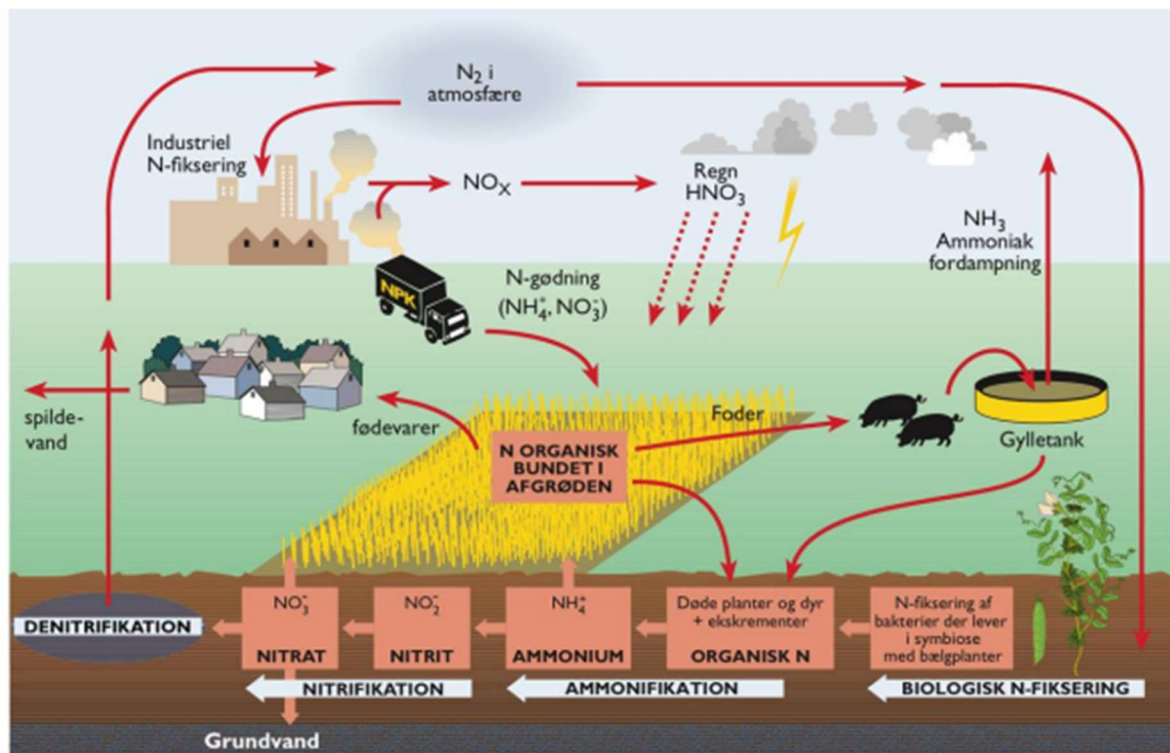




Naturlige nitrifikationshæmmere og biokul som klimavirkemiddel

Er det attraktive virkemidler til at reducere lattergasemission fra økologisk planteproduktion?



Kilde: Oudshorn 2020

Arne Grønkjær Hansen, arne@icoel.dk, +4523840821
Majken Husted, majh@icoel.dk, +4540177126
Innovationscenter for Økologisk Landbrug

STØTTET AF

Promilleafgiftsfonden for landbrug

Hovedkonklusion /sammendrag

Reduktion af lattergasemissioner er vigtigt for både konventionelt og økologisk landbrug for at nå reduktionsmålene for landbruget.

I konventionelt landbrug kan et af virkemidlerne være kemiske nitrifikationshæmmere, der tilsættes husdyrgødning inden udbringning i jorden. De kemiske nitrifikationshæmmere er ikke tilladt i økologisk jordbrug. Der er derfor forsøg i gang for at belyse mulighederne for at anvende naturlige produkter med nitrifikationshæmmende virkning.

De foreløbige resultater tyder på, at de naturlige nitrifikationshæmmere har en vis reducerende effekt på lattergasudledningen, men mindre end de kemiske.

Der er behov for at fortsætte undersøgelserne, hvor f.eks. øget dosering afprøves, og andre naturlige planteekstrakter undersøges. Alternativt kunne også undersøges, om organisk gødning kan bearbejdes, så der kan gødes med kvælstoffraktioner uden organisk kulstof, så man mindsker problemer med lavt iltindhold i jorden, der fremmer lattergasdannelsen.

Introduktion

En stor del af gødningen til økologiske arealer kommer ud som gylle. For at begrænse tab af ammoniak i forbindelse med udbringningen er det et krav, at gyllen nedfældes i jorden. Nedfældning og våd jord kan imidlertid give anledning til øget udledning af lattergas, og det er en central klimaudfordring i økologisk planteavl.

Derfor undersøges det, om det er muligt at mindske dannelsen af lattergas ved at tilsætte gyllen naturlige nitrifikationshæmmere. I det konventionelle landbrug er det vist, at det er muligt at med op til 40-55 % ved at anvende nitrifikationshæmmere (Dawar et al. 2020; Wang et al 2021; Wu et al 2023). Ud over den positive virkning på lattergas øges kvælstofudnyttelsen i nogle afgrøder, f.eks. majs, hvor der ofte går længere tid fra gødskning til optagelse af N i planterne.

Spørgsmålet er, om det er muligt at udvikle naturlige nitrifikationshæmmere med tilsvarende effekt og om det kan blive et effektivt klimatiltag i dansk økologisk jordbrug?

Der er bl.a. i Østergård lavet forsøg med bark-ekstrakter tilsat kvæggylle, hvor der blev målt reduktioner på 40-65 % (Sepperer et al. 2022) og vi har i Danmark set lovende resultater med både planteekstrakter og biochar tilsat gylle (Teknologisk Institut 2021).

I takt med en voksende interesse for bioraffinering af afgrøder og anvendelse af restprodukter fra fødevarereproduktion, papirindustri mm. vil fremstilling af naturlige ekstrakter med nitrifikationshæmmende indholdsstoffer måske blive en mulig ekstra indtægtskilde gennem afsætning til planteproducenter, herunder de økologiske.

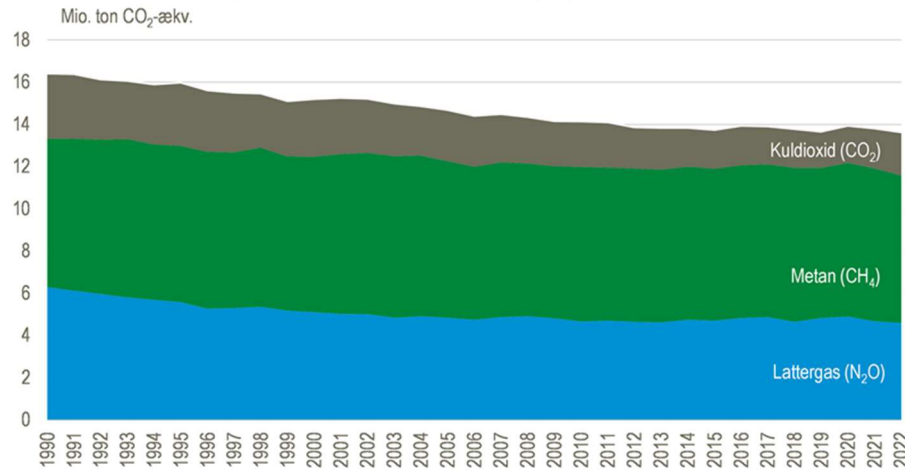
I denne artikel er lattergasudfordringen beskrevet nærmere, og der er gengivet foreløbige resultater fra forsøg under Landsforsøgene.

Lattergas som planteproduktionens store klima-udfordring

Landbrugssektoren bidrog i 2021 med 26.1 % af den totale drivhusgasemission i CO₂-ækvivalenter og er den vigtigste sektor, hvad angår emissioner af N₂O og CH₄. Der har været et fald i lattergas på ca. 13 % siden 1990; men det har været uændret siden 2011 (Energistyrelsen, 2023). Der er dog meget stor forskel på tab afhængigt af udbringningsmetode, afgrøde gødningstype, jordtype, nedbør mv.

Størstedelen af lattergastabet kommer fra mikrobiel nedbrydning af kvælstof i gødning, som planterne ikke har nået at optage, mens en mindre del kommer fra nedbrudt plantemateriale.

Udledning af drivhusgasser fra landbrug, skovbrug og fiskeri



Anm.: CO₂ fra afbrænding af biomasse samt LULUCF er ikke medtaget. Fluorerede gasser (SF₆, PFC, HFC) indgår i figuren med under 0,007 mio. ton CO₂-ækvivalenter årligt.

Fig. 1: Udledning af drivhusgasser fra landbrug, skovbrug og fiskeri. 95 % af de 3 branchers udledning stammer fra landbrug. I 2021 fordelte udledningen af drivhusgasser fra landbrug, skovbrug og fiskeri sig på 45 pct. fra metan især fra dyrehold, 40 pct. fra lattergas især fra kvælstofholdig gødning og 15 pct. fra CO₂ især fra energiforbrug og kalkning af landbrugsjord (Kilde Danmarks Statistik. 2021 [Klima - Danmarks Statistik \(dst.dk\)](https://www.dst.dk))

Gældende beregningsmetoder angiver, at 1% af udbragt total N i gødning bliver udledt som lattergas (IPCC, 2019), og da denne drivhusgas er ca. 265 gange mere potent end CO₂, kan selv små mængder lattergas udgøre store udledninger. Hvis der for eksempel udbringes 80 kg N som husdyrgødning pr. ha. så mistes der typisk 0,8 kg som lattergas, svarende til 212 kg CO₂ pr. ha.

Nyeste forskning med lattergasmålinger i markforsøg ved Århus Universitet gennem 2 år viser imidlertid, at flydende husdyrgødning udbragt i afgrøder om foråret under danske forhold i gennemsnit udleder 1,02% af udbragt totalt kvælstof men derimod var niveauet for lattergastab fra handelsgødning kun ca. 0,15 % (Petersen et al. 2023). Dette indikerer, at der måske er grundlag for differentierede emissionsfaktorer, ligesom indsatsen for at reducere drivhusgasser fra planteproduktion især skal rettes mod at reducere tab, som stammer fra kvælstof i gylle. Men vi mangler stadig effektive metoder.

Der er store variationer i udledningerne fra forskellige marker, da omdannelse af ammonium til lattergas især sker ved højt vandindhold i jorden, tilstedeværelse af kvælstof og fra iltfrie områder i jorden. Der er typisk mindre tilgængelig ilt i sandjord end i lerjord. Lattergas dannes hovedsageligt ved processen denitrifikation, som er den proces, hvor nitrat omdannes til frit kvælstof og med lattergas som et biprodukt. Denitrifikationen forløber, når der er et lavt indhold af ilt i jorden. Derfor ses der i forsøg ofte store udledninger af lattergas på sandjord. Hvis det regner lige efter udbringning af gødning eller jorden i forvejen er vandmættet, så der er iltfri forhold, hvor gyllen bliver nedfældet.

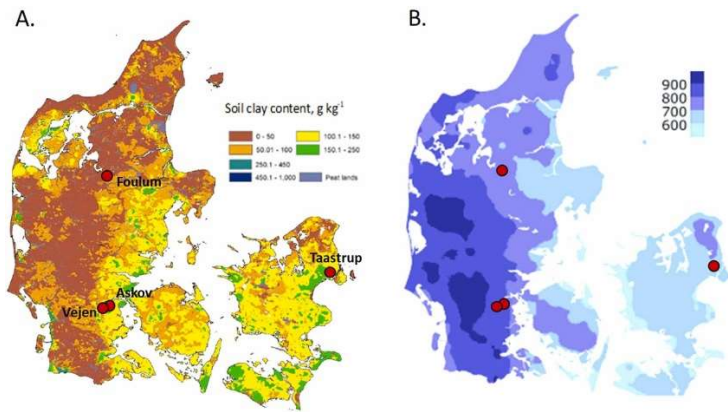


Fig 2 Fordeling af jordtype og nedbør i Danmark.

Betydning af udbringningsmetode.

Ved udbringning af ubehandlet gylle eller fiber fra separation på biogasanlæg (biogasdigestat) på jord før såning af vårafgrøder er nedfældning et krav fra myndighederne. I konventionelt landbrug kan man også vælge udlægning af forsuret gylle med slæbeslange og evt. slæbesko samt nedbringning inden 4 timer, som foreskrevet i lovgivningen (Gødskningsbekendtgørelsen, 2023).

Begge metoder resulterer i et lavt ammoniaktab, men hvor forsuring også er med til at begrænse lattergas, så udgør en direkte nedbringning en risiko for tab af lattergas, fordi der kan opstå iltfri lommer i jorden.

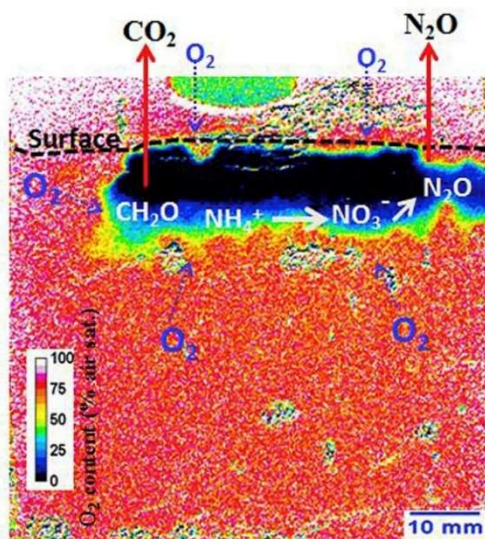


Fig 3 Grafisk fremstilling af lommer i jorden, hvor der dannes lattergas.

Kilde: (Quan et al. 2017) Se evt video der illustrerer dette yderligere:

<https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0038071717300974-mmc2.mp4>

Ved nedbørsoverskud efter gyllens udbringning er der især på sandede jorde stor risiko for kvælstof-tab i form af nitratudvaskning og lattergastab. Denne risiko kan reduceres ved at tilsætte nitrifikationshæmmer til gyllen inden udbringning. Derved hæmmes processen nitrifikation (omdannelsen af ammonium til nitrat) og med mindre nitrat i jorden hæmmes også dinitrifikationen og dannelsen af

lattergas (se figur 4). Men indtil videre er det kun i konventionelt landbrug, man har nitrifikationshæmmere til rådighed.

Naturlige nitrifikationshæmmende stoffer er bl.a. tanniner og saponiner som findes bl.a. i bark, træer og nødder (Sepperer et al. 2022)

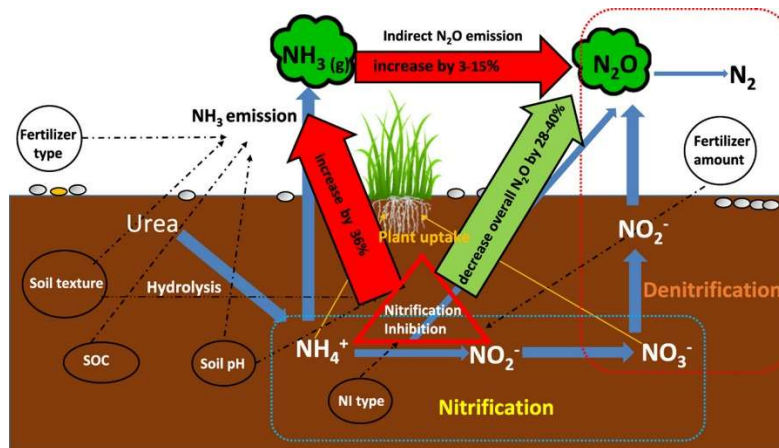


Fig 4. Kvælstofomsætning i jorden i forbindelse med gødskning. Kilde: Wu et al. 2021

Ammonium (NH_4^+) omdannes i jorden til nitrit (NO_2^-) og videre til nitrat (NO_3^-) i nitrifikationsprocessen. Derved kan dannes lattergas (N_2O), dels som et biprodukt i det første trin mod nitrit og siden, hvis slutproduktet nitrat omdannes til nitrit og lattergas. Ved at hæmme nitrifikationen med kemiske nitrifikationshæmmere har man set reduktion i lattergasdannelsen på 28-40 %. Kilde: Wu et al. 2021

Naturlige nitrifikationshæmmere som klimatiltag i økologisk planteavl

For nuværende er nitrifikationshæmmere mest noget man forbinder med konventionelt landbrug, da man her har mulighed for at anvende forskellige kemisk fremstillede nitrifikationshæmmere. Det har dog i Danmark mest fået udbredelse til gødning tilført majs, hvor de største udbytteeffekter indtil videre er set. Samtidig bør man være opmærksom på, at der i tyske undersøgelser er fundet, at nogle kemiske nitrifikationshæmmere har negativ effekt på roddannelse i flere planter samt økotoxisk effekt på vandplanter (Kösler et al 2019).

Da dannelsen af lattergas er en naturlig proces og endda er et særligt problem ved brug af organiske gødninger, er der også i det økologiske landbrug behov for at kunne mindske denne proces. Når der er særlige udfordringer ved brug af organiske gødninger, skyldes det, at der sammen med kvælstoffet tilføres kulstofforbindelser, som jordens mikroorganismer begynder at nedbryde og derved bruger ilten i jorden, og når der opstår iltmangel, øges tendensen til denitrifikation og dannelse af lattergas.

Det undersøges derfor, om der kan findes naturlige stoffer, der også kan mindske nitrificeringen og dermed dannelsen af lattergas. Der er dels fokus på biokul (biochar), der dannes ved iltfri forbrænding af organisk materiale (pyrolyse), og som i forskellige studier har vist at have en effekt på dannelsen af lattergas.

Det er ikke klarlagt, hvilke mekanismer der indgår i lattergashæmningen; men biokul er optaget på listen over ikke-økologiske produkter, der kan bruges som gødning i økologisk jordbrug, dog indtil videre kun biokul produceret af vegetabiliske råvarer (Hansen, 2023)

Planteekstrakter er en anden gruppe stoffer, der forventes at kunne godkendes til brug i økologisk planteproduktion. Der er fundet forskellige planter, hvor ekstrakter fra dem har en nitrifikationshæmmende virkning.

Biokul

Biokul udbragt på landbrugsjord enten direkte eller sammen med gødning har i mange undersøgelser vist en vis hæmning af omdannelsen af nitrat til lattergas. En litteraturgennemgang af 208 videnskabelige artikler fra forsøg med forskellige typer biokul på forskellige jordtyper og med forskellige afgrøder mv. viste således, at der var en reduktion af lattergas emission på ca. 30 %, et øget N optag på 11 % og en reduceret nitratudvaskning på 26 %. I samme undersøgelse var ammoniaktabet gennemsnitligt 19 % højere (Wu et al. 2021)

Der er meget få forsøg under nordeuropæiske forhold der viser udbyttfremgang og det tilskrives oftest kalkningsbehov i de tilfælde, hvor det er set i Danmark (Elsgaard, 2021).



Pelleteret biokul fremstillet af Stiesdal fra gyllefiber (anvendt i 2023)



Biokul fremstillet af Novocarbo (Tyskland) fra trækul (kun anvendt i 2022). Foto: Arne Grønkjær Hansen

Planteekstrakt

Der er også naturlige stoffer i planters blade, stængler eller rødder, som i laboratorieforsøg har vist sig at have nitrifikationshæmmende effekt, når ekstrakter fra disse tilsættes jord eller gødning. Nogle planter har ligefrem evnen til at udskille stoffer fra rødderne og derved hæmme omdannelse af nitrat til lattergas.

I 2020 blev der foretaget en litteraturgennemgang med henblik på at finde mulige naturlige nitrifikationshæmmere, der evt. ville kunne anvendes i dansk økologisk landbrug gennem tilsætning til organisk gødning. Undersøgelsen pegede på, at det især er tanninsyre og andre phenolstoffer fra planter, som havde en effekt. Desuden var der effekt af biokul. De undersøgte stoffer inkluderede bl.a. biokul, og et planteekstrakt (Teknologisk Institut, 2021). Derudover indgik sheaskrå, og ren tanninsyre. Ved yderligere screening i laboratoriet hos Københavns Universitet blev det bekræftet, at der var hæmmende effekt og derfor var det naturligt at gå videre med næste skridt som et plotforsøg i marken.

Udbringningsforsøg

Innovationscentret for Økologisk Landbrug har sammen med SEGES, Teknologisk Institut og forsøgsmedarbejdere i DLBR tilrettelagt forsøg over en treårig periode med henblik på at måle udbytteeffekter og afklare muligheder for at reducere tab af lattergas i marken. I forsøgene i 2022 og 2023 er gennemført markforsøg, hvor effekten af tilsætning af nitrifikationshæmmere til gylle er belyst. Forsøget fortsætter i 2024. Forsøgene er en del af projektet: Reduktion af klimabelastningen ved håndtering af husdyrgødning, KlimaGylle finansieret med støtte fra Promilleafgiftsfonden.

Gyllen er udbragt i perioden fra 22. til 26. marts i 2022 under generelt skyet vejr, let vind og mellem 7 til 16 grader. Gyllen er enten nedfældet i 10 cm dybde eller udbragt forsuret ved tilsætning af 1,7 l

svovlsyre pr. tons gylle. Den forsurede gylle er enten udlagt med slæbeslanger eller slæbesko. Den slæbeslangeudlagte gylle er udlagt med og uden efterfølgende nedmuldning ca. en halv time efter gyllens udbringning.

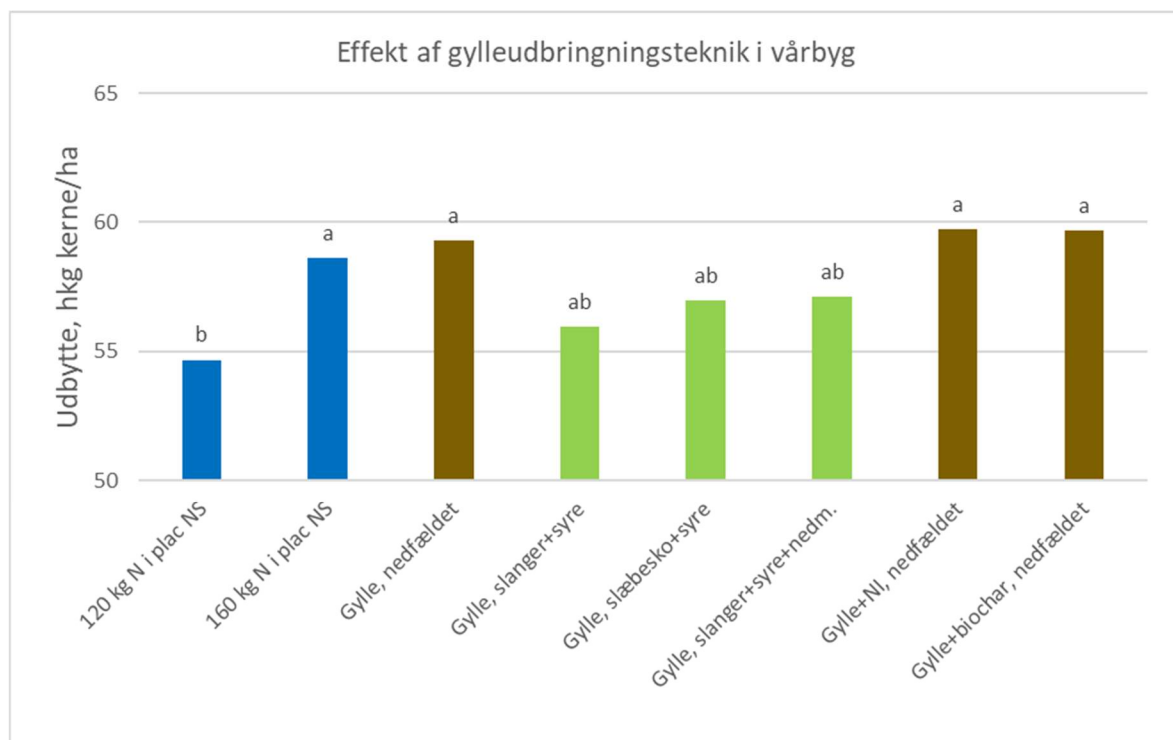
I forsøgsled med kemisk nitrifikationshæmmer blev gyllen tilført en dosering svarende til 2 l Vizura pr. ha. I forsøgsled med biokul blev gyllen tilført en dosering svarende til 1,5 tons biokul pr. ha.

Problemer med at opnå en effektiv opblanding af træ-biokul i gyllen kan have reduceret den reelle dosering i 2022.

Tilsætning af nitrifikationshæmmer gav i 2022 samme udbytte i byg som nedfældning af den ubehandlede gylle, mens der var en tendens til at forsuring af gylle med den anvendte syremængde gav lidt lavere udbytter i vårbyg.

Efter gyllens udbringning faldt der mellem 40 og 50 mm nedbør i de første 14 dage. Nedbørsmængden vurderes kun at have betinget en begrænset risiko for udvaskning af nitrat, trods de forholdsvise sandede forsøgsarealer.

Resultater af udbytteforsøg ses i figur 5 nedenfor:



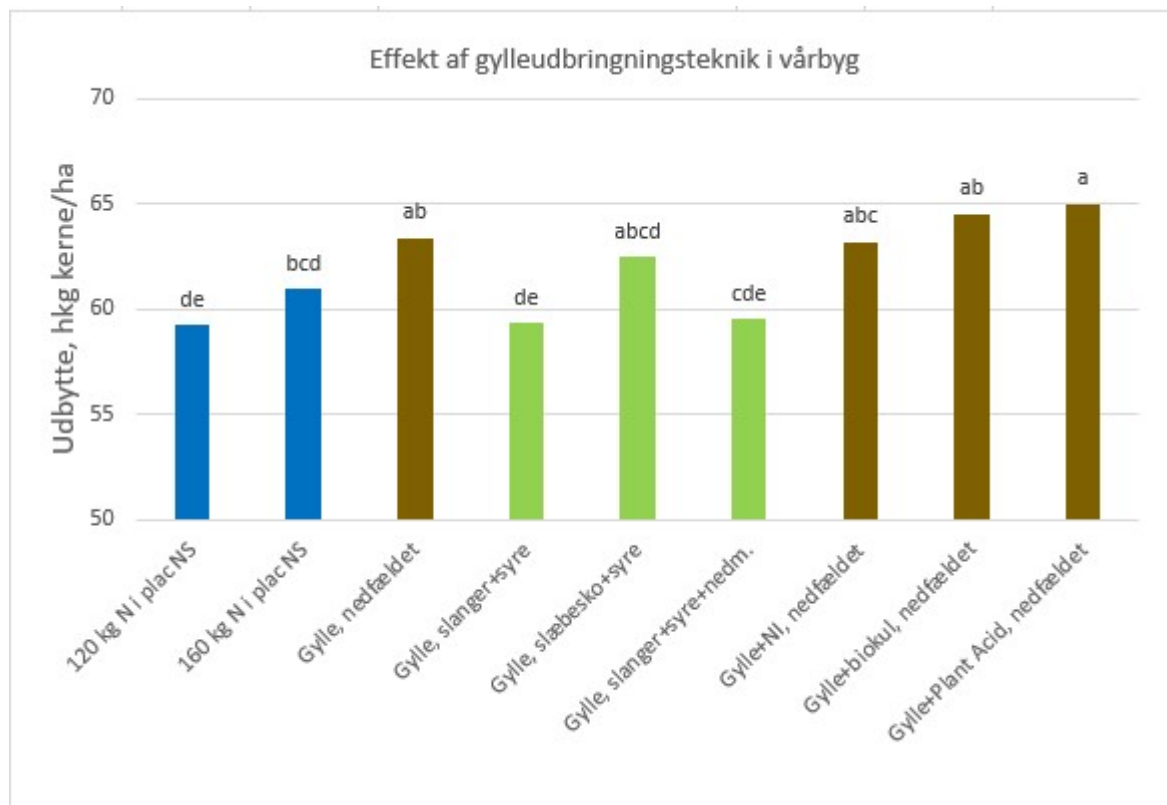
Figur 5: Udbytter i vårbyg i forsøg med gylleudbringningsteknik 2022. Søjler med markeret med forskellige bogstaver betyder at forskellen i udbytte er signifikant forskellige ved de to behandlinger. Der er ikke signifikant forskel på nedfældet gylle med eller uden kemisk nitrifikationshæmmer (NI), biochar, eller mellem de nedfældede gylletyper og forsuret gylle udbragt med slæbesko, men dog tendens til højere udbytte ved sidstnævnte gruppe i forhold til forsuret gylle.

Yderligere resultater fra 2022 findes i [LANDSFORSØGENE 2022 \(landbrugsinfo.dk\)](https://landbrugsinfo.dk) (Hansen M.N. 2022)

I foråret 2023 blev forsøgene gentaget, idet der dog er foretaget en udskiftning af typen af biokul, så det her var fremstillet af gyllefibre. Desuden blev forsøgene udvidet med et naturligt nitrifikationshæmmende plantekstrakt "Plant Acid", produceret af Addcon GmbH.

Doseringen af produktet var 1kg/ton gylle.

Resultater af udbytteforsøg fra 2023 ses i fig 6.



Figur 6 Kerneudbytte i vårbyg efter gylleudbringningsforsøg i 2023. Søjler med markeret med forskellige bogstaver betyder at forskellen i udbytte er signifikant forskellige ved de to behandlinger. Der er ikke signifikant forskel på nedfældet gylle med eller uden nitrifikationshæmmere eller mellem de nedfældede gylletyper og forsuret gylle udbragt med slæbesko men dog tendens til højere udbytte ved sidstnævnte.

I forsøgene i 2023 opnåede forsøgsled med nedfældet gylle højere udbytte end de handelsgødede led (formodentlig på grund af den tørre forsommer). Som i 2022 var udbyttet i forsøgsleddene tilsat biokul, kemisk- eller naturligt nitrifikationshæmmere på samme niveau som nedfældning uden. Tilsvarende var der også tendens til, at de forsurede led gav mindre udbytte særligt i de led med slangeudlagt gylle.

Generelt er der ikke stor forskel mellem resultaterne af enkeltforsøgene gennemført de forskellige steder i landet. Der er naturligvis forskelle mellem de høstede udbytter, men de tre behandlinger med

tilsætninger af hhv. Vizura, biokul og Addcon planteekstrakt giver ved alle lokaliteter udbytter på niveau med, eller lidt højere end ingen tilsætning. Hver af de tre behandlinger har dog i et af de seks gennemførte forsøg ført til et signifikant merudbytte. Behandling 12 i tabel 1.

Tabel 1: Udbytte i vårbyg i forsøgsled med nedfældet gylle uden og med tilsat nitrifikationshæmmere ved de forskellige lokaliteter i 2023. Se samtlige resultater inc. merudbytteberegninger og proteinindhold i rapport fra Landsforsøgene, Seges 2023.

			Kerneudbytte, enkeltforsøg					
			70742323	70742323	70742323	70742323	70752323	70752323
Udbytter, hkg kerne pr ha		Forsøgslokali	001	002	003	004	001a	002a
6.	Kvæggylle	Nedfældning	69,7	65,4	78,4	48,0	60,8	57,8
10.	Kvæggylle	Nedfældning, NI	69,9	62,9	82,3	47,3	59,0	57,7
11.	Kvæggylle	Nedfældning, biochar	67,1	65,3	79,7	53,9	62,4	60,2
12.	Kvæggylle	Nedfældning, Add con	67,3	70,2	82,9	49,1	60,6	60,1
			Signifikansniveauer enkeltforsøg					
6.	Kvæggylle	Nedfældning	a	ab	c	bc	ab	a
10.	Kvæggylle	Nedfældning, NI	ab	bc	ab	bc	abcd	a
11.	Kvæggylle	Nedfældning, biochar	ab	ab	bc	a	a	a
12.	Kvæggylle	Nedfældning, Add con	ab	a	a	b	abcd	a

Lattergasmålinger

Resultater fra lattergasmålinger i forsøgene indgår ikke i denne artikel, fordi variationen er stor, og de offentliggøres derfor først efter opførelse af hele forsøgsserien 2022 til 2024 er afsluttet.

De foreløbige opgørelser fra forsøget i 2023 tyder på, at der er en tendens til reduktion af lattergas ved gylle tilsat biokul og ligeledes for 1 kg planteekstrakt tilsat pr. ton gylle før udbringning, mens reduktionen af lattergas med kemisk nitrifikationshæmmer er højere. Det er kun målinger fra et enkelt års forsøg, hvor vejret var specielt med først meget nedbør i det tidlige forår og derefter en lang tør periode. Der kan derfor ikke konkluderes noget endeligt om nitrifikationshæmmernes effekt før de sidste forsøg i 2024 også er opgjort.

Det skal også bemærkes at der kun er gennemført dosis-respons forsøg i få laboratorieundersøgelser forud for disse forsøg. Det er derfor ikke sikkert, at det er den optimale dosis der er anvendt i markforsøgene af henholdsvis biokul og planteekstrakt.



Foto: Nedfældning af gylle inden såning af afgrøde. Foto: Henning Sjørlev Lyngvig.

Perspektiver og videre undersøgelser

Der er brug for alle virksomme metoder til at landbruget kan mindske sine udledninger tilstrækkeligt frem mod 2030 og opnå klimaneutralt landbrug i 2050 for såvel det konventionelle og det økologiske landbrug.

Udover at der skal fokus på at finde klimatiltag til den økologiske produktion og implementeringen af disse, skal tiltagene også dokumenteres videnskabeligt, for at tiltagene kan indgå i beregninger af klimabelastningen på både bedrifts- og nationalt niveau.

For at bedømme klimaeffekten korrekt af f.eks. naturlige nitrifikationshæmmere sammenlignet med andre virkemidler, er der behov for standardiserede metoder og opgørelser af effekter. Det er et vigtigt arbejde, der skal løses så hurtigt som muligt for at kunne udpege de mest effektive virkemidler og få deres effekt implementeret i tide.

De foreløbige resultater fra de igangværende forsøg med biokul og planteekstrakt tyder på, at der kan opnås en reducerende effekt på lattergasudledningen, men forsøg er dels gennemført ved relativ høje N niveauer, hvor lattergas emission også vil ligge på højere niveau, dels er der et behov for at teste med forskellige doseringer for om muligt at øge effekten. Desuden er der behov for at teste flere typer planteekstrakt evt. i kombination med biokul.

Tilsætning af en kombination af biokul og halm til gylletanke har også tidligere vist en høj metanreducerende effekt på 85 pct (se: [Effekt af biochar på emissioner fra gylletanke \(landbrugsinfo.dk\)](https://landbrugsinfo.dk)).

Omkostninger i forbindelse med anvendelsen af naturlige nitrifikationshæmmere skal også belyses for at der kan vælges den mest økonomiske fremgangsmåde.

Ud over tilsætning af nitrifikationshæmmere kunne det også være relevant at undersøge mulighederne for at behandle gylle eller afgasset gødning med forskellige separationsteknikker, så man kan samle kvælstoffet i en fraktion uden omsætteligt kulstof. Med optimal udbringningsteknik for sådanne gødninger vil dette også være en strategi for reduktion af lattergasemissionerne som supplement eller alternativ til nitrifikationshæmmere.



Referencer

[AU, 2020 Omlægning til økologi reducerer landbrugets klimagasser i Danmark \(au.dk\)](#) Institut for Agroøkologi, Institut for Husdyrvidenskab og Institut for Miljøvidenskab ved Aarhus Universitet

[Gødningsanvendelsesbekendtgørelsen, Version 5. Miljøministeriet \(mst.dk\) 2023](#)

[Danmarks Statistik, 2021 Klima - Danmarks Statistik \(dst.dk\)](#)

[Dawar, Khadim ; Khan, A. Sardar, K. , Fahad S, Saud S, Datta, R. , Danish, S. Effects of the nitrification inhibitor nitrapyrin and mulch on N₂O emission and fertilizer use efficiency using 15N tracing techniques. Science of The Total Environment, Volume 757, 2021, 143739, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143739>.](#)

DCE - Danish Centre for Environment and Energy scientific report no. 441. Aarhus University. [Denmark's National Inventory Report 2023. Emission Inventories 1990-2021 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change \(au.dk\)](#)

LARS ELSGAARD (ED.), ANDERS PETER S. ADAMSEN, HENRIK B. MØLLER, ANNE WINDING, UFFE JØRGENSEN, ESBEN Ø. MORTENSEN, EMMANUEL ARTHUR, DIEGO ABALOS, MATHIAS N. ANDERSEN, HENRIK THERS, PETER SØRENSEN, ADDISU ANTENEH DILNESSA & KATARINA ELOFSSON. DCA REPORT NO. 208 · SEPTEMBER 2022 · ADVISORY Vidensyntese om biokul i dansk landbrug. [Få mere viden om, hvordan vi kan bruge biokul i dansk landbrug \(au.dk\)](#) KNOWLEDGE SYNTHESIS ON BIOCHAR IN DANISH AGRICULTURE

Hansen, A.G. 2023 [Biokul godkendt som gødning, der kan udbringes hele året \(icoel.dk\)](#)

Hansen M. N 2021 [Effekt af biochar på emissioner fra gylletanke \(landbrugsinfo.dk\)](#)

Hansen M.N. 2022 (tabel. 37 TABEL 37. Effekt af gylleudbringningsteknik i vårbyg. (N42) [LANDSFORSØGENE 2022 \(landbrugsinfo.dk\)](#)

(IPCC, [2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories — IPCC](#)

Kösler, J.E., Calvo, O.C., Franzaring, J. *et al.* Evaluating the ecotoxicity of nitrification inhibitors using terrestrial and aquatic test organisms. *Environ Sci Eur* **31**, 91 (2019). <https://doi.org/10.1186/s12302-019-0272-3>

Oudshorn, F. 2021 [SEGES rapport \(orgprints.org\)](#) Kvælstoffets rolle ved klimabelastningen fra markfladen ved økologisk drif

Oversigt over Landsforsøgene SEGES 2023 [Landsforsøgene® \(landbrugsinfo.dk\)](#)

Petersen, S. O., Peixoto, L. E., Sørensen, H., Tariq, A., Brændholt, A., Hansen, L. V., ... & Olesen, J. E. (2023). Higher N₂O emissions from organic compared to synthetic N fertilisers on sandy soils in a cool temperate climate. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *358*, 108718.

Quan, Nguyen Van ; Wu, Di ; Kong, Xianwang *et al.* / [Effects of cattle slurry and nitrification inhibitor application on spatial soil O₂ dynamics and N₂O production pathways](#). In: *Soil Biology & Biochemistry*. 2017; Vol. 114. pp. 200-209.

Sepperer, Thomas; Petutschnig, A.; Steiner, K. Long-term study on the nitrogen retention potential of bark extracts and a polymer based thereof in cattle manure slurry, *Bioresource Technology Reports*, Volume 18, 2022, 101085, ISSN 2589-014X, <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101085>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589014X22001426>)

Søren O. Petersen, Leanne E.K. Peixoto, Helle Sørensen, Azeem Tariq, Andreas Brændholt, Line Vinther Hansen, Diego Abalos, Alice Thoft Christensen, Cecilie Skov Nielsen, Johannes W.M. Pullens,

Sander Bruun, Lars Stoumann Jensen, Jørgen E. Olesen, Higher N₂O emissions from organic compared to synthetic N fertilisers on sandy soils in a cool temperate climate, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 358, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108718>. [Higher N₂O emissions from organic compared to synthetic N fertilisers on sandy soils in a cool temperate climate - ScienceDirect](#)

Teknologisk Institut, 2021 [laboratorienotat-screening-af-naturlige-og-biologiske-nitrifikationshaemmere.pdf \(icoel.dk\)](#)

Tufail, M.A., Irfan, M., Umar, W. *et al.* Mediation of gaseous emissions and improving plant productivity by DCD and DMPP nitrification inhibitors: Meta-analysis of last three decades. *Environ Sci Pollut Res* 30, 64719–64735 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26318-5>

[Vejledning om gødsknings- og harmoniregler \(lbst.dk\)](#) Landbrugsstyrelsen 2023, [Rapport \(lbst.dk\)](#)

Wang, xin; Junhong Bai, Tian Xie, Wei Wang, Guangliang Zhang, Shuo Yin, Dawei Wang, 2021 [Effects of biological nitrification inhibitors on nitrogen use efficiency and greenhouse gas emissions in agricultural soils: A review - ScienceDirect](#)

Wu et al. 2021 [The importance of ammonia volatilization in estimating the efficacy of nitrification inhibitors to reduce N₂O emissions: A global meta-analysis - ScienceDirect](#)