



Udledning af lattergas fra efterafgrøder Betydende faktorer og forsøgsresultater



Foto: Linda Rosager Duve

Efterafgrøder er udpeget som et miljø- og klimavirkemiddel, da brugen af efterafgrøder mindsker kvælstofudvaskningen, den indirekte lattergasudledning fra udvasket kvælstof, samt bidrager til at opbygge kulstof i dyrkningsjorden. Der sker dog også en udledning af lattergas, når efterafgrøden nedmuldes og nedbrydes i jorden^{1,2,3}. Hvor stor denne udledning er, afhænger bl.a. af efterafgrødens modenhed samt af klima- og jordforhold⁴.

KONTAKT



Majken Husted
majh@icoel.dk; 4017 7126

STØTTET AF

Promilleafgiftsfonden for landbrug

Hvor kommer lattergas fra?

Lattergas (N_2O) kommer fra mikrobielle processer, når kvælstof omsættes i jorden. Når der tilføres organisk materiale f.eks. i form af afgrøderester eller husdyrgødning, vil der, når det organiske materiale nedbrydes, dannes ammonium (NH_3). Ammonium omsættes til nitrat (NO_3^-) ved processen nitrifikation, som kræver en tilstedeværelse af ilt. Nitrat kan herefter omdannes til frit kvælstof (N_2) ved denitrifikation, som foregår under iltfrie eller iltfattige forhold. Der udledes lattergas ved både nitrifikation og denitrifikation, men den største mængde lattergas udledes ved denitrifikationen.

Udledningen af lattergas er meget afhængig af temperatur og nedbør. Højere temperaturer betyder en højere mikrobiel aktivitet, som således også vil resultere i en større omsætning af kvælstof i jorden. Da denitrifikationen primært foregår under iltfattige eller iltfrie forhold, påvirkes udledningen i høj grad af nedbør. Når jorden bliver vandmættet, bliver jorden iltfattig, og derved skabes der gunstige forhold for dannelsen af lattergas. Man skal også være opmærksom på, at en kompakt jord også ofte giver iltfattige forhold.

Måling af lattergasudledning

I Landsforsøgene® måles lattergasudledningen ved fluxkammermålinger. Fluxkammeret består af en metalramme, der er installeret i jorden, samt et kammer, som placeres på rammen under prøveudtagning. Når kammeret er påsat, stiger koncentrationen af lattergas over tid. Der udtages fire gasprøver fra hvert forsøgsled med mindst 10 minutters mellemrum. Tidspunktet for udtagning af gasprøver noteres for hver enkelt udtagning for at kunne beregne stigning i koncentration af lattergas i kammeret og dermed hvor meget lattergas, der udledes fra de forskellige forsøgsled. Gasprøverne udtages med kanyler og analyseres med en gaskromatograf.



Fluxkamre til måling af lattergas. Foto: Majken Husted.

Ulempen ved at anvende fluxkammermålinger til at bestemme lattergasudledning, er at man ikke har en kontinuær måling af udledning, og at metoden kræver en del manuelt arbejde. Fordelen er, at metoden er relativ simpel og velegnet til at sammenligne udledninger fra forskellige behandlinger såsom forskellige nedmuldningsstrategier.

På LandbrugsInfo findes vejledninger i at udtage lattergasprøver samt en video, som demonstrerer prøveudtagning. [Kvalitet i Landsforsøgene \(landbrugsinfo.dk\)](https://landbrugsinfo.dk)

Beregning af lattergasudledning

Når man beregner udledningen af lattergas fra landbrugsjord, anvendes emissionsfaktorer^{4,7}. Man antager, at en vis procentdel af det tilførte kvælstof udledes som lattergas. Emissionsfaktoren for udledning



af lattergas fra afgrøderester er 1 % af det kvælstof, som tilføres med afgrøderesterne^{4,7} uanset typen af afgrøderest. På denne måde tager man højde for, at der ved et højere input af kvælstof fra afgrøderester også vil være en højere udledning af lattergas.

Når man skal beregne mængden af kvælstof og dermed mængden af lattergas, som kommer fra afgrøderester, i f.eks. Danmarks nationale emissionsopgørelse, anvendes beregningsmetode fra IPCC^{7,8}. I denne metode beregnes mængden af afgrøderester ud fra udbyttet. Den beregnede mængde afgrøderest samt kvælstofindholdet heri afhænger af typen af afgrøde. Denne beregningsmetode er dog hovedsageligt tilpasset beregninger af rester fra hovedafgrøder, hvor faktorerne til beregning er tilpasset f.eks. hvede, byg og kløvergræs. Der er ikke faktorer specielt tilpasset efterafgrøder, bl.a. fordi efterafgrøder kan variere meget i artssammensætning og dermed også i hvor meget biomasse og kvælstof, der produceres og efterlades i marken. Derfor er udledningen af lattergas fra efterafgrøder for nuværende ikke inkluderet i den nationale emissionsopgørelse⁴. Fremadrettet forventer man at inkludere efterafgrøder i den nationale emissionsopgørelse med et kvælstofinput fra afgrøderester på 45 kg N/ha. Det vil sige en udledning på 0,45 kg N₂O-N/ha, svarende til 210,7 kg CO₂e/ha⁴.

Hvor den direkte udledning af lattergas beregnes som 1 % af total tilførsel af kvælstof i afgrøderester, beregnes den indirekte udledning af lattergas fra udvaskning, som 0,75 % af det udvaskede kvælstof.

Lattergasudledning fra afgrøderester

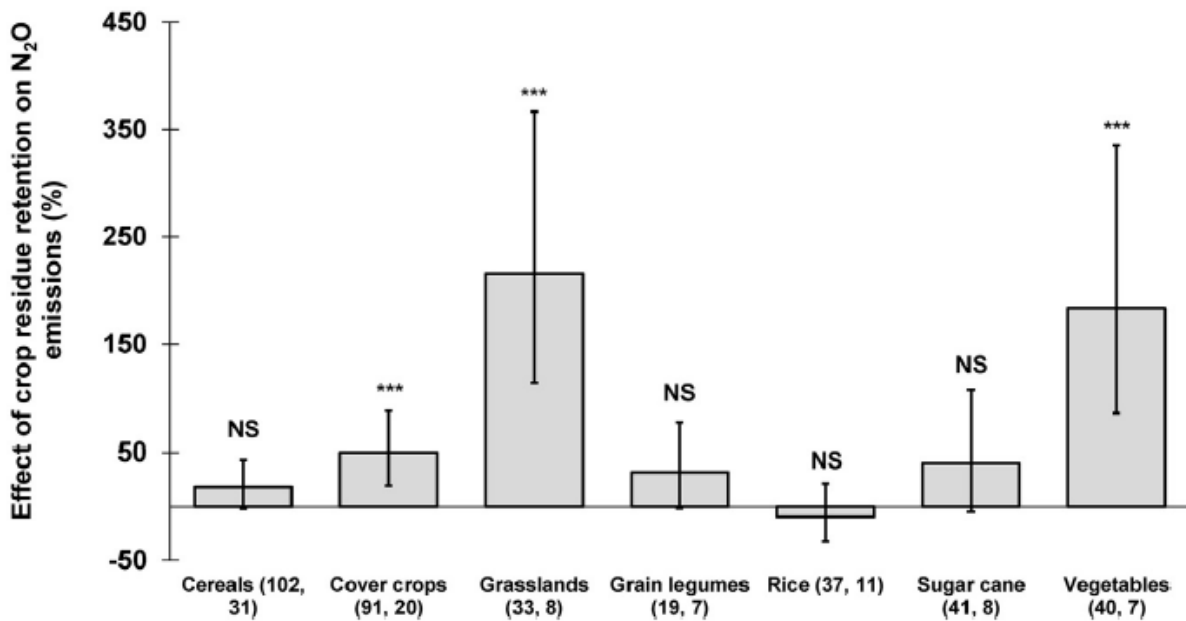
I realiteten er der en række faktorer, som har betydning for udledningen af lattergas fra afgrøderester. Der er en klar sammenhæng mellem mængden af kvælstof, der tilføres med afgrøderester, og mængden af lattergas der udledes. Som nævnt ovenfor tages der højde for dette ved anvendelsen af en emissionsfaktor til beregning af lattergasudledning. Der er dog andre faktorer med betydning for udledningen af lattergas fra afgrøderester, som der i varierende grad tages højde for i beregninger af udledning vha. IPCC guidelines. Det gælder temperatur og nedbør samt egenskaber som jordtype, pH, kulstof- og kvælstofindhold i jorden og jordens massefylde. Disse klima- og jordfaktorer har særligt betydning for tilgængeligheden af ilt i jorden og den mikrobielle aktivitet, som giver anledning til udledningen af lattergas.

Typen af afgrøderest har betydning

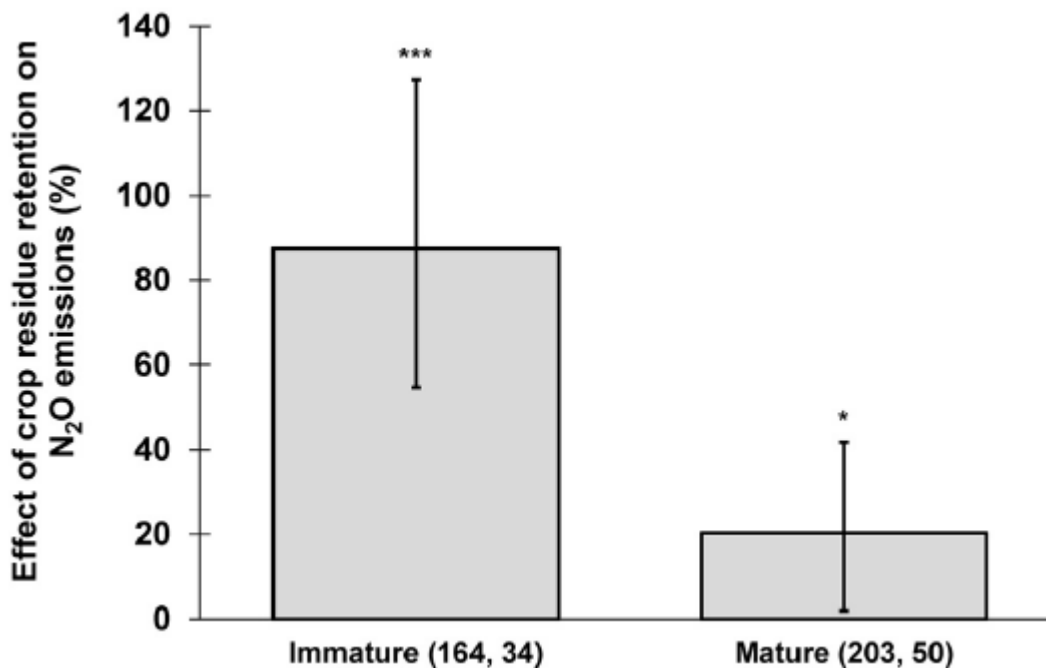
Aarhus Universitet har med metaanalyser undersøgt, om man kan forudsige lattergasudledningen fra afgrøderester ud fra deres biokemiske sammensætning. Analysen viser, at der er en klar sammenhæng mellem afgrøderesternes modenhedsstadium og udledningen af lattergas (figur 2). Umodne afgrøderester er karakteriseret ved et højt indhold af vandopløseligt kulstof, høj NDS-fraktion og et lavt indhold af cellulose, hemicellulose og lignin. Umodne afgrøderester har også et lavere C:N-forhold. De modsatte karakteristika gør sig gældende for modne afgrøderester⁵. Som det kan ses i figur 1, så er det afgrøderester fra efterafgrøder, græs og kløvergræs samt afgrøderester fra grønsagsproduktionen, som giver den største relative stigning i lattergasudledning. Det er også disse typer af afgrøderester, der kan karakteriseres som umodne⁵. Afgrøderester med let nedbrydelige fraktioner øger lattergasudledningen sandsynligvis ved at give kulstofkilder til de biologiske processer, som omsætter kvælstof i jorden, og ved at accelerere mikrobiel vækst^{5,6}. Figur 1 og 2 viser de relative stigninger i udledning fra inkorporering af forskellige afgrøderester sammenlignet med en kontrolbehandling. Det er tale om den procentvise stigning i lattergasudledning i studier, der er inkluderet i metaanalysen. Definitionen af kontrolbehandling kan variere imellem studier, f.eks. i forhold til om stub og rødder er efterladt eller fjernet⁵. Der er også forskel på de klima- og jordforhold, som studierne er lavet under, ligesom der kan være forskel i mængden af afgrøderester, der er nedmuldnet.

Studiet fokuserer alene på effekten på lattergasudledning efter inkorporering i jorden, og der er derfor ikke taget højde for, at efterafgrøder muligvis reducerer lattergasudledningen i løbet af deres vækst ved at mindske mængden af mineralsk kvælstof i jorden⁵, samt den indirekte udledning i vandmiljøet fra udvasket kvælstof.

Resultaterne fra Aarhus Universitet viser, at forholdet mellem kvælstof tilført med afgrøderester og lattergasudledning ikke er lineært. Det udfordrer brugen af en emissionsfaktor til beregning af lattergasudledning fra afgrøderester, som antager et lineært forhold. Desuden kan man ikke tilstrækkeligt forklare variationen i lattergasudledning på tværs af lokaliteter, årstal og dyrkningssystemer med én enkelt emissionsfaktor⁵.



Figur 1: Relativ stigning i lattergasudledning når afgrøderester af forskellig afgrødetype efterlades i marken. Antal observationer og studier er angivet i parentes⁵.



Figur 2: Relativ stigning i lattergasudledning ved nedmuldning af afgrøderester med forskellig modenhed. Antal observationer og studier er angivet i parentes⁵.

Forsøg med nedmuldning af kløvergræs

Siden 2020 er der blevet lavet forsøg med forskellige strategier for nedmuldning af kløvergræs i regi af SEGES Økologi Innovation og Innovationscenter for Økologisk Landbrug for at undersøge hvorvidt, der er forskel i lattergasudledningen, når man anvender forskellige nedmuldningsstrategier. Forsøgsresultater fra 2021 og 2022 kan ses i Appendix 1.

Når man måler lattergasudledning, er det vigtigt, at man fanger hele perioden med forhøjet udledning for at kunne sammenligne behandlinger og beregne emissionsfaktor. I 2020 og 2021 har man ikke fanger hele perioden med forhøjet udledning i alle behandlinger, hvorfor det ikke er muligt at konkludere, hvorvidt der er forskel i udledning mellem behandlinger og jordtyper. I 2022 havde man en længere periode med målinger, hvorfor man også har fanget den fulde periode med forhøjede udledninger.

I 2022 havde man to forsøgsbehandlinger og en kontrol. I kontrollen skete ingen jordbearbejdning, dvs. at forsøgsleddet stod med kløvergræs i hele forsøgsperioden. Forsøgsbehandlingerne var pløjning samt fræsning forud for pløjning. Det er tydeligt at se af forsøgsresultaterne, at udledningen af lattergas er højere, når jorden bearbejdes, da der kun sker en lille udledning af lattergas i kontrollen. Forsøget viser ikke signifikant forskel i lattergasudledning mellem de forskellige metoder til nedmuldning af kløvergræs, som blev testet.

Tabel 1: Beregnet input af N i afgrøderester ved en antaget emissionsfaktor (EF) på 1 %, samt beregnet EF ved en antaget tilførsel af 115 kg N i afgrøderester. Beregnet for to forskellige nedmuldningsstrategier på to forskellige jordtyper.

Behandling	JB3		JB5	
	Pløjning	Fræsning + pløjning	Pløjning	Fræsning + pløjning
Kg N tilført med afgrøderest (antaget EF på 1%)	47,1	55,0	56,1	48,0
Beregnet EF ved antaget tilførsel af 115 kg N i afgrøderest	0,28 %	0,35 %	0,40 %	0,33 %

Der er ikke målt biomasse i forsøget, da formålet ikke var at beregne en emissionsfaktor, men at sammenligne to metoder til nedmuldning af kløvergræs. Hvis man ud fra den akkumulerede udledning beregner, hvor meget kvælstof der er tilført med afgrøderester med en antaget emissionsfaktor på 1 %, får man, at der er tilført mellem 47,1 og 56,1 kg N pr. hektar i afgrøderester alt efter forsøgsbehandling og jordtype. Beregner man derimod emissionsfaktoren⁹ ud fra et antaget input af kvælstof pr. hektar svarende til forfrugtsværdien på 115 kg N/ha¹¹, får man, at emissionsfaktoren for input af afgrøderester har været mellem 0,28 % og 0,4 %. I dette forsøg har emissionsfaktoren ved input af afgrøderester fra kløvergræs sandsynligvis været under halvdelen 1 %, som er anbefalet af IPCC^{7,8}. Det vil dog kræve mange målinger på flere forskellige jordtyper over flere år samt reelle målinger af mængden af biomasse og kvælstof, der nedmuldnes med afgrøderesterne, for at kunne drage nogle endelige konklusioner.

Metoder, der kan mindske lattergasudledningen

Den nemmeste måde at mindske udledningen fra afgrøderester på er at fjerne dem. Man kan dog ikke generalisere, at det er bæredygtigt management at fjerne afgrøderester fra marken, da man også fjerner næringsstoffer og kulstof, som bidrager til jordens frugtbarhed, og som dermed kan føre til lavere

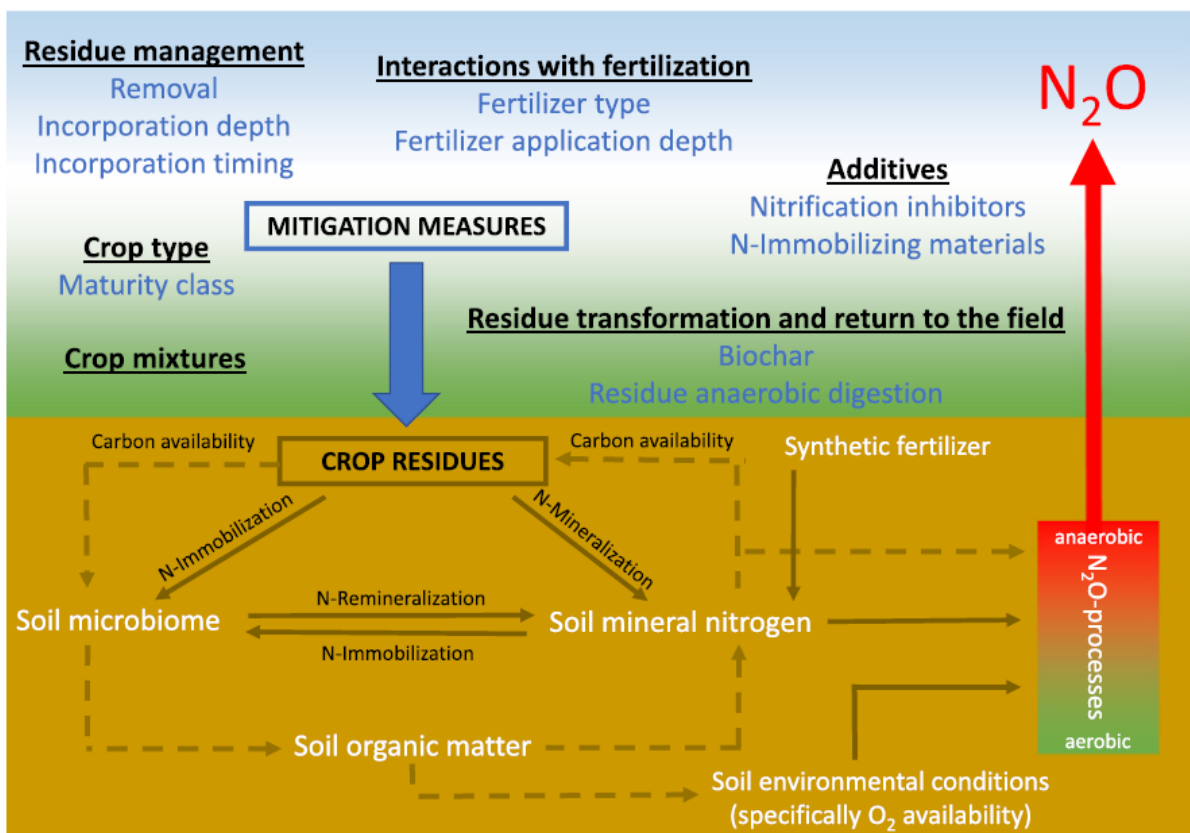
udbytter og lavere kulstoflagring på den lange bane. At fjerne afgrøderester kan dermed også føre til et øget behov for input af gødning, som øger risikoen for lattergasudledning⁶.

Selvom effekten ikke var signifikant, så finder en metaanalyse en tendens til, at overfladepåførte eller overfladisk inkorporerede afgrøderester udleder mindre lattergas end afgrøderester, der er inkorporeret dybere end 15 cm i jorden⁶. Det skyldes sandsynligvis at iltindholdet er højere i de øvre jordlag, hvor luften lettere kan diffundere ned i jorden. Et højere indhold af kulstof og en bedre jordstruktur i de øvre jordlag som kan mindske dannelse af iltfrie mikromiljøer, der fremmer dannelsen af lattergas, kan også have betydning. Der kan dog forekomme et øget tab af kvælstof i form af ammoniak ved overfladepåførelse⁶.

Figur 3 illustrerer en række potentielle strategier til at mindske lattergasudledningen fra tilførsel af afgrøderester. Strategierne er inddelt i seks kategorier⁶:

- management af afgrøderester
- samspil med gødningstilførsel
- afgrødetype
- afgrødeblandinger
- additiver
- transformation af afgrøderester med tilbageførsel til marken

De forskellige tiltag varierer i deres potentiale til at mindske udledningerne, og der kan også være negative bivirkninger, som bl.a. inkluderer et lavere input af kulstof til jorden, et højere behov for kvælstofinput fra gødning samt lavere udbytter, ligesom der kan være positive bivirkninger som lavere nitratudvaskning og produktion af bioenergi⁶.



Figur 3: Illustration af forskellige strategier til at mindske lattergasudledning fra afgrøderester⁶.

Strategierne, som vurderes at have det største potentiale til at mindske lattergasudledningen fra afgrøderester, er at fjerne afgrøderester, undgå inkorporering af umodne afgrøderester samt transformation

af afgrøderester med tilbageførsel til marken, hvor særligt det at fjerne og tilbageføre som biokul vurderes at have et stort potentiale⁶.

Lattergas er ikke årsag til det største kvælstoftab

Når der udledes lattergas fra jorden, mistes der kvælstof. Men selvom udledningen af lattergas har en stor klimapåvirkning, er det ikke her, de største mængder kvælstof tabes fra systemet. Forskere fra Aarhus Universitet har undersøgt effekten af jordbearbejdning, tilførsel af halm samt efterafgrøder på nitratudvaskning og lattergasudledning¹⁰. I tabel 2 er mængden af kvælstof tabt som hhv. lattergas og ved nitratudvaskning angivet samt det totale tab. Fra dette er klimaeffekten af den direkte lattergasudledning og den indirekte lattergasudledning fra nitratudvaskning også beregnet. I tabellen kan man se, at det største kvælstoftab sker, når der hverken nedmuldnes halm, eller anvendes efterafgrøder, og at særligt anvendelsen af efterafgrøder mindsker kvælstoftabet ved udvaskning. Når man nedmuldner halm og anvender efterafgrøder, stiger tabet af kvælstof som lattergas sammenlignet med de øvrige behandlinger, men det samlede kvælstoftab er mindst, når der anvendes efterafgrøder. Omvendt er klimaeffekten angivet som kg CO_{2e}/ha, størst, når tabet af kvælstof som lattergas er størst. Årsagen er, at den direkte udledning af lattergas har en højere klimaeffekt end den indirekte lattergasudledning, som sker som følge af nitratudvaskning. Det skal dog bemærkes, at der her ikke er taget højde for input af kulstof til jorden fra halm og efterafgrøder, som er en af hovedårsagerne til, at anvendelse af efterafgrøder kan ses som et klimavirkemiddel. Der er heller ikke taget højde for efterafgrødens frugtsværdi for den efterfølgende afgrøde. Hvis anvendelsen fører til et mindsket gødningsinput, så vil dette også have en stor betydning for klimaeffekten af systemet.

Tabel 2: Tab af N ved direkte lattergasudledning samt nitratudvaskning ved forskellig type jordbearbejdning, tilførsel af halm samt brug af efterafgrøder. Tabellen viser desuden beregnet klimaeffekt ved direkte lattergasudledning og indirekte lattergasudledning fra udvaskning. PL = pløjning, DS = direkte såning, +S = tilførsel af halm, -S = halm fjernet, -CC = uden efterafgrøder, +CC = med efterafgrøder. Tilpasset fra Taghizadeh-Toosi et al., 2022.

Behandling	Kumulativt N tab (kg N/ha)			Klimaeffekt (kg CO _{2e} /ha)		
	N ₂ O-N	NO ₃ -N	Total N tab	N ₂ O	NO ₃	Total
PL-S-CC	0,19	27,7	27,89	89,0	97,3	186,3
PL-S + CC	0,56	5,0	5,56	262,2	17,6	279,8
DS-S-CC	0,07	25,3	25,37	32,8	88,9	121,6
DS-S + CC	0,35	4,5	4,85	163,9	15,8	179,7
PL + S-CC	0,06	20,9	20,96	28,1	73,4	101,5
PL + S + CC	0,78	4,3	5,08	365,3	15,1	380,4
DS + S-CC	0,04	22,2	22,24	18,7	78,0	96,7
DS + S +CC	0,41	3,6	4,01	192,0	12,6	204,6



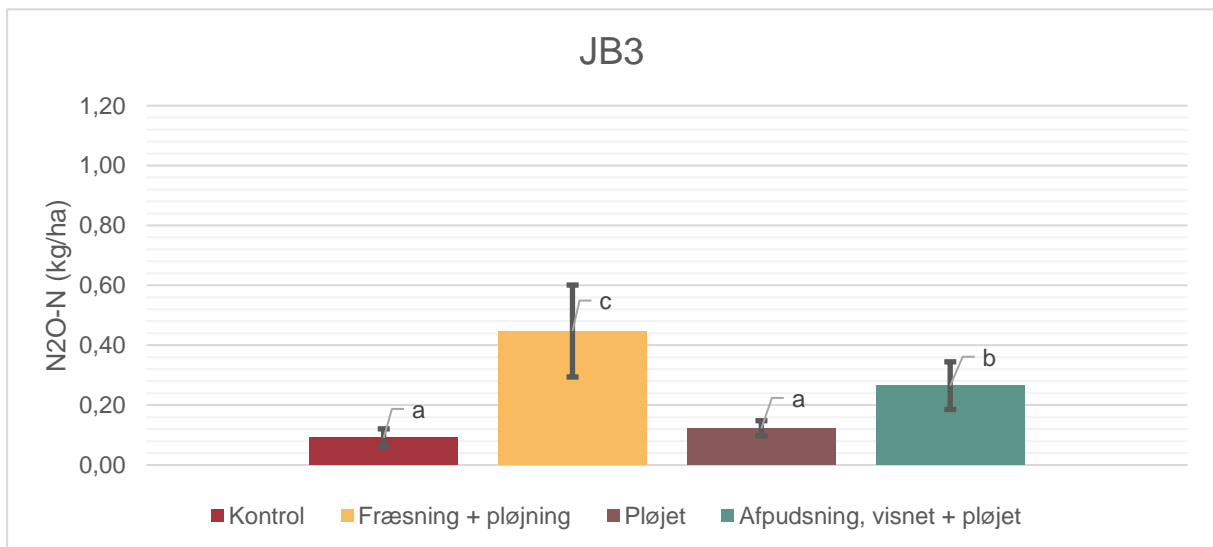
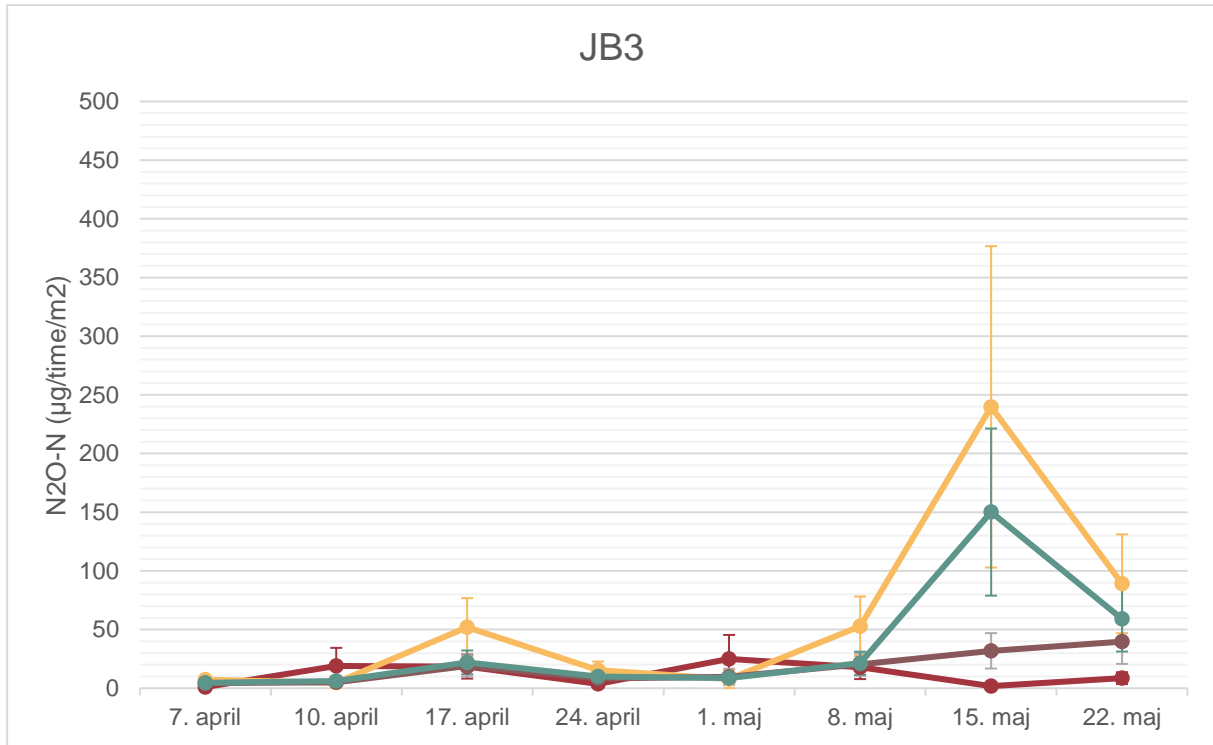
Referencer

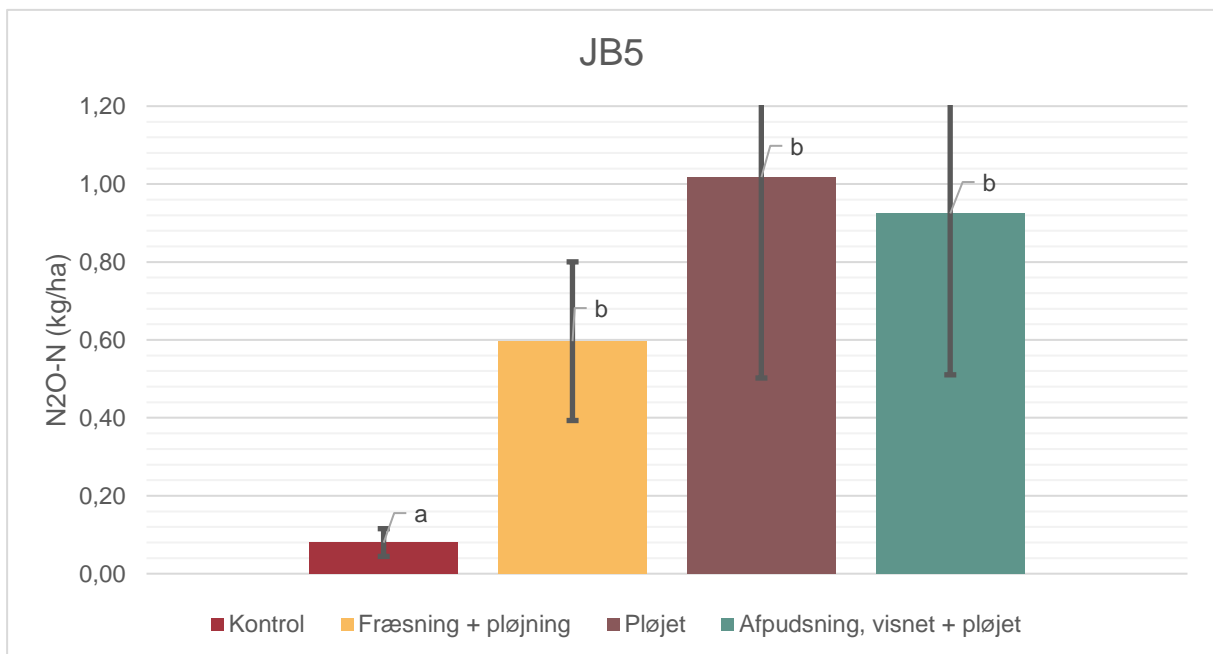
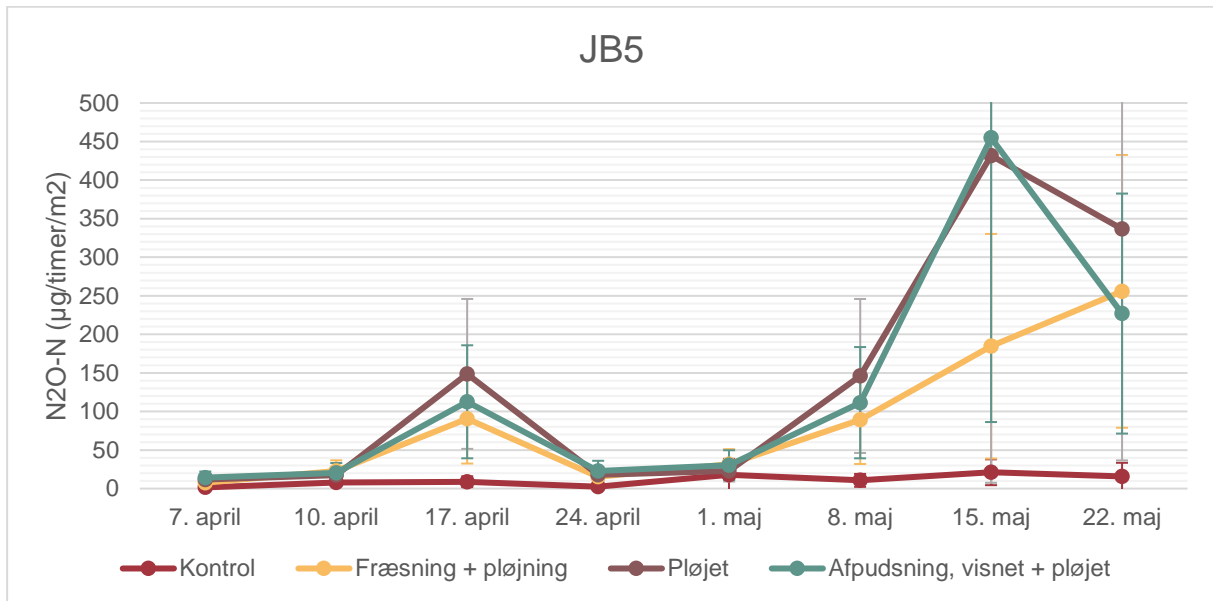
- [1] Eriksen, J., Thomsen, I. K., Hoffmann, C. C., Hasler, B., Jacobsen, B. H. 2020. Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 452 s. – DCA rapport nr. 174. [DCArapport174.pdf \(au.dk\)](#)
- [2] Olesen, J. E., Petersen, S. O., Lund, P., Jørgensen, U., Kristensen, T., Elsgaard, L., Sørensen, P., & Lassen, J. (2018). Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget. DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. DCA rapport Nr. 130 <http://web.agrsci.dk/djfpublikation/index.asp?action=show&id=1273>
- [3] Andersen, M.N., Adamsen, A.P., 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., Olesen, J.E., Børsting, C.F., Lund, P., Kjeldsen, M.H., Maigaard, M., Villumsen, T.M., Dalby, F.R., Kai, P., Nørremark, M., Blicher-Mathiesen, G., Audet, J., Bruus, M., Krogh, P.H., Kronvang, B., Winding, A., Kristensen, H.L. 2023. Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget. 303 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 21.04.2023.
- [4] Petersen SO. 2021. N2O fra gødningsudbringning og planterester. 9 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 14.12.2021.
- [5] Abalos, D., Rittl, T.F., Recous, S., Thiébeau, P., Topp, C.F., van Groenigen, K.J., Butterbach-Bahl, K., Thorman, R.E., Smith, K.E., Ahuja, I. and Olesen, J.E., 2022. Predicting field N2O emissions from crop residues based on their biochemical composition: A meta-analytical approach. *Science of the Total Environment*, 812, p.152532.
- [6] Abalos, D., Recous, S., Butterbach-Bahl, K., De Notaris, C., Rittl, T.F., Topp, C.F., Petersen, S.O., Hansen, S., Bleken, M.A., Rees, R.M. and Olesen, J.E., 2022. A review and meta-analysis of mitigation measures for nitrous oxide emissions from crop residues. *Science of the Total Environment*, p.154388.
- [7] IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.
- [8] IPCC 2019, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland.
- [9] Krol, D.J., Carolan, R., Minet, E., McGeough, K.L., Watson, C.J., Forrester, P.J., Lanigan, G.J. and Richards, K.G., 2016. Improving and disaggregating N2O emission factors for ruminant excreta on temperate pasture soils. *Science of the Total Environment*, 568, pp.327-338.
- [10] Taghizadeh-Toosi, A., Hansen, E.M., Olesen, J.E., Baral, K.R. and Petersen, S.O., 2022. Interactive effects of straw management, tillage, and a cover crop on nitrous oxide emissions and nitrate leaching from a sandy loam soil. *Science of the Total Environment*, 828, p.154316.
- [11] Ministeriet for Fødevarer Landbrug og Fiskeri, 2022. Vejledning om gødsknings-og harmoniregler. Planperioden 1. august 2022 til 31. juli 2023.

Appendix 1

Forsøgsresultater fra forsøg med strategier til nedmuldning af kløvergræs. Resultaterne er tidligere formidlet i Oversigt over Landsforsøg® i hhv. 2021 og 2022.

Forsøgsresultater 2021





Forsøgsresultater 2022

