til trods for, at der her er en betydelig nedgang i udbyttet (Tabel 1). En tilførsel af biokul i denne størrelsesorden er ikke praktisk mulig at udføre hvert år på alle marker, idet det kræver at restbiomasse fra flere marker pyrolyseres.

Hvorvidt kulstoflagringen fra biokul potentielt kan fordeles over udbyttet fra flere år eller over flere marker end der hvor biokulproduktet er spredt er endnu ikke afklaret.

Forsøg med brug af nitrifikationshæmmere ved gylletilførsel om efteråret

Lattergas og CO₂ er de primære klimagasser, der udledes i forbindelse med afgrødeproduktionen. Reduktion af lattergasemissionen har en stor effekt på det samlede klimaregnskab, da opvarmningseffekten i atmosfæren (Global warming potential, GWP) er meget højere for lattergas end for CO₂. Som tidligere skrevet, svarer udledning af 1 kg lattergas til 265 kg CO₂.

Lattergas dannes i jorden, når der er kvælstof til stede, ved to processer, henholdsvis nitrifikation, hvor bakterier omdanner ammonium (NH₄⁺) til nitrat (NO₃⁻) og denitrifikation, hvor nitrat omdannes til frit kvælstof. I begge processer kan der, alt efter tilgængeligheden af ilt, dannes lattergas.

Nitrifikationshæmmere er et kemisk produkt, som hæmmer den mikrobielle nitrifikation, hvilket direkte reducerer dannelse af lattergas ved nitrifikation. Samtidig reduceres udvaskningen af kvælstof, idet ammonium er mindre mobilt end nitrat og dermed ikke udvaskes så nemt. Dette giver planterne længere tid til at optage det tilgængelige kvælstof i gødningen og kvælstofudnyttelsen øges. Der dannes også lattergas fra udvasket kvælstof og samlet set reduceres lattergasdannelsen ved brug af nitrifikationshæmmere derfor ved at påvirke flere processer.

Formålet med landsforsøgene "Gylle med nitrifikationshæmmere til vinterraps om efteråret"¹⁶⁺¹⁷ var at undersøge om tilsætning af nitrifikationshæmmer (Vizura) til gylle udbragt før såning (nedfældet) og i etableret vinterraps (slangeudlagt) kunne forbedre kvælstofudnyttelsen og øge udbyttet. I denne rapport fokuseres på produktaftrykket af det høstede udbytte.

Forsøget er gentaget i to vækstsæsoner med en mindre justering af kvælstofmængden (Tabel 2 og 3).

I vækstsæson 2018/2019 blev der anlagt forsøg på tre lokaliteter, men kun to af forsøgene blev gennemført og godkendt. I forsøget blev der tildelt svinegylle svarende til 70 kg NH₄-N pr. ha ved såning

¹⁵ Elsgaard, et al. 2022: [Videnssynthese om biokul i dansk landbrug](#), Aarhus Universitet, DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug.

¹⁶ [070801919 Gylle med nitrifikationshæmmere til vinterraps om efteråret](#)

¹⁷ [070802121 Gylle med nitrifikationshæmmere til vinterraps om efteråret](#)

(nedfældet) eller efter fremspiring (slangeudlagt) eller 100 kg NH₄-N pr. ha efter fremspiring (slangeudlagt) med eller uden tilsætning af nitrifikationshæmmer (Vizura) (Tabel 2). I foråret blev handelsgødning (NS 26-14) tildelt, således alle forsøgsbehandlinger fik i alt 170 kg N.

I vækstsæson 2020/2021 blev der, ligesom i 2018/1029, anlagt forsøg på tre lokaliteter, men her blev også kun to af forsøgene gennemført og godkendt. Den samlede kvælstofmængde blev opjusteret med 25 kg N pr. ha og forskellen mellem de to gyllebehandlinger blev øget med 10 kg N pr. ha (Tabel 3). I 2020/2021 blev der derfor tildelt svinegylle svarende til 60 eller 100 kg NH₄-N pr. ha og i foråret blev 135 eller 95 kg N pr. ha tildelt som handelsgødning, således alle forsøgsbehandlinger fik i alt 190 kg N. Ligesom i 2018/2019 blev alle gødningstildelinger testet med og uden tilsætning af nitrifikationshæmmere (Tabel 3).

Tabel 2: Forsøgsbehandlinger og udbytter i to enkeltforsøg i forsøgsserien "Gylle med nitrifikationshæmmere til vinterraps om efteråret" i vækstsæson 2018/2019.

Beh.	Svinegylle før såning (kg NH ₄ -N/ha)	Handelsgødning forår (kg N/ha)	Udbringningsmetode	Nitrifikationshæmmer (Vizura) anvendt	Udbytte Østjylland JB1 (kg/ha)	Udbytte Østjylland JB1 (kg/ha)
1	70	100	Nedfældet	Nej	3000	5406
2	70	100	Nedfældet	Ja	3406	4858
3	70	100	Slangeudlagt	Nej	3903	5399
4	70	100	Slangeudlagt	Ja	3655	5198
5	100	70	Slangeudlagt	Nej	4023	5328
6	100	70	Slangeudlagt	Ja	4001	5044

Tabel 3: Forsøgsbehandlinger og udbytter i to enkeltforsøg i forsøgsserien "Gylle med nitrifikationshæmmere til vinterraps om efteråret" i vækstsæson 2020/2021.

Beh.	Svinegylle før såning (Kg NH ₄ -N/ha)	Handelsgødning forår (kg N/ha)	Udbringningsmetode	Nitrifikationshæmmer (Vizura) anvendt	Udbytte Østjylland JB5 (kg/ha)	Udbytte Østjylland JB6 (kg/ha)
1	60	135	Nedfældet	Nej	4261	4045
2	60	135	Nedfældet	Ja	4322	3925
3	60	135	Slangeudlagt	Nej	4214	4002
4	60	135	Slangeudlagt	Ja	4408	3849
5	100	95	Slangeudlagt	Nej	3957	4104
6	100	95	Slangeudlagt	Ja	3750	4043

Forskel i udbytte giver forskel i produktaftryk:

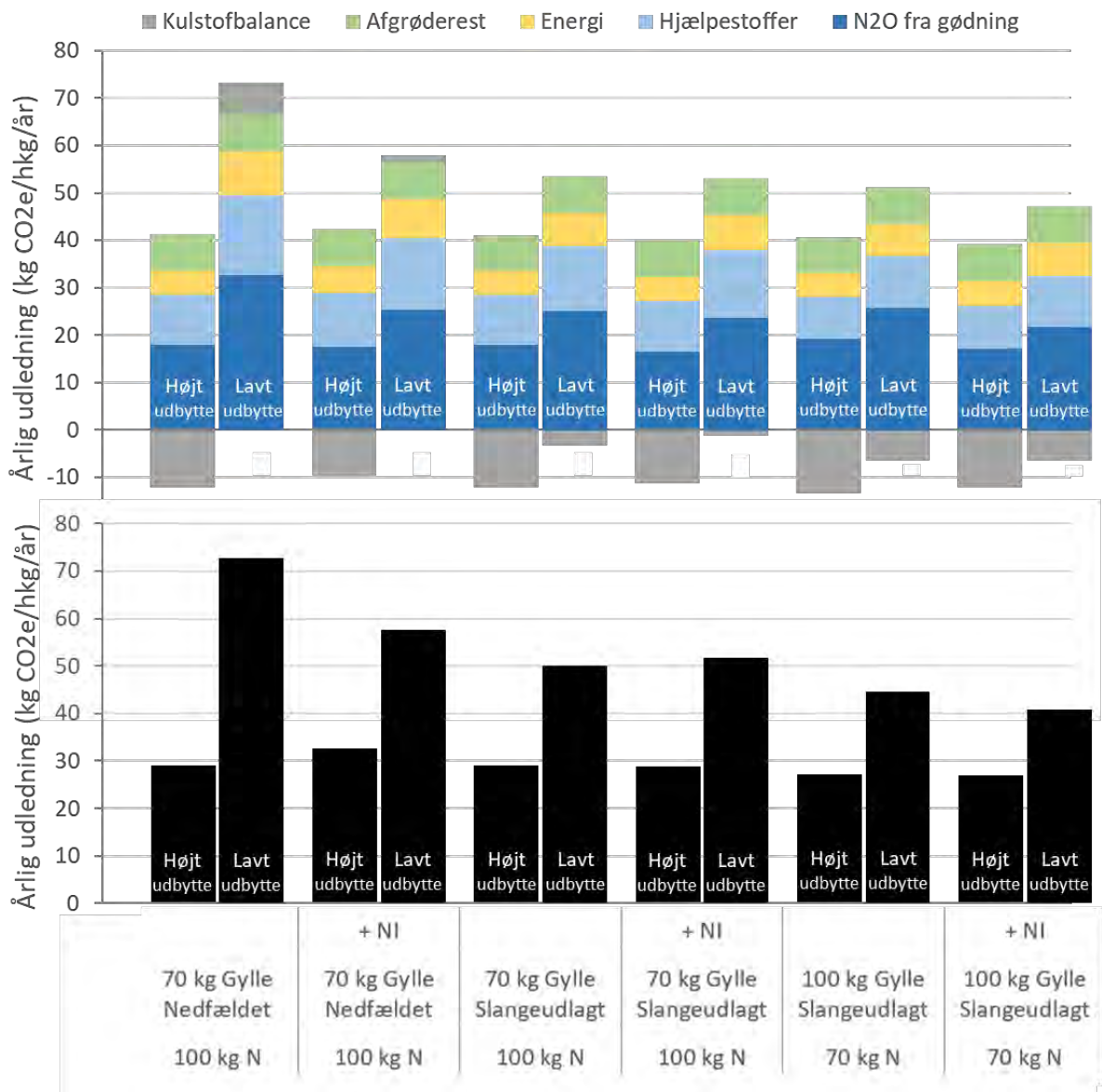
I det første forsøgsår, med høst i 2019 var der stor forskel i udbyttet mellem de to enkeltforsøg, som begge lå på JB1 jord (Tabel 2), og udbyttet i det ene enkeltforsøg var også markant højere end for begge enkeltforsøg i høståret 2021 (Tabel 3), hvor forsøget blev gentaget i samme geografiske område, dog på hhv. JB5 og JB6.

Udbyttene har stor indflydelse på det beregnede produktaftryk (sorte søjler i Figur 2), idet de samlede emissioner fra afgrødeproduktionen i marken fordeles på flere kg, hvis der opnås et højere udbytte. Derudover øges kulstoflagringen, hvis udbyttet øges, idet afgrøderesten beregnes ud fra den samlede plantebiomasse, som estimeres på baggrund af udbyttet.

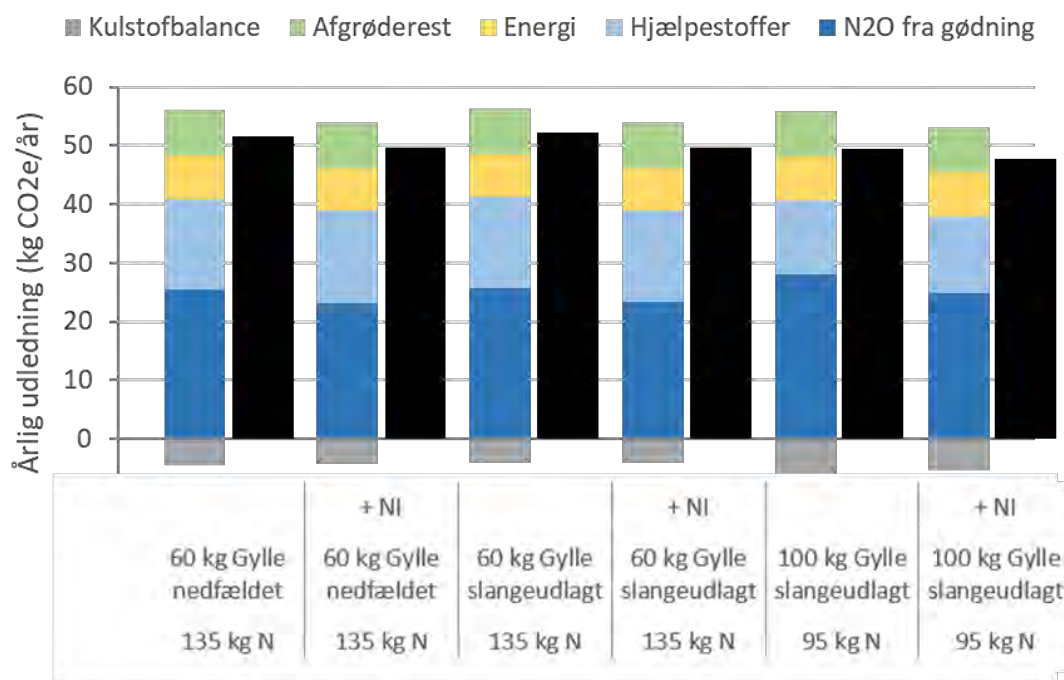
Brug af nitrifikationshæmmere reducerer den beregnede lattergasdannelse:

Lattergasudledningen er ikke baseret på målte værdier, men på beregnede værdier, hvorfor det ikke er overraskende at brugen af nitrifikationshæmmer (angivet som "+ NI" i Figur 2) resulterer i lavere lattergasdannelse fra gødning (de mørkeblå søjler). Forskellen er mere markant i forsøget med lavt udbytte. Hvis man sammenligner søjlerne parvist, dvs. med og uden nitrifikationshæmmer, fra høståret 2021 (Figur 3) ses det dog, at brug af nitrifikationshæmmere reducerer det samlede klimaaftryk.

En betragtelig del af den samlede kvælstofildeling i forsøget udgøres af handelsgødning, hvor der i denne forsøgsserie ikke tilsættes nitrifikationshæmmer. Hvis der havde været tilsat nitrifikationshæmmer til både handels- og husdyrgødning ville forskellen i produktaftryk mellem gødningsbehandlingerne være noget større.



Figur 2: Udledninger af klimagasser ved dyrkning af vinterraps med tilførsel af forskellige mængder gylle med eller uden nitrifikationshæmmer i høståret 2019 (Landsforsøget "Gylle med nitrifikationshæmmere til vinterraps om efteråret"). I figuren ses beregninger for begge enkeltforsøg, idet der var stor variation i udbyttene (Tabel 2), hvilket påvirker produktaftrykket. Det samlede produktaftryk ses som sorte søjler i nederste af figuren.



Figur 3: Udledninger af klimagasser ved dyrkning af vinterraps med tilførsel af forskellige mængder gylle med eller uden nitrifikationshæmmer i høståret 2021 (Landsforsøget "Gylle med nitrifikationshæmmere til vinterraps om efteråret"). I figuren ses et gennemsnit for begge enkeltforsøg (Tabel 3). Det samlede produktaftryk er vist som sorte søjler.

Laveste klimaaftryk:

Det laveste klimaaftryk fås i begge vækstår ved at fordele gødningstildelingen med den største andel som husdyrgødning med nitrifikationshæmmere og en mindre andel handelsgødning (100 kg Gylle slangeudlagt + NI + hhv. 70 og 95 kg handelsgødning). Der er dog næsten ingen forskel i klimaaftrykket mellem de forskellige gødningsbehandlinger, hvis udbyttet er højt.

Forsøg med forskellige kvælstofstrategier

I traditionelle landbrugspraksisser tilføjes typisk en vis mængde kvælstof i form af gylle eller handelsgødning om efteråret til vinterraps. Det diskuteres ofte, hvorvidt den kvælstoftilførsel, der foretages om efteråret, kan erstatte den mængde kvælstof, der normalt ville blive tildelt om foråret i et 1:1-forhold, eller om efterårstilførslen rent faktisk øger den samlede optimale kvælstofmængde. Formålet med forsøget var at undersøge om kvælstofstrategi og mængden af kvælstof om efteråret har betydning for den optimale kvælstofmængde om foråret målt på udbyttet.

I seks forskellige forsøgsopstillinger med varierende kvælstoftildeling om foråret (faktor 1) blev der undersøgt tre forskellige kvælstoftildelinger om efteråret (faktor 2). I denne rapport fokuseres imidlertid kun på forsøgsled 4C, 5A og 5B, da det forventes, at disse behandlinger vil være de mest anvendte gødningsstrategier og inkluderer et vist spænd indenfor strategierne (Tabel 4).

Øget udbytte ved øget gødningstildeling kan udligne den øgede lattergasudledning:

Til trods for forskellene i gødningstildelinger i de tre udvalgte forsøgsbehandlinger er der kun små forskelle i klimaaftrykket pr. hkg udbytte, når der sammenlignes på tværs af behandlingerne indenfor hver lokalitet (Figur 4). Dette skyldes, at der ved den højeste gødningstildeling også ses de største udbytter og dermed opnås en udligning af den øgede lattergasudledning. Hvis en øget tildeling af

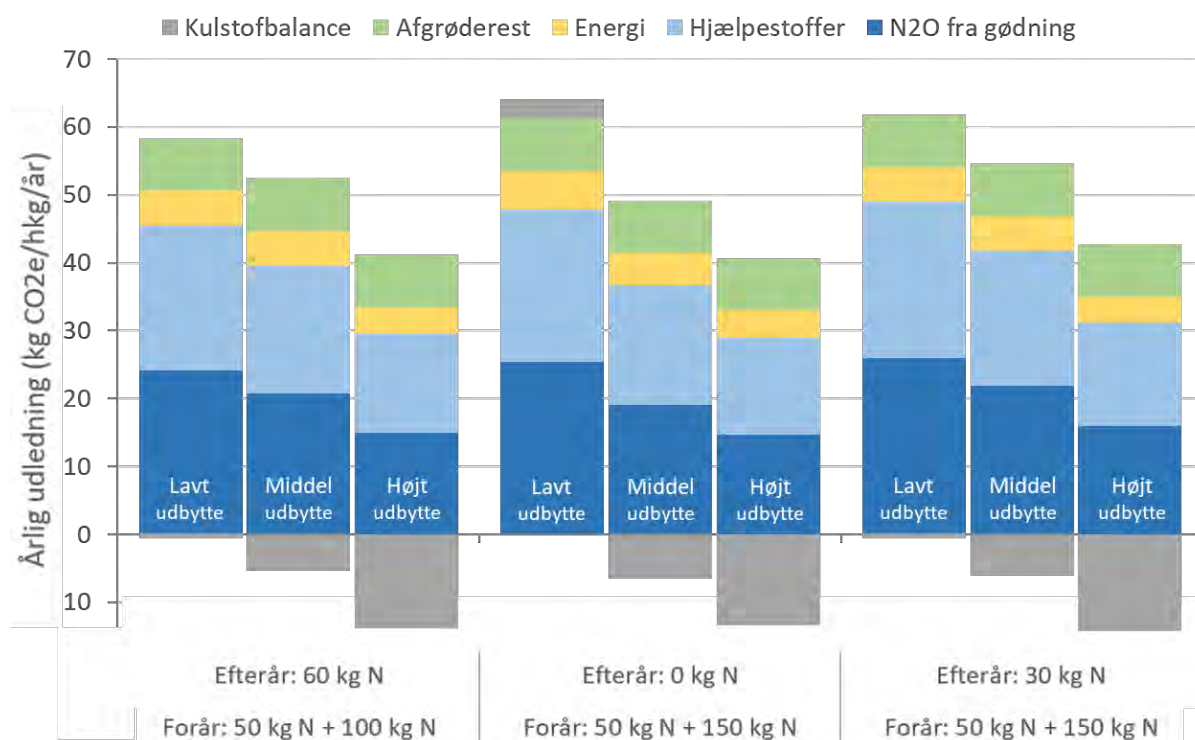
gødning giver en tilstrækkelig øgning af udbyttet, resulterer det derfor samlet set ikke i et øget produktaftryk.

Tabel 4: Forsøgsbehandlinger og udbytter i tre enkeltforsøg i forsøgsserien "Kvælstofstrategi i vinterraps om efteråret" i vækstsæson 2021/2022.

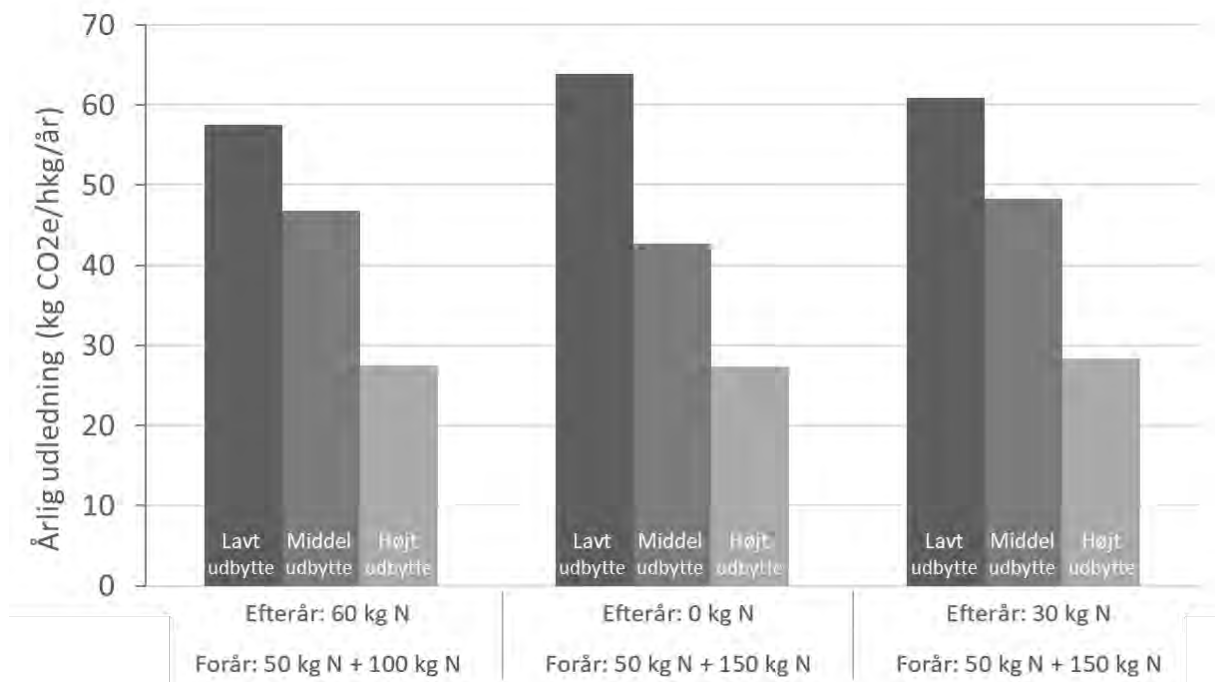
Beh.	Kvælstof i efteråret (kg N/ha)	Tildelt kvælstof v. begyndende vækst i foråret (kg N/ha)	Tildelt kvælstof i forår v/ st. 52 (kg N/ha)	Udbytte Sjælland JB7 (kg/ha)	Udbytte Nordjylland JB4 (kg/ha)	Udbytte Sønderjylland JB5 (kg/ha)
4C	60	50	100	6686	4188	4844
5A	0	50	150	6559	3798	5030
5B	30	50	150	6848	4199	4955

Stor forskel i udbytt niveau giver forskel i produktaftryk:

I denne forsøgsserie er der stor forskel i udbytt niveauet i de tre enkeltforsøg, hvilket resulterer i en fordobling af det samlede produktaftryk i forsøget med lavt udbyttet (Nordjylland) i forhold til forsøget med højt udbytte i alle forsøgsbehandlingerne (Sjælland) (Figur 5). Effekten af valg af gødningsstrategi er ubetydelig i forhold til effekten af udbytt niveauet. Optimering af produktaftrykket sker derfor ved at vælge den gødningsstrategi der giver det bedste udbytte.

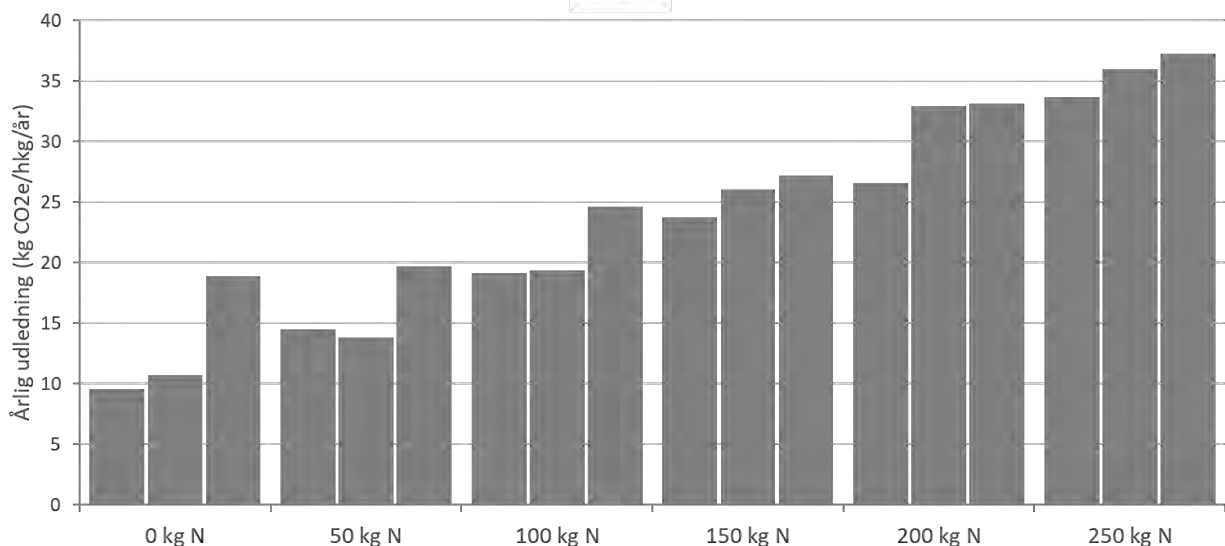


Figur 4: Udledninger af klimagasser ved dyrkning af vinterraps ved brug for forskellig kvælstofstrategi i efteråret (Landsforsøget "Kvælstofstrategi i vinterraps om efteråret"). I figuren ses beregnede udledninger for alle tre enkeltforsøg med forskellige niveau af udbytte (Tabel 4).



Figur 5: Samlede udledninger af klimagasser ved dyrkning af vinterraps ved brug af forskellig kvælstofstrategi i efteråret (Landsforsøget "Kvælstofstrategi i vinterraps om efteråret"). I figuren ses beregnede udledninger for alle tre enkeltforsøg med forskellige niveauer af udbytte (Tabel 4).

For at kigge lidt nærmere på effekten af tilførsel af kvælstof og produktaftrykket, har vi beregnet klimaaftryk fra et "stigende N" forsøg, hvor der tilføres kvælstof i forskellige mængder. Resultaterne i Figur 6 er fra tre enkeltforsøg i 2021/2022. Det kan ses i figuren, at tilførsel af stigende N mængde ikke altid bliver opvejet af øget udbytte, idet produktaftrykket stiger ved stigende N tilførsel.



Figur 6: Samlede udledninger af klimagasser ved dyrkning af vinterraps ved stigende N mængde (Landsforsøget "Stigende N - Kvælstofmængder til vinterraps uden husdyrgødning"). I figuren ses beregnede udledninger for alle tre enkeltforsøg med lidt variation i niveau af udbytte mellem behandlingerne.

Konklusion

Hvis man ønsker at dyrke vinterraps med et lavt produktaftryk, er der en række klimavirkemidler, man kan tage i brug, herunder brug af nitrifikationshæmmere, valg af gødningsstrategi og biokul.

Tilførsel af biokul er et lovende klimavirkemiddel, da det giver en tilførsel af kulstof til marken, som lagres stabilt. De første kommercielle anlæg er under opførsel og forventes at stå færdig i løbet af 2024. I markforsøget med biokul blev den største reduktion i udbyttets produktaftryk opnået ved en tilførsel af 20 tons biokul (halm) pr. ha. Tilførsel af biokul i denne mængde er dog ikke praktisk muligt at udføre hvert år til alle marker, da det kræver pyrolysning af restbiomasse fra flere marker. Tilførsel af 5 tons biokul pr. ha gav også en mindre reduktion i produktaftrykket.

Brug af nitrifikationshæmmer reducerer lattergasdannelsen ved gødningsudbringning og vil derfor give et lavere produktaftryk medmindre brugen af nitrifikationshæmmer har en negativ indflydelse på udbyttet. I forsøget med forskellige gødningsstrategier var der i nogle af enkeltforsøgene et lavere udbytte i behandlingerne med nitrifikationshæmmer og der var derfor ikke en klar reduktion af produktaftrykket. Der blev i forsøget kun brug nitrifikationshæmmer til husdyrgødningen og man kunne derfor have opnået en større reduktion ved at tilføje nitrifikationshæmmer til både husdyr- og handelsgødningen. Effekten af brug af nitrifikationshæmmer var tydelig i enkeltforsøget med lavt udbytte, mens der næsten ingen forskel var ved i forsøget med højt udbytte. Forskellen i udbytte gav en klart større forskel end brug af nitrifikationshæmmer.

Tilførsel af øget mængde kvælstofgødning giver en øget dannelse af lattergas ved gødningsudbringning, men hvis den øgede gødningstilførsel fører til et øget udbytte, kan dette føre til en udligning af dermed et uændret produktaftryk. I forsøgsserien med stigende N var det ikke muligt at identificere et optimalt niveau af gødningstildeling, idet produktaftrykket her blot var stigende ved stigende mængde tilført kvælstof.

Om der ved høst opnås et højt eller et lavt udbyttet har stor indflydelse på det endelige produktaftryk, hvilket ses tydeligt i klimaopgørelserne fra gødningsforsøgene. Det er derfor vigtigt at opnå et godt udbytte, hvis man ønsker et lavt produktaftryk.

Bilag 1

Beskrivelse af beregninger af udledninger af klimagasser, samt antagelser.

Jordbundstype:

- Jordbundstypen har indflydelse på brændstofforbrug ved markoperationer, gødningsnorm og normudbytter.

Afgrøderester - lattergasudledning:

- Lattergasudledning fra afgrøderester beregnes ud fra hhv. over- og underjordiske afgrøderester, baseret på registreret udbytte.

Handelsgødning - lattergasudledning og klimaaftryk fra produktion:

- Direkte lattergasudledning ved gødningsudbringning beregnes som 1% af tildelt N iflg. IPCC.
- Klimaaftryk fra produktion af den benyttede mængde handelsgødning er beregnet ud fra mængde og type af handelsgødning.

Nitratudvaskning - lattergasudledning:

- Lattergasudledning fra nitratudvaskning for vinterraps er baseret på en fast faktor beregnet med NLES-modellen. 1% af N udvasket antages at blive omdannet til lattergas iflg. IPCC.

Ammoniakfordampning - lattergasudledning:

- Lattergasudledning fra ammoniakfordampning er beregnet på baggrund af tildelt gødningsmængde og gødningstype. 1% af N fordampet som ammoniak antages at blive omdannet til lattergas iflg. IPCC.

P og K handelsgødning – klimaaftryk fra produktion:

- Der er indregnet klimaaftryk fra produktion af P og K gødning. Forbrug af P og K gødning er baseret på afgrødens næringsstofoptag.

Produktion af udsæd:

- Der er indregnet klimaaftryk fra produktion af udsæd.

Vanding

- Der er ikke indregnet CO₂ udledninger fra forbrug af el til vanding idet de forskellige klimavirkemidler (forsøgsbehandlinger) ikke har givet ophav til en forskel i behov for vanding.

Tørring:

- Der er ikke indregnet CO₂ udledninger fra forbrug af el og brændstof benyttet til tørring idet de forskellige klimavirkemidler (forsøgsbehandlinger) ikke har givet ophav til en forskel i behov for tørring pr. hkg.

Brændstofforbrug – CO₂ udledning ved forbrug og produktion:

- Der er benyttet standard brændstofforbrug pr. ha for vinterraps, beregnet af Henning Sjørlev Lyngvig, SEGES Innovation, jf. det typiske omfang af markoperationer, som kan ses i budgetkalkulen på Farmtal.dk.
- I forsøg, hvor der er foretaget færre eller ekstra markoperationer sammenlignet med standarden, er brændstofforbruget justeret.

Pesticidforbrug – klimaftryk fra produktion:

- Der er indregnet udledninger af klimagasser ved produktion af pesticider ved brug af standardtal for pesticidforbrug i vinterraps.
- Brug af pesticider har ingen klimaeffekt på de biologiske processer i marken.

Kalkning – direkte CO₂ udledning:

- CO₂ udledning ved tildeling af kalk er baseret på et standardtal for den gennemsnitlige tilførte mængde pr. ha og CaCO₃-indholdet i de solgte kalktyper og mængde for 2022.

Kulstofbalance:

- Kulstofbalancen beregnes ud fra en standardberegningss metode, hvor kulstofinput i den enkelte mark sammenlignes med det gennemsnitlige kulstofinput i danske marker. Hvis kulstofinputtet er lavere end gennemsnittet resulterer det i en frigivelse af kulstof i form af CO₂ og hvis kulstofinputtet er større end gennemsnittet lagres kulstof i marken.
- Kulstoflagringen er beregnet ud fra udbytte, samt typetal for forholdet mellem udbytte og overjordisk biomasse, fordeling mellem overjordisk- og underjordisk biomasse og halmfraktion for vinterraps. Det antages, at 9,7% af kulstofindholdet i afgrøderesterne lagres i jorden på en 100-årig tidshorisont.
- Kulstofinput fra husdyrgødning medregnes.

Biokul - kulstoflagring:

- Biokul kan tilføres marken og beregnes som lagret kulstof.