

DIFFERENTIEREDE EMISSIONSFAKTORER FOR LATTEGAS

STØTTET AF

Promilleafgiftsfonden for landbrug

SEGES
INNOVATION

Indhold

INTRODUKTION	4
NYE EMISSIONSFAKTORER FRA IPCC	4
TIER 1, 2 OG 3	5
LATTERGAS FRA MARKEN: DANNELSE, EMISSION, PÅVIRKENDE FAKTORER	6
MÅLING AF LATTERGASEMISSIONER	7
ANDRE LANDES ARBEJDE MED DIFFERENTIEREDE EMISSIONSFAKTORER.....	7
CANADA.....	7
<i>Lattergas fra N-tilførsel.....</i>	<i>8</i>
<i>Lattergas fra jordbearbejdning</i>	<i>8</i>
<i>Lattergas differentieret efter jordtekstur</i>	<i>9</i>
<i>Lattergasemissioner tilknyttet vanding.....</i>	<i>9</i>
<i>Lattergasemissioner associeret med topografi</i>	<i>9</i>
Sommerbrak	9
Andre kilder	10
HOLLAND	10
Uorganisk kvælstofgødning.....	10
Husdyrgødning	10
Spildevandsslam	11
Kompost	11
Husdyrgødning fra græssende dyr.....	11
Afgrøderester	11
Organogene jorde	11
Atmosfærisk deposition.....	11
Udvaskning.....	11
JAPAN	11
Handelsgødning og husdyrgødning	11
Husdyrgødning fra græssende dyr.....	12
Afgrøderester	12
Mineralisering	12
Pløjning af organiske jorde.....	12
Atmosfærisk deposition.....	12
Udvaskning og overfladeafløb.....	13
USA.....	13
DayCent	13
AUSTRALIEN	14
Mineralsk gødning	14
Organisk gødning	14
Spildevandsslam	14
Husdyrgødning fra græssende dyr.....	14
Afgrøderester	14
Tab af organisk stof i jorden.....	15
Kulstofrige jorde	15
Atmosfærisk deposition.....	15
Udvaskning.....	15

4. HVILKE DATA/STUDIER ER TILGÆNGELIGE FRA DK – OG HVAD SKAL DER TIL.....	15
5. HVAD ER RELEVANT AT DIFFERENTIERER PÅ UNDER DANSKE FORHOLD – OG HVILKE AKTIVITETSDATA FINDES?	20
AKTIVITETSDATA TIL AT BEREKNE EMISSIONEN I NATIONALE OPGØRELSE	21
AKTIVITETSDATA TIL AT BEREKNE EMISSIONEN PÅ BEDRIFTSNIVEAU	21
UNDER DANSKE FORHOLD.....	22
<i>Differentieret emissionsfaktor for gødning</i>	<i>22</i>
<i>Differentieret emissionsfaktor for Sædskifte</i>	<i>23</i>
<i>Differentieret emissionsfaktor for jordtype</i>	<i>24</i>
OPSUMMERING	25
REFERENCER.....	26

Introduktion

Når Danmark hvert år skal opgøre sine drivhusgasemissioner i den danske National Inventory Report, regnes lattergasemission fra marken ud fra standard emissionsfaktorer fra IPCC (Intergovernmental panel for climate change) (KILDE IPCC 2006). Altså baseret på en såkaldt Tier 1 metode. De anvendte emissionsfaktorer kan læses i tabel 1. En emissionsfaktor angiver hvilken andel af tilført eller frigivet kvælstof der udledes som lattergas. I praksis bestemmes emissionsfaktoren for gødningstildeling for eksempel som emissionen ved gødningstildeling fratrukket baggrundsemissionen delt med den tilførte mængde gødning.

Tabel 1: Emissionsfaktorer anvendt i den danske National Inventory Report.

	N2O emissions faktor, kg N2O-N/kg N	Kilde
Direkte emissioner		
Handelsgødning	0,01	IPCC 2006
Husdyrgødning	0,01	IPCC 2006
Spildevandsslam	0,01	IPCC 2006
Andre organiske gødninger	0,01	IPCC 2006
Husdyrgødning fra græssende dyr	0,01-0,02	IPCC 2006
Afgrøderester	0,01	IPCC 2006
Mineralisering/immobilisering ved tab/opbygning af organisk materiale	0,01	IPCC 2006
Dyrkning af organiske jorde	0,8-13	IPCC 2014
Indirekte emissioner		
Atmosfærisk deposition	0,01	IPCC 2006
Kvælstofudvaskning	0,0075	IPCC 2006

For de fleste posters tilfælde beregnes emissionen som 1 % af det tilførte kvælstof. Det gælder for eksempel for tilførsel af handels- og husdyrgødning. Undersøgelser viser dog, at en emissionsfaktor på 1 % ikke nødvendigvis er retvisende under danske forhold. Derfor pågår der i øjeblikket et arbejde med at undersøge og indsamle data på hvad en mere korrekt emissionsfaktor for handels- og husdyrgødning vil være og hvordan den kan differentieres efter forskellige forhold, f.eks. gødningstype, jordtype og sædskifte i Danmark. Denne rapport skal undersøge mulighederne og datagrundlaget for at differentiere emissionsfaktoren for kvælstofgødning efter forskellige forhold – sådan at der, når effekten er dokumenteret, kan anvendes en Tier 2-metode til at opgøre emissionen.

Nye emissionsfaktorer fra IPCC

Et stigende antal af internationale studier påpeger, at blandt andet klimaforhold og gødningstype påvirker emissionsfaktoren for kvælstof i kultiverede marker. Derfor er der i IPCC-rapporten; *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* fra 2019 lavet en opdeling af emissionsfaktoren fra 2006, hvor der tages højde for klima og gødningstype. I våde klimaer, er standardværdien for emissionsfaktoren for husdyrgødning (og andre organiske N input) reduceret fra 0,01 til 0,006 kg N₂O-N pr. kg N, mens

emissionsfaktoren for handelsgødning er opjusteret fra 0,01 til 0,016 kg N₂O-N pr kg N. Under danske forhold indikerer studier, at emissionen fra både handels- og husdyrgødning er under den oprindelige standardværdi på 0,01 kg N₂O-N pr. kg N (DCA, 2018), og at emissionen fra handelsgødning er lavere end emissionen fra husdyrgødning – altså i modstrid med de differentierede emissionsfaktorer i IPCC 2019. I IPCC oplyses at lande der har data til at dokumentere, at standardværdien fra IPCC ikke er retvisende i det pågældende land, selv kan dokumentere differentierede emissionsfaktorer, sammen med en fuld afdækning af anvendte værdier og metoder, sådan at emissionen kan opgøres via enten en Tier 2 eller Tier 3 metode (Hergoualc'h et al., 2019).

Tier 1, 2 og 3

Under IPCC's guidelines er der forskellige muligheder for at opgøre emissioner. Ved Tier 1 metoden anvendes IPCC's emissionsfaktorer. Ved Tier 2-metoden anvendes emissionsfaktorer, der er differentieret ift. aktivitet, og ved en Tier 3 metode anvendes en beregningsmetode, hvor emissionerne modelleres (Hergoualc'h et al., 2019).

Når IPCC beregner lattergasemissionen fra kvælstofkilder er det som nævnt via en Tier 1-metode:

Direkte lattergasemission fra kultiverede jorde (Tier 1):

Ligning 1: $N_{2O\text{direkte-N}} = N_{2O-N\text{-tilførsel}} + N_{2O-N_{OS}} + N_{2O-N_{PRP}}$

Hvor

$N_{2O\text{direkte-N}}$ = årlig direkte N₂O-N emission fra kultiverede jorder, årlig kg N₂O-N

$N_{2O-N\text{-input}}$ = årlig direkte N₂O-N emission fra N inputtet til de kultiverede jorder, årlig kg N₂O-N

$N_{2O-N_{OS}}$ = årlig direkte N₂O-N emission fra kultiverede kulstofrige jorder, årlig kg N₂O-N

$N_{2O-N_{PRP}}$ = årlig direkte N₂O-N emission afsat på græs/fra græssende dyr, årlig kg N₂O-N

Hvis der findes mere detaljerede emissionsfaktorer fra forskellige aktivitetsdata, end dem angivet i ligning 1 kan der yderligere differentieres i ligningen. Hvis der f.eks. findes aktivitetsdata og differentierede emissionsfaktorer fra hhv. syntetisk gødning (F_{SN}) og fra organisk N (F_{ON}), under forskellige forhold i , kan ligning 1 udvides til:

Direkte lattergasemission fra kultiverede jorde (Tier 2):

Ligning 2: $N_{2O\text{direkte-N}} = \sum (F_{SN} + F_{ON})_i * EF_{1i} + (F_{CR} + F_{SOM}) * EF_1 + N_{2O-N_{OS}} + N_{2O-N_{PRP}}$

Hvor:

EF_{1i} = emissionsfaktorer for N₂O-emission fra syntetisk gødning og organiske N-tildeling under forhold i (kg N₂O-N (kg N-input)⁻¹); $i = 1, \dots, n$

$F_{SN} + F_{ON}$ = aktivitetsdata for handels- og husdyrgødning

F_{CR} = årlig mængde N i afgrøderester, kg/N år

F_{SOM} = årlig mængde N som mineraliseres i forbindelse med C omsætning af SOM, som resultat af ændringer i land use eller dyrkningsstrategi, kg N/år.

N_2O-N_{OS} = årlig direkte N_2O-N emission fra kultiverede kulstofrige jorder, årlig kg N_2O-N

$N_2O-NPRP$ = årlig direkte N_2O-N emission afsat på græs/fra græssende dyr, årlig kg N_2O-N

Ligning 2 kan modificeres sådan at den tilpasses tilgængeligt data af forskellige N kilder, afgrødetype, dyrkningspraksis, jord, klima mm., så den tilpasses forhold og data der gør sig gældende i det pågældende land.

Ved en Tier 3-metode kan lattergasemissionen som nævnt estimeres baseret på modeller, der kan opskales til f.eks. at dække landbrugets samlede nationale udledning. Via modeller kan der tages flere parametre i betragtning, samt 'rækkefølgen af begivenheder'. F.eks. forekommer den indirekte emission af lattergas fra udvasket kvælstof, først efter, at dette kvælstof er udvasket (Hergoualc'h et al., 2019).

Lattergas fra marken: dannelse, emission, påvirkende faktorer

Lattergas (N_2O) er en kvælstofholdig drivhusgas med et Global Warming Potential (GWP) på 298 på en 100 års skala. Det vil sige at 1 kg lattergas har samme klimateffekt som 298 kg CO_2 . Lattergas bliver dannet i jorden ved en række forskellige processer. I landbrugsmæssig sammenhæng, er de processer der bidrager mest til lattergasudledning nitrifikation og denitrifikation. Nitrifikation er omdannelse af ammonium (NH_4^+) til nitrat (NO_3^-) via nitrit (NO_2^-), og her kan der dannes lattergas som et biprodukt når ammonium oxideres til nitrit. Nitrifikationsprocessen er afhængig af at der er ammonium og ilt til stede. Nogle nitrifikanter har brug for kulstof i form af organisk materiale for at vokse mens andre kan fikse CO_2 .

Denitrifikation er den stepvise reduktion af nitrat til lattergas eller frit kvælstof, hvor lattergas er et mellemprodukt (Wrage et al., 2001). Løber denitrifikationsprocessen ikke til ende, frigives der lattergas i stedet for frit kvælstof (N_2). De optimale forhold for denitrifikation er markant anderledes end dem for nitrifikation, idet denitrifikationen kræver iltfrie forhold som f.eks. når jorden er vandmættet. Derudover kræver denitrifikationen at der er nitrat og organisk kulstof tilgængeligt. Det at der frigives lattergas fra flere processer under forskellige forhold i jorden gør, at det er vanskeligt at reducere lattergasudledningen.

Når man taler om lattergasudledning, taler man ofte om "hotspots og hot moments". Det er fordi lattergas ikke udledes konstant i lige mængder, men har en mere sporadisk natur, hvor det f.eks. udledes fra et vidst område af en mark (hotspots) eller i en kort periode (hot moments), f.eks. et par dage efter en gødskning. Denne sporadiske natur gør at lattergas er svært og ressourcekrævende at måle, idet man skal måle med høj nok tidslig og rumlig opløsning til at fange emissionerne af lattergas når de er der.

Måling af lattergasemissioner

Lattergas måles oftest ved fluxkammermetoden. Et fluxkammer består af en ramme, som er sat ned i jorden, og et kammer som placeres over rammen i den periode, hvor der foretages målinger. Over tid stiger koncentrationen af gasser i kammeret, og der tages prøver ud 2-5 gange hen over 0,5-1 time for lattergas og op til 15 minutter for CO₂. Gasprøverne bliver udtaget med en sprøjte og nål gennem en gummiprop. Prøverne kan herefter gemmes og analyseres for deres gaskoncentration, og udledningen af drivhusgasser fra jorden og evt. planterne beregnes ud fra ændringen i koncentrationen af gasserne over tid.

Fordelen ved fluxkammermålinger er, at de er relativt simple at udføre og ikke kræver noget særligt udstyr i marken. Metoden er velegnet til at teste lattergasemissioner fra forskellige behandlinger, som for eksempel nitrifikationshæmmere eller gødningsniveauer i markforsøg. Til gengæld kræver metoden en del manuelt arbejde, og der udtages ikke prøver hele tiden. Der vil normalvis blive målt hver eller hver anden uge mens der bliver målt oftere, f.eks. dagligt eller hver anden dag, ved markoperationer som forventes at øge lattergasudledningen. Dette kunne være ved pløjning eller gødsning. Endelig dækker kammeret kun et lille areal, og der kan være betydelige forskelle i drivhus-gasemissioner indenfor kort afstand.” Citat fra: [Sådan måles drivhusgasemissioner i marken \(landbrugsinfo.dk\)](https://landbrugsinfo.dk) Et fluxkammer kan også være automatisk og selv åbne og lukke i løbet af dagen. Det giver mulighed for en højere tidslig opløsning på målingerne.

Andre landes arbejde med differentierede emissionsfaktorer

I det følgende beskrives metoderne som de lande der anvender Tier 2 eller Tier 3-tilgange bruger. Det drejer sig om Canada, Holland, Japan, New Zealand, USA og United Kingdom.

Canada

Canada har udviklet en Tier 2 metode til at estimere N₂O emissioner fra marken. I denne metode bliver lattergasemissionerne estimeret for hvert økodistrikt og opskaleret til provins- og nationalt niveau. Der anvendes en emissionsfaktor som varierer på tidslig og rumlig skala efter klimatisk jordfugtighedsregime, og som tager højde for management, jordtekstur og topografi (Rochette et al., 2008).

De direkte emissioner i økodistrikt *i* beregnes som:

$$N_2O_{ag. soils_i} = N_2O_{inputs_i} + N_2O_{till_i} + N_2O_{irrig_i} + N_2O_{topo_i} + N_2O_{texture_i} + N_2O_{fallow_i} + N_2O_{os_i} + N_2OPRP_i$$

hvor de forskellige kilder til lattergas (i kg N₂O-N år⁻¹) er N-tilførsel (N₂O_{inputs_i}), jordbehandlingsintensitet (N₂O_{till_i}), vanding (N₂O_{irrig_i}), topografi (N₂O_{topo_i}), jordtekstur (N₂O_{texture_i}), sommerbrak (N₂O_{fallow_i}), dyrkning på kulstofrige jorde (N₂O_{os_i}), samt gødning fra græssende dyr (N₂O_{PRP_i}). Metoden til at beregne lattergasemissionen fra disse kilder bygger på Rochette et al., 2008 og beskrives i det følgende.

LATTERGAS FRA N-TILFØRSEL

Lattergas fra N-tilførsel regnes som summen af N fra handelsgødning (N_{fert_i}), husdyrgødning (N_{man_i}), planterester (N_{res_i}) samt mineralisering af jordens organiske pulje (N_{min_i}) ganget med en emissionsfaktor (EF_{eco_i}):

$$N_2O_{inputs_i} = (N_{fert_i} + N_{man_i} + N_{res_i} + N_{min_i}) \times EF_{eco_i} \quad .$$

Emissionsfaktorerne estimeres i to trin. Først estimeres emissionsfaktoren på regionalt niveau (EF_{reg_i}), der hvor der er tilstrækkeligt data tilgængeligt. Disse emissionsfaktorer repræsenterer et standard-referencescenarie. Derefter disaggregeres emissionsfaktorerne på økodistriktniveau (EF_{eco_i}) så de afspejler hvordan de lokale forhold påvirker lattergasemissionerne.

Emissionsfaktorerne bestemmes af hældningen af en lineær regression mellem N tilført med gødning (x-akse) og lattergasemission (y-akse).

Studier har vist, at der også udledes lattergas om vinteren når jorden er snedækket, og om foråret når sneen tør, men de fleste målinger og studier måler kun i den ikke-snedækkede sæson. Dermed risikerer man at underestimere lattergasudledningerne, og de regionale emissionsfaktorer korrigeres derfor for andelen af lattergas der udledes i vinter- og tøperioden i de relevante regioner.

De regionale emissionsfaktorer bliver disaggregeret til økodistriktniveau og på årsbasis ud fra forholdet mellem nedbør og fordampning, da dette fortæller noget om vandindholdet i jorden, som er en af de faktorer der har stor betydning for lattergasemissionerne.

$$EF_{eco} = 0.022 \times P/PE - 0,0048,$$

Hvor P er årlig nedbør og PE er fordampningen i perioden maj til oktober.

LATTERGAS FRA JORDBEARBEJDNING

Bidraget fra jordbearbejdning til lattergasemissionerne i økodistrikt i er beregnet ud fra en ratiofaktor (RF_{till}) som beskriver ratioen mellem lattergasemissioner fra marker under pløjefri dyrkning (N_2O_{notill}) og konventionel jordbearbejdning (N_2O_{conv}) i den region hvor økodistrikt i ligger. Ratiofaktoren beregnes som:

$$RF_{till} = \frac{N_2O_{notill}}{N_2O_{conv}}, \text{ og ved brug af denne beregnes bidraget fra jordbearbejdning i økodistrikt } i \text{ som:}$$

$$N_2O_{till_i} = N_2O_{inputs_i} \times (RF_{till} - 1) \times F_{till_i},$$

hvor F_{till_i} er andelen af landbrugsarealet under pløjefri dyrkning eller reduceret jordbearbejdning i økodistrikt i .

LATTERGAS DIFFERENTIERET EFTER JORDTEKSTUR

Indvirkningen af forskelle i jordtekstur på lattergasemissionerne bliver estimeret ud fra en ratiofaktor for jordtekstur (RF_{text}) og andelen af landbrugsareal med den pågældende tekstur (F_{text}) indenfor det givne økodistrikt. RF_{text} beregnes som ratioen af lattergasemissionerne fra en given teksturklasse mod den gennemsnitlige lattergasemission fra alle teksturer i den pågældende region. De anvendte teksturklasser er fin (fine), medium og grov (coarse). Lattergasemissionerne der tilskrives jordteksturen i et givent økodistrikt (N₂O_{text}) beregnes således:

$$\begin{aligned} N_{2}O_{text,i} = & N_{2}O_{inputs,i} \times (RF_{text, fine_i} - 1) \times F_{text, fine_i} \\ & + N_{2}O_{inputs,i} \times (RF_{text, medium_i} - 1) \times F_{text, medium_i} \\ & + N_{2}O_{inputs,i} \times (RF_{text, coarse_i} - 1) \times F_{text, coarse_i} \end{aligned}$$

LATTERGASEMISSIONER TILKNYTTET VANDING

Differentieringen i lattergasemissioner baseret på om der vandes eller ej bygger på en række antagelser, idet der ikke findes studier der direkte sammenligner emissioner fra vandede og ikke-vandede områder. Antagelserne er 1) at vanding stimulerer lattergasproduktion på samme måde som nedbør, 2) at der vandes med mængder sådan at vanding og nedbør sammenlagt svarer til den potentielle evapotranspiration, og 3) at gødningstildelingen er den samme på vandet og uvandet jord. Lattergasemissionerne associeret med vanding i et økodistrikt (N₂O_{irrig}) beregnes således som:

$$N_{2}O_{irrig,i} = N_{2}O_{inputs,i} \times \frac{EF_{eco} - EF_{eco,i}}{EF_{eco,i}} \times F_{irrig,i}$$

hvor EF_{eco,i} er emissionsfaktoren på økodistriktniveau.

LATTERGASEMISSIONER ASSOCIERET MED TOPOGRAFI

Når der differentieres efter topografi antages det, at vådere forhold i de lavere områder i landskabet udligener den begrænsende effekt som et tørt lokalt klima har på lattergasemissionerne. Lattergasemissionerne associeret med forskelle i topografi beregnes som:

$$N_{2}O_{topo,i} = N_{2}O_{inputs,i} \times \frac{EF_{eco} - EF_{eco,i}}{EF_{eco,i}} \times F_{topo,i}$$

hvor F_{topo,i} er andelen af landbrugsareal med enårige afgrøder som ligger i lavtliggende dele af landskabet indenfor økodistriktet. Lavtliggende beskrives her som områder hvor det er sandsynligt at jordfugtigheden er høj i længere perioder i løbet af året. Det antages at disse områder får tildelt samme mængder N som resten af arealet.

SOMMERBRAK

Sommerbrak er en jævnlgt brugt metode til at bevare jordens fugtighed på den canadiske prærie. Ved sommerbrak ligger marken brak i et år af sædskiftet. Studier har vist at jorde der ligger brak normalt har højere vandindhold, temperatur, og C- og N-indhold end jorde der aldrig ligger brak (Cameron), og dette er alle forhold som kan øge lattergasproduktionen, hvilket også er observeret i praksis (Mosier og Kessavalou). Eftersom sommerbrak ikke gødes i Canada, kan man ikke estimere lattergasemissionerne ud fra N-tilførsel

til brakmarkerne. Men da data fra studier, der har sammenlignet brak med omdrift i prærieregionen, har fundet i gennemsnit nogenlunde lige store emissioner, antages det, at emissionerne fra brakmarkerne er de samme som fra marker i omdrift. Lattergasemissionerne fra sommerbrak i et givent økodistrikt ($N_2O_{fallow_i}$) beregnes som:

$$N_2O_{fallow_i} = (N_{fert_i} + N_{res_i} + N_{man_i}) \times EF_{eco_i} \times Fann_i \times F_{fallow_i}$$

hvor $Fann_i$ er andelen af landbrugsarealet som er i omdrift, og F_{fallow_i} er andelen af landbrugsarealet som ligger brak i økodistrikt i .

ANDRE KILDER

Indirekte emissioner som følge af deposition af ammoniak og kvælstofmonooxid, og udvaskning og overfladeafstrømning af kvælstof beregnes i Canada med standardmetoden fra IPCC (ref IPCC 2006) grundet manglende forsøgsdata.

Holland

Holland beregner lattergasemissionerne fra marken med en blanding af Tier 1 og Tier 2-metoder, hvor de i Tier 2-metoderne bruger nationalt bestemte emissionsfaktorer. De samlede lattergasemissioner fra marken ($N_2O_{ag.soils}$) beregnes som:

$$N_2O_{ag.soils} = N_2O_{fert} + N_2O_{man} + N_2O_{sew} + N_2O_{comp} + N_2O_{PRP} + N_2O_{res} + N_2O_{os} + N_2O_{atm} + N_2O_{leach}$$

hvor N_2O_{fert} er emissioner fra handelsgødning, N_2O_{man} er emissioner fra husdyrgødning, N_2O_{sew} er emissioner fra udbringning af spildevandsslam, N_2O_{comp} er emissioner fra udbringning af kompost, N_2O_{PRP} er emissioner fra husdyrgødning fra græssende dyr, N_2O_{res} er emissioner fra planterester, N_2O_{atm} er indirekte emissioner fra atmosfærisk deposition af ammoniak og NO_x , og N_2O_{leach} er indirekte emissioner fra kvælstofudvaskning. Beregninger og emissionsfaktorer for de forskellige puljer beskrives i det følgende.

UORGANISK KVÆLSTOFGØDNING

I overensstemmelse med IPCC's retningslinjer, beregner Holland lattergasemissionerne fra udbringning af uorganisk kvælstofgødning ved at multiplicere mængden af udbragt N med en emissionsfaktor (og 44/28 som er omregningsfaktoren fra kg N til kg N_2O). Emissionsfaktoren på 0,013 (kg N_2O -N/kg N) er et vægtet gennemsnit for eksperimentelt bestemte emissionsfaktorer for forskellige gødnings- og jordtyper.

HUSDYRGØDNING

De skelner mellem udbringningstyper når de beregner lattergasemissioner fra udbragt husdyrgødning. Holland beregner også lattergasemissionerne fra udbragt husdyrgødning som tildelt kg N i husdyrgødning gange en emissionsfaktor, men de skelner mellem udbringningstyper. Emissionsfaktoren for bredspredt husdyrgødning er 0,004 kg N_2O -N/kg N og emissionsfaktoren for nedfældet gylle er 0,009, og begge er vægtede gennemsnit for organisk og mineral-jord.

SPILDEVANDSSLAM

Lattergasemissioner fra spildevandsslam brugt som gødning beregnes som mængden af N i udbragt spildevandsslam gange en emissionsfaktor, og der differentieres ligesom for husdyrgødning mellem overfladeudbringning og nedfældning. Emissionsfaktorerne for spildevandsslam er de samme som for husdyrgødning, nemlig 0,004 og 0,009 $\text{N}_2\text{O-N/kg N}$ for hhv. overfladeudbragt og nedfældet slam.

KOMPOST

Lattergasemissioner fra kompost bliver regnet som N tilført i form af kompost gange med en emissionsfaktor for kompost, som er 0,004 $\text{N}_2\text{O-N/kg N}$ idet al kompost antages at blive tilført til jordoverfladen.

HUSDYRGØDNING FRA GRÆSENDE DYR

Lattergasemissioner fra husdyrgødning fra græssende husdyr bliver i det hollandske nationale regnskab beregnet som N i husdyrgødning fra græssende husdyr gange en emissionsfaktor. Emissionsfaktoren er 0,033 $\text{kg N}_2\text{O-N/kg N}$ og er et vægtet gennemsnit fra forskellige jordtyper.

AFGRØDERESTER

Lattergasemissioner fra afgrøderester bliver beregnet som N i planterester gange en emissionsfaktor for planterester. Emissionsfaktoren er 0,01 $\text{N}_2\text{O-N/kg N}$ og gælder for mineraljord, idet der nærmest ikke dyrkes afgrøder i omdrift på organogene jorde i Holland.

ORGANOGENE JORDE

Lattergasemissioner fra dyrkning af organogene jorde regnes i Holland som arealet af tørvejord eller kulstofrig jord gange en mineraliseringsrate for jordtypen gange en emissionsfaktor for organogene jorde. Mineraliseringsraterne er henholdsvis 233,5 og 204,5 kg N/ha for tørvejorde og andre kulstofrige jorde, og emissionsfaktoren for begge jordtyper er 0,02 $\text{N}_2\text{O-N/kg N}$.

ATMOSFÆRISK DEPOSITION

Indirekte lattergasemissioner koblet til atmosfærisk deposition af ammoniak (NH_3) og NO_x er bliver beregnet efter standard IPCC emissionfaktorer.

UDVASKNING

Indirekte lattergasemissioner koblet til kvælstofudvaskning beregnes efter standard IPCC emissionsfaktorer.

Japan

HANDELSGØDNING OG HUSDYRGØDNING

I Japans Nationale Opgørelser, beregnes lattergasemissionen fra marken med en Tier 2-tilgang. Der er ikke fundet forskel i lattergasemissioner fra handels- og husdyrgødning i japanske forsøg, og derfor skelnes der ikke mellem gødningstyper. Man har til gengæld observeret forskelle i emissionerne fra forskellige afgrøder,

med lavere emissioner fra ris og højere emissioner fra te end fra andre afgrøder. Der skelnes derfor mellem ris, te og "andre afgrøder". Generelt har Japan lavere emissionsfaktorer end standardfaktorerne fra IPCC. Det skyldes at jordene i vid udstrækning er vulkansk aske som er meget veldrænet (Japans National inventory). Japan regner desuden med en reduktion på 26 % af lattergasemissionerne ved brug af en nitrifikationshæmmer sammen med handelsgødning.

Tabel 2.

Afgrøde	Emissionsfaktor uden nitrifikationshæmmer [kg N ₂ O-N /kg N]	Emissionsfaktor med nitrifikationshæmmer [kg N ₂ O-N /kg N]
Vådris (paddy ris)	0,31 %	-
Te	2,9 %	2,1 % [=2,9%×(1-0,26)]
Andre afgrøder	0,62 %	0,46 % [=0,62%×(1-0,26)]

HUSDYRGØDNING FRA GRÆSENDE DYR

Japan opgør lattergasemissionen fra græssende dyr sammen med øvrig "manure management". For kvæg anvendes en emissionsfaktor på 0,684% og for 0,33%.

AFGRØDERESTER

Japan bruger IPCC's standard emissionsfaktor på 0,01 for lattergasemissioner fra afgrøderester. Mængden af afgrøderester beregnes landsspecifikt.

MINERALISERING

Japan har aktivitetsdata knyttet til mineralisering på mineraljord. Derfor regnes lattergas fra mineralisering på mineraljord som:

$$E = EF \times A \times \frac{44}{28}$$

hvor E er lattergasemission (kg N₂O), EF er emissionsfaktoren for mineralisering på mineraljord (kg N₂O-N/ha), og A er arealet af pløjet mineraljord. Som emissionfaktor bruges baggrundsemissionerne fra landbrugsal (0.65 kg N₂O-N/ha).

PLØJNING AF ORGANISKE JORDE

På samme måde som mineralisering på mineraljorde, regnes mineralisering på tørvejorde som:

$$E = EF \times A \times \frac{44}{28}$$

hvor der for vådrismarker anvendes en landespecifik emissionsfaktor på 0,30 kg N₂O-N/ha og for andre marker anvendes IPCCs standard emissionfaktor på 8 kg N₂O-N/ha.

ATMOSFÆRISK DEPOSITION

Indirekte emissioner af lattergas beregnes ved IPCC's standard Tier1 metode:

$$E = EF \times A \times \frac{44}{28}$$

hvor E er lattergasemission (kg N₂O), EF er en standard emissionfaktor på 0,01 for atmosfærisk deposition (kg N₂O-N/ha), og A er aktivitetsdata. A beregnes som:

$$A = N_{FERT} \times \text{Frac}_{GASF} + N_{ON} \times \text{Frac}_{GASM3} + N_{PRP} \times \text{Frac}_{GASM4}$$

Hvor:

A er den totale mængde N der fordampes som NH₃ og NO_x fra uorganisk og organisk gødning samt gødning fra græssende husdyr,

N_{FERT} er mængden af N i udbragt uorganisk gødning,

Frac_{GASF} er procentdelen af fordampning af NH₃ og NO_x fra uorganisk gødning,

N_{ON} er mængden af N i udbragt organisk gødning,

Frac_{GASM3} er procendelen af NH₃ og NO_x-fordampning fra organiske gødninger,

N_{PRP} er mængden af N i afsat husdyrgødning, og

Frac_{GASM4} er andelen af N i afsat husdyrgødning som fordampes som NH₃ og NO_x.

UDVASKING OG OVERFLADEAFLØB

Emissioner af lattergas fra kvælstofudvaskning og overfladeafløb beregnes som:

$$E = EF \times A \times \frac{44}{28}$$

Hvor der anvendes IPCC's standard emissionsfaktor på 0,0075 og hvor A er givet som:

$$A = (N_{FERT} + N_{ON} + N_{PRP} + N_{CR} + N_{SOM}) \times \text{Frac}_{LEACH}$$

Hvor:

A er den totale mængde kvælstof som udvaskes eller løber af som overfladeafstrømning,

N_{FERT} er mængden af N i udbragt uorganisk gødning,

N_{ON} er mængden af N i udbragt organisk gødning,

N_{PRP} er mængden af N i afsat husdyrgødning,

N_{CR} er mængden af N i nedpløjede planterester

N_{SOM} er mængden af N fra mineralisering på mineraljord, og

Frac_{LEACH} er andelen af kvælstoffet som udvaskes eller løber af ved overfladeafstrømning.

USA

I USA anvendes generelt en blanding af Tier 3 og tier 1 samt en såkaldt splicing metode.

DAYCENT

Tier 3 modellen hedder DayCent. Modellen tager højde for interaktioner mellem N input, management samt klimatiske og miljømæssige forhold. Det betyder, at der skal langt mere data til både for at lave modellen, men også aktivitetsdata skal være langt mere detaljeret. Modellen bruges på mineraljorde i afgrøderne lucerne, byg, majs, bomuld, græs og kløvergræs til slet, havre, peanuts, kartofler, ris, sorghum (durra), soja-bønner, sukkerroer, solsikke, tobak og hvede. Dette dækker omtrent 85% af det amerikanske landbrugsareal. Andre afgrøder inkluderes ikke og heller ikke jorde som tages ind eller ud af omdrift. Organogene

jorde inkluderes heller ikke i modellen. Nogle græsarealer er heller ikke inkluderet fordi der ikke findes nok aktivitetsdata. På alle disse arealer bruges Tier 1 metoden.

Modellen bruges til at estimere lattergasemissioner fra handels- og husdyrgødning, afgrøderester, mineralisering af organisk materiale og asymbiotisk fiksering af N.

For at fordele emissionerne på forskellige kilder antages det at fordelingen mellem N-kilder svarer til fordelingen af emissioner. Det antages derfor at alt kvælstof er udsat for en lige emission (tilsvarende den samme emissionsfaktor).

Australien

Australien beregner lattergasemissionen ved en kombination af Tier 1 og Tier 2.

MINERALSK GØDNING

For mineralsk gødning anvendes emissionsfaktorer differentieret på forskellige dyrkningssystemer. Emissionsfaktorerne baserer sig på nationale forsøg og findes i tabel 3.

Tabel 3: Emissionsfaktorer baseret på dyrkningssystem.

Produktionssystem	EF (Gg N ₂ O-N/Gg N)	Reference
Vandede græsarealer	0,009	Scherbak and Grace (2014)
Vandede omdriftsarealer	0,0085	Scherbak and Grace (2014)
Ikke vandede græsarealer	0,0021	Scherbak and Grace (2014)
Ikke vandede omdriftsarealer	0,0020	Scherbak and Grace (2014)*
Sukkerrør	0,0199	Scherbak and Grace (2014)
Bomuld	0,0055	Scherbak et al. (2014)
Hortikultur	0,0085	Scherbak and Grace (2014)

* Vægtet gennemsnit som antager at 80% af arealerne er ved lavt nedbørsniveau. Lavt nedbørsniveau EF = 0,0005, højt nedbørsniveau EF = 0,0085.

ORGANISK GØDNING

For kvæg og fjerkræ anvendes IPCC's standard emissionsfaktor på 1%. For organisk gødning fra svin anvendes en emissionsfaktor på 0,0039 Gg N₂O-N/Gg N. Dette er baseret på modellen PigBal (Skerman et al. 2013).

SPILDEVANDSSLAM

Spildevandsslam tilføres fortrinsvis jorden for at bortskaffe det i Australien. For spildevandsslam anvendes en emissionsfaktor på 0,9 % (Bouwman et al. 2002).

HUSDYRGØDNING FRA GRÆSENDE DYR

For husdyrgødning fra græssende dyr bruges også en national emissionsfaktor. Emissionsfaktoren er sat til 0,4% baseret på flere kilder. (Galbally et al. 1994), a (Galbally et al. 2005) Flessa et al. (1996), Yamulki and Jarvis (1997), and Oenema et al. (1997)

AFGRØDERESTER

Der anvendes en Tier 2 metode til at bestemme mængden af afgrøderester, men default emissionsfaktoren på 1% bruges til at estimere lattergasproduktionen.

Massen af afgrøderester bestemmes som:

$$M_{ijk} = (P_{ij} \times R_{AGj} \times (1 - F_{ij} - FFOD_{ij}) \times DM_j \times NC_{AGj}) + (P_{ij} \times R_{AGj} \times R_{BGj} \times DM_j \times NC_{BGj})$$

Where

P_{ij} = annual production of crop (Gg)

R_{AGj} = residue:crop ratio (kg crop residue/kg crop) (Appendix 5.I.1)

R_{BGj} = below ground-residue:above ground residue ratio (kg /kg) (Appendix 5.I.1)

F_{ij} = fraction of crop residue that is burnt (Appendix 5.I.1)

$FFOD_{ij}$ = fraction of crop residue that is removed (Appendix 5.I.1)

DM_j = dry matter content (kg dry weight/kg crop residue) (Appendix 5.I.1)

NC_{AGj} = N content of above-ground crop residue (kg N/kg DM) (Appendix 5.I.1)

NC_{BGj} = N content of below-ground crop residue (kg N/kg DM) (Appendix 5.I.1)

Massen af afgrøderester på græsarealer bestemmes som:

$$M_{ikl} = (A_{ikl} \times \text{Frac}_{\text{Renewal}} \times (Y_k / 1000) \times (1 - FFOD_{ik}) \times NC_{AGk}) + (A_{ikl} \times \text{Frac}_{\text{Renewal}} \times (Y_k / 1000) \times R_{BGk} \times NC_{BGk})$$

Where

A_{ikl} = Area of pasture (ha)

$\text{Frac}_{\text{Renewal}}$ = Fraction of pasture renewed = $1/X$ where X is the average renewal period in years: 10 years for intensive systems and 30 years for other systems

Y_k = Average yield (t DM/ha) (Appendix 5.I.2)

R_{BGk} = below ground-residue:above ground residue ratio (kg /kg) (Appendix 5.I.1)

NC_{AGk} = N content of above-ground crop residue (kg N/kg DM) (Appendix 5.I.1)

NC_{BGk} = N content of below-ground crop residue (kg N/kg DM) (Appendix 5.I.1)

$FFOD_{ik}$ = fraction of pasture yield that is removed (Appendix 5.I.2)

TAB AF ORGANISK STOF I JORDEN

Her bruges en national emissionsfaktor på 0,2%. (Scherbak and Grace 2014; Scherbak et al. 2014).

KULSTOFRIGE JORDE

Her anvendes IPCC's standardværdi på 14 kg N₂O-N/ha

ATMOSFÆRISK DEPOSITION

Den atmosfæriske deposition bestemmes med en landsspecifik metode. Der beregnes en indirekte lattergasemission fra handelsgødning, husdyrgødning og spildevandsslam separat. Emissionsfaktoren for lattergas er den samme for de tre kategorier som den direkte emission (Scherbak and Grace 2014; Scherbak et al. 2014).

UDVASKNING

Andelen af kvælstof som udvaskes bestemmes efter lokale forhold. Emissionsfaktoren for udvasket N er 0,011 som er IPCC's standard-faktor (2019).

4. Hvilke data/studier er tilgængelige fra DK – og hvad skal der til

Det at regne med den bestemte emissionsfaktor fra IPCC for kvælstof betyder, at den eneste mulighed vi reelt har, for at reducere N₂O-emissionen i marken, er at reducere mængden af tilført N. Det vil ultimativt have en negativ påvirkning på produktionen. Differentierede emissionsfaktorer vil give landmanden flere muligheder for at praktisere de tiltag på marken, der har den laveste klimapåvirkning (Sørensen PowerPoint). Det

er afgørende at få kvantificeret drivhusgasemissionen korrekt, samt at dokumentere effekten af de virkemidler vi kender, så vi kan regne med effekten af klimatiltag i marken (Olesen et al., 2018).

I et samarbejde mellem Aarhus Universitet, Københavns Universitet og SEGES arbejdes der i emissionsprojektet NATEF – Nationale emissionsfaktorer for lattergas fra kvælstofgødning og sædskifter, på at udvikle differentierede emissionsfaktorer der gør, at effekten af N₂O-reducerende virkemidler kan dokumenteres. Som beskrevet i introduktionen, bestemmes emissionsfaktoren i praksis som emissionen fra kvælstoftildeling fratrasket baggrundsemissionen delt med den tilførte mængde kvælstof. Derfor kan man, som i projekter som KLIMINI og i studier som Thers et al., (2020) og andre der har målt lattergasemissionen fra marken som et led i forskellige undersøgelser, finde målinger af lattergasemissionen i forbindelse med kvælstoftildeling. Disse studier kan understøtte dataindsamlingen af lattergasemission fra kvælstoftildeling.

AU har igennem de seneste 10 år udført flere langtidsstudier af lattergasemissionen fra dyrkningsjord. I tabel 4 ses en opgørelse med udvalgte resultater for emissionen af lattergas fra landbrugsjord i forsøg gennemført ved Aarhus Universitet. Den sidste kolonne angiver emissionsfaktorer (EF) for den pågældende kombination af jordtype, afgrøde og tilførsel af kvælstof i gødning, efterafgrøder eller afgrøderester.

Tabel 4. Udvalgte resultater af lattergas fra landbrugsjord i forsøg gennemført ved AU. Den sidste kolonne angiver emissionsfaktor. Længden af måleperioder varierer mellem 110 og 390 dage. De beregnede EF repræsenterer her en gennemsnitlig værdi for de væsentligste kilder (kvælstofgødning, efterafgrøder, afgrøderester) (DCA, 2018).

	Længde	Jordtype	Afgrøde	System	Kvælstofgødning	Gødningstype	Efterafgrøder	Afgrøderester	N ₂ O-emission	EF
					kg N/ha		kg N/ha		kg N/ha	
Chirinda et al. 2010	390	JB4	Vinterhvede	konv, C4	165	AN	-	-	0.91	0.006
Chirinda et al. 2010	390	JB4	Vinterhvede	økol, O4	108	SG	-	-	0.68	0.006
Chirinda et al. 2010	390	JB4	Vinterhvede	økol, O4	108	SG	+ ^a	-	0.81	0.008
Chirinda et al. 2010	390	JB4	Vinterhvede	økol, O2	102	ASG	+	-	0.63	0.006
Chirinda et al. 2010	390	JB6	Vinterhvede	konv, C4	170	AN	-	-	1.60	0.008
Chirinda et al. 2010	390	JB6	Vinterhvede	økol, O4	101	SG	-	-	0.82	0.007
Chirinda et al. 2010	390	JB6	Vinterhvede	økol, O4	101	SG	+	-	0.63	0.005
Chirinda et al. 2010	390	JB6	Vinterhvede	økol, O2	101	SG	+	-	0.93	0.008
Brozyna et al. 2013	365	JB4	Vårbyg	økol, O2	61	SG	-	53	0.90	0.008
Brozyna et al. 2013	365	JB4	Kløvergræs	økol, O2	-	-	-	38	0.40	0.011
Brozyna et al. 2013	365	JB4	Kartofler	økol, O2	112	SG	-	90	1.20	0.006
Brozyna et al. 2013	365	JB4	Vinterhvede	økol, O2	107	SG	63	33	0.50	0.002
Li et al. 2014	365	JB4	Kløver, vårbyg	konv	-	-	107	-	0.82	0.008
Li et al. 2014	365	JB4	kløvergræs, vårbyg	konv	-	-	91	-	0.83	0.009
Li et al. 2014	365	JB4	vikke, vårbyg	konv	-	-	99	-	0.68	0.007
Li et al. 2014	365	JB4	olieræddike, vårbyg	konv	-	-	66	-	1.45	0.022
Li et al. 2014	365	JB4	græs, vårbyg	konv	-	-	55	-	0.52	0.009
Li et al. 2014	365	JB4	brak, vårbyg	konv	-	-	31	-	0.71	0.023
Baral et al. 2017	110	JB4	Vårbyg	konv	476	KG+SS	-	-	1.97	0.004
Baral et al. 2017	110	JB4	Vårbyg	konv	191	KG	-	-	0.70	0.004
Baral et al. 2017	110	JB4	Vårbyg	konv	152	SG	-	-	0.26	0.002
Baral et al. 2017	110	JB4	Vårbyg	konv	167	AG	-	-	0.19	0.001
Baral et al. 2017	110	JB4	Vårbyg	konv	100	AS	-	-	0.19	0.002
Baral et al. 2017	110	JB4	Vårbyg	konv	-	-	-	-	0.02	-

^a Sædskifte med efterafgrøder.

NS: ammoniumsulfat; AN - ammoniumnitrat; AS: ammoniumsulfat; KG: kvæggylle; SG: Svinegylle; G: Gylle; AG: afgasset gylle; ASG: Afgasset svinegylle; SS: spildevandsslam, afgasset og afvandet

Data i tabel 4 viser N₂O-emissionsfaktorer indsamlet fra fire forskellige studier fra både konventionel og økologisk produktion. De fire studier giver et overblik over aktuelle emissionsfaktorer fra marken i Danmark, og er dermed med til at give et bedre estimat af den reelle emissionsfaktor, dog med det in mente at disse studier kun er udført på jordbundstype 4 og 6, og dermed ikke dækker over alle jordbundstyper.

Chirinda et al. (2010) gennemførte forsøg i tre økologiske og et konventionelt markbrug, hvor hovedformålet var at undersøge effekten af efterafgrøder i det økologiske landbrug og forskellige gødningstyper og -strategier. På tværs af alle forsøg var der ingen forskelle i emissionsfaktoren, til trods for forventningen om at efterafgrøder samt en øget mængde tilført N ville bidrage til en øget emissionsfaktor. For eksempel havde de økologiske markbrug med begrænset gødning samme faktor som det konventionelle markbrug der havde en større N tildeling. Det konventionelle markbrug havde tilmed det største udbytte. Til gengæld var der en klar tendens til højere N_2O emissioner når der var et sammenfald mellem høje nitrat koncentrationer i jorden (fx efter gødsning eller efter jordbearbejdning med inkorporering af afgrøderester) og høje jord temperaturer eller kraftige regnskyl. På baggrund af disse resultater konkluderede Chirinda et al. (2010), at skal N_2O emissionen sænkes, så skal der bruges klimavirkemidler der reducerer jordens koncentration af kvælstof, for eksempel ved at fjerne efterafgrøder ved høst og sidenhen bruge dem som grøn gødning. Dette resultat bliver bakket op af Taghizadeh et al (2021) der fandt at N_2O emissioner kun var høje når både nitrat og tilstrækkelig jordfugt var tilstede.

Konklusionen fra Chirinda et al. (2010) om at reducere jordens N koncentration blev til dels understøttet i Li et al. (2014), der undersøgte effekten af forskellige efterafgrøder (tre forskellige bælglplanter, flerårig rajgræs og olieræddike). Her fandt de ca. samme emissionsfaktorer for alle typer efterafgrøder på nær olieræddike og brakmarken uden efterafgrøder. De observerede at olieræddike, der ikke er specielt vinterhårdfør, blev ødelagt ved pløjning, og dermed blev den friske biomasse tilgængelig for nedbryderorganismerne der så frigjorde N til N_2O dannelsen. De tre forskellige bælglplanter opbyggede derimod N i jorden, der gjorde næste års udbytter højere end hvis efterafgrøden var rajgræs eller olieræddike. Resultater fra Li et al. (2014) tyder altså på at bælglplanter som efterafgrøder har positiv indvirkning på næste års udbytter, samt at den ikke vinterhårdføre olieræddike kan blive et problem i forhold til øget emissionsfaktor. Det bliver ydermere foreslået, at bælglplanter kan være med til delvist at erstatte gødningstildeling i økologiske markbrug uden at udbyttet falder eller emissionsfaktoren stiger, hvilket kan være det klimavirkemiddel der efterspørges i Chirinda et al. (2010).

I Brozyna et al. (2013) blev effekten af afgrøderester samt tildelingen af svinegylle undersøgt i et fireårigt økologisk sædskifte bestående af: vårbyg – kløvergræs – kartofler – vinterhvede. I dette studie så man det tilsvarende sammenfald mellem høje lattergasemissioner og høj jordfugt som beskrevet i Chirinda et al. (2010), samt ved nedmuldning af afgrøderester, som også blev observeret i Li et al. (2014) ved olieræddike. Det kom til udtryk ved høje emissioner lige efter vanding eller kraftig nedbør, og medførte blandt andet en høj lattergasemission fra kartoffelafrøden. Generelt var der ingen forskel på lattergasemissioner mellem de gødede og ugødede behandlinger, men tildeling af svinegylle gav overordnet set større afgrøder.

Det sidste studie medtaget i tabel 4, Baral et al. (2017), undersøgte effekten af forskellige gødsningstyper (spildevandsslam og husdyrgødning (kvæg, svin og afgasset gylle)) i vårbyg. Koncentrationen af ammonium i jorden efter udbringning var højest efter ca. 7 dage for alle gylletyperne, hvorimod handelsgødningen peakede indenfor det første døgn. Kvæggylle og kombinationen af kvæggylle plus spildevandsslam havde store udslag i N_2O emissioner 5-40 dage efter udbringning og de højeste emissionsfaktorer, der var henholdsvis fire og ti gange højere end emissionsfaktoren for handelsgødning. N_2O emissionen peakede ca. samtidig for

kvæggylle og kvæggylle plus spildevandsslam (efter 20 dage), men emissionsudsvinget varede meget længere for kvæggylle plus spildevandsslam (35 dage) end for kvæggylle (5 dage). Svinegylle havde ca. samme emissionsforløb og emissionsfaktor som handelsgødningen, mens afgasset gylle klart havde den laveste emissionsfaktor. Baral et al. (2017) foreslår, at det ikke kun er gylletypen men også udbringningsmetoden der har effekt på emissionsfaktoren, da gyllekumper, med deres anaerobe miljø, er større emissionskilder end jævnt spredt gylle. Et andet gødningsforsøg undersøgte forskellen på udbringning af svinegylle i henholdsvis efteråret og foråret samt effekten af nitrifikationshæmmere (NI) i efterårsudbringningen i vinterhvede (Wolf et al, 2022). Dette studie fandt det største udbytte og mindste emission ved udbringning i foråret, hvor afgrøden er i vækst og derfor bedre i stand til at optage den tilførte kvælstof. Derudover fandt de ingen effekt af NI ved efterårsudbringningen. Manglen på NI effekt foreslår de kan stamme fra stor heterogenitet i jorden brugt i forsøget, hvilket kan betyde at N₂O emissionen er stedspecifik – betinget af lokale forhold. Et forslag der bliver bakket op af Taghizadeh-Toosi et al (2021), der fandt at N i jorden er en dårlig forudsigelsesfaktor for N₂O emissioner, men at de specifikke jordforhold og aktuel jordbearbejdning havde større betydning. I Wolf et al (2022) bliver udvaskningen af N også undersøgt, og her konkluderes det, at den største del af det udvaskede N stammer fra organisk N allerede til stede i jorden og altså ikke fra den tilførte gylle, hvilket ydermere understøtter forslaget om at de specifikke jordforhold har stor betydning for emissionerne.

Et studie fra det nordøstlige Tyskland (Biernat et al. 2020) undersøgte forskellen i N₂O emissioner mellem det konventionelle og økologiske markbrug på en række forskellige afgrøder. De fandt, ligesom Chirinda et al (2010) større N₂O emissioner fra det konventionelle markbrug, hvor tilførslen af N også var størst, men det var også her, at udbyttet var størst, hvilket afspejlede sig i N₂O emissionen beregnet per produkt enhed, hvor der ingen forskel var mellem de to dyrkningsformer, men at afgrødetypen derimod havde stor effekt på emissionen. Ligesom i Brozyna et al. (2013) og i Li et al (2014) fandt Biernat et al (2020) også her stigning i emissioner efter jordbearbejdning og de foreslår at vente med nedmuldning til foråret for at undgå frigivelse af N til jorden gennem vinteren forårsaget af fryse/tø cykler. Ydermere bakker dette studie op om Chirinda et al's (2010) forslag om at fjerne kløvergræs efter slæt og senere bruge det som grøn gødning. Biernat et al (2020) foreslår, at det i bund og grund handler om at øge kvælstofeffektiviseringen, således at det tilførte N bliver i planten og går til vækst i stedet for at blive omdannet til N₂O.

Disse studier giver tilsammen et fint overblik over N₂O emissioner og emissionsfaktorer i relation til forskellige dyrkningsstrategier, men er ikke som sådan gennemført med henblik på at dokumentere emissionsfaktoren fra kvælstofkilder. På tværs af studierne varierer emissionsfaktoren mellem 0,001 og 0,023, med et gennemsnit på 0,007. Standardværdien for emissionsfaktoren fra IPCC tillægges i den danske opgørelse en usikkerhed på 100 pct. På grund af den store usikkerhed samt 'evidens' for at emissionsfaktoren med høj sandsynlighed er lavere end 1 pct. er det relevant at overveje kvantificering af lattergasemissionen på nationalt niveau med nye differentierede emissionsfaktorer, som derved kan forbedre nøjagtigheden af drivhusgasopgørelsen. Emissionsfaktorer baseret på nationale undersøgelser vil sandsynligvis være mere retvisende under danske forhold, end IPCC's standardværdier for emissionsfaktorer (DCA, 2018), og ligesom det gør sig

gældende for Holland og Storbritannien, ændre landets opgørelse for drivhusgasser fra landbrugsjord (DCA, 2018).

De gasmålinger, der skal understøtte differentierede emissionsfaktorer, er i høj grad manuelle, så de kan udføres under de specifikke forhold, der ønskes undersøgt. Det er dog en tidskrævende metode og der er samtidigt risiko for at hændelser med 'peaks' af høje lattergasemissioner misses. Derfor kan manuelle målinger suppleres med automatiske målekampanjer (Olesen et al., 2018). Vi ser ind i et omfattende måleprogram for at kunne dokumentere differentierede emissionsfaktorer. F.eks. bygger Hollands nationale emissionsfaktor på 64-83 målekampanjer primært af markforsøg på lerjord og sandjord, smat inkubationsforsøg med tørvejord. Målekampanjerne forløb over 2-3 år (DCA, 2018).

DCA, 2018: Citeret

Hollands nationale EF bygger primært på markforsøg gennemført på lerjord (2007-2008) og sandjord (2007- 2009) og inkubationsforsøg med tørvejord. Markforsøgene blev alle gennemført i samme område, dvs. effekter af klimagrader blev ikke belyst. Forsøg på sandjord omfattede græs og majs, forsøgene på lerjord kun græs. Indenfor hvert forsøg var der fem (græs) eller seks (majs) behandlinger (handels- og husdyrgødning, udbringningsmetode). Gødskning fulgte gældende normer, dog med ekstra niveauer i 2009. Der blev i markforsøgene gennemført 64 eller 83 målekampanjer over de 2-3 år, som måleperioden omfattede, svarende til 32-38 årlige målekampanjer, med hyppigere målinger omkring gødskning, og lavere frekvens om vinteren. Samlet betyder disse ændringer, at emissionen af lattergas fra landbrugsjord i den hollandske opgørelse forøges med 21% sammenlignet med en opgørelse baseret på IPCC's default emissionsfaktorer.

I Storbritannien har man gennemført et måleprogram i perioden 2010-2015 til dokumentation af nationale emissionsfaktorer for lattergasemission fra dyrkningsjord. Herved er der dokumenteret nationale emissionsfaktorer for handelsgødning, husdyrgødning, og husdyrgødning afsat af græssende dyr. Samlet betyder de ændrede emissionsfaktorer, at emissionen af lattergas fra landbrugsjord i den britiske opgørelse reduceres med 33% sammenlignet med en opgørelse baseret på IPCC's default emissionsfaktorer.

I DCA (2018) findes et konkret forslag til et måleprogram, som repræsenterer 1,9 mio. ud af Danmarks 2,7 mio. ha landbrugsjord. Programmet strækker sig over 4 lokaliteter repræsenteret af forskellige sædskifter, kvægbrug, svinebrug og planteavlsbrug på forskellige jordtyper. Det forventes, at der vil være behov for mindst 30 kampanjer pr. år i tre år for at dokumentere nationale EF. Parcellforsøg skal etableres senest året før måleprogrammets start. Forslaget omfatter målinger i 3 år.

SEGES Innovation er på nuværende tidspunkt ved at gennemføre en række forskellige forsøg i 2022 til at undersøge lattergasemissioner. Forsøgene forventes ligeledes at løbe i 2023 og 2024. Det første forsøg undersøger lattergasemissionen ved forskellige nedmuldningsstrategier for økologisk kløvergræs i foråret efterfulgt af såning af vårbyg. Nedmuldning af kløvergræs fører til øget omsætning og N-indhold i jorden hvilket kan resultere i øget lattergasemission. I forsøget undersøges det hvor stor denne emission reelt set

er ved omlægning af en kløvergræsmark og dermed om flerårige græsmarker kan anses som klimavirkemiddel eller ej.

To af de andre forsøg undersøger lattergasemissioner ved stigende N tilsat som handelsgødning samt hvilken effekt nitrifikationshæmmere har på emissionerne i vinterhvede og vårbyg. Yderligere to forsøg skal bidrage med mere viden om effekten af gylleudbringningsteknik og -type med nitrifikationshæmmere i vinterhvede og vårbyg. Derudover undersøges lattergasemissioner også i majs- og kartoffelforsøg. Tidligere forsøg har vist at nitrifikationshæmmere reducerer lattergasemissionen, men disse resultater har udvist stor variation pga. faktorer som fx vejret, jordtypen, afgrøden og gødningstypen. Mere data er derfor nødvendigt for at kunne give et bedre estimat af emissionsfaktorerne, og det er netop det de igangværende forsøg skal være med til at afdække.

5. Hvad er relevant at differentierer på under danske forhold – og hvilke aktivitetsdata findes?

Lattergasemissionen fra landbruget kan opgøres på to niveauer:

- 1) Det nationale klimaregnskab, hvor drivhusgasemissionen opgøres inden for landets grænser.
- 2) Opgørelse af emissionen på bedriftsniveau via en Livcyklusanalyse (LCA), hvor man også kan tage emissionen uden for Danmarks grænser med i betragtning f.eks. emissionen fra importeret gødning.

Danmark har forpligtet sig til at lave en årlig opgørelse af nationale drivhusgasemissioner, efter retningslinjer defineret af IPCC. Emissionen estimeres som: $\text{Aktivitet}_n \times \text{EF}_n$, hvor Aktivitet_n repræsenterer det årlige input af kvælstof med kilden n , og EF_n den tilhørende emissionsfaktor (DCA, 2018). Som beskrevet anvendes emissionsfaktoren fastsat af IPCC, hvis ikke der forelægger mere præcise emissionsfaktorer. I andre lande, Holland og England, har man differentieret emissionsfaktorer på forskellige kvælstofkilder:

Tabel 5. Standard emissionsfaktor, IPCC (Tier 1), samt nationale emissionsfaktorer, som er taget i anvendelse af Holland (NL) og Storbritannien (UK).

	IPCC	NL	UK
Handelsgødning	0,01	0,013 ^a	
Urea/UAN til græs			0,00481 ^b
Urea/UAN til afgrøder			0,00604
Andre gødningstyper til græs			0,01293
Andre gødningstyper til afgrøder			0,00791
Husdyrgødning	0,01		
Gylle, overfl udbragt		0,004	0,00601 ^c
Gylle, nedfældet		0,009	0,00601
Fast gødning		0,004	0,00364
Spildevandsslam	0,01	0,009	
Afgrøderester	0,01	0,011	
Deposition under afgræsning			
Kvæg/svin/fjerkræ	0,02	0,033	0,004432
Får/andet	0,01	0,033	0,004432

^a Kun kalkammonsalpeter undersøgt.

^b Ammoniak-N tab fra ureaholdige gødninger på op til 45% (Misselbrook et al., 2016; Tabel A11) kan være medvirkende til den lave EF for direkte lattergasemission.

^c Effekt af udbringningsmetode på ammoniaktab beregnes (Misselbrook et al., 2016). Idet dette er en indirekte kilde til N₂O, afhænger samlet lattergasemission også af udbringningsmetode.

For at kunne regne med differentierede emissionsfaktorer for lattergasemissionen fra kvælstof i Danmark, kræver det, at differentierede emissionsfaktorer dokumenteres via videnskabelige undersøgelser, under gældende forhold i Danmark. Med differentierede emissionsfaktorer på plads, skal den nødvendige aktivitetsdata for beregning af drivhusgasemissionen på nationalt- og bedriftsniveau hentes fra forskellige databaser.

Baseret på de studier der er gennemgået i afsnit 4 (heriblandt tabel 4) kan der udarbejdes en foreløbig liste med relevant aktivitetsdata til at bestemme lattergasemissionen:

- Sædskilte
- Efterafgrøder
- Gødningstype, -strategi, -udbringningstidspunkt og -udbringningsteknik
- Jordbearbejdning
- Vanding
- Nitrifikationshæmmere

Aktivitetsdata til at beregne emissionen i nationale opgørelse

Den aktivitetsdata der skal til for at beregne emissionen fra landbruget på nationalt niveau i Danmark kan hentes fra officielle databaser. I 'National Inventory Report', stammer datagrundlaget for drivhusgas-opgørelsen for landbrug og LULUCF fra data publiceret af Danmarks Statistik; data fra Dansk Center for Fødevarer og Landbrug, Aarhus Universitet; satellit- og GIS-data af arealanvendelse (Nielsen et al., 2021). I IPCC beskrives, at en risiko ved at bruge offentlig tilgængelige data, er faren for at data beskriver et forbrug der ikke er tilsvarende det eksakte landbrugsareal, men evt. inkluderer forbruget til skovbrug mm., samt udfordringer med definitionsbestemmelse (f.eks. hvad der indgår i husdyrgødning (Hergoualc'h et al., 2019)).

Aktivitetsdata til at beregne emissionen på bedriftsniveau

For at regne med differentierede emissionsfaktorer på bedriftsniveau kræver det at aktivitetsdata fra den specifikke bedrift dokumenteres. I forbindelse med NATEF (Nationale Emissionsfaktorer) projektet skulle de deltagende landmænd registrere planlagte markaktiviteter samt bekræfte markaktiviteten når den var gennemført i Mark Online. 57 bedrifter deltog og registrerede aktivitetsdata såsom mængde af husdyr- eller handelsgødning samt udbringningsmetode. Ligeledes blev der registreret afgrødetype, udbytter og jordbehandling. Vha. dette værktøj er det altså muligt at registrere aktivitetsdata på bedriftsniveau, og derved beregne lattergasudledningen ud fra differentierede emissionsfaktorer. Udfordringen ved denne database er, at dataregistreringen kan have varierende kvalitet og udspecificering, da det er den enkelte bedrift der selv står for registreringerne. I NATEF projektet blev der i 2020-2021 i gennemsnit registreret 80-85 % af de planlagte markaktiviteter. Alle gødningsudbringninger blev bekræftet, mens jordbehandlinger manglede registreringer på gennemført aktivitet.

Differentierede emissionsfaktorer vil stille store krav på den enkelte bedrift til datahåndtering og dokumentation. For på sigt at opgøre drivhusgasbudgettet på bedriftsniveau, med differentierede emissionsfaktorer, skal dataregistrering på bedrifterne gøres så let tilgængelig at landmanden får det gjort og derved kan optimere og dokumentere sin produktion ud fra de klimahensyn der tages på bedriften (**Søren PowerPoint**). I løbet af

2022 og 2023 udvikler SEGES Innovation et klimaværktøj (ESGreenTool) der kan beregne klimaafttryk på den enkelte bedrift. Klimaværktøjet henter, i skrivende stund, data fra allerede registrerede markaktiviteter i gødningsregnskabet. Fremtiden byder på automatisk dataoverførsel direkte fra MarkOnline. Vha. data fra Mark Online kan der beregnes klimaafttryk per hektar og per udbytteenhed, men kun hvis det rette og rigtige aktivitetsdata er registreret. Emissioner tilknyttet gødningsanvendelsen udgør ca. 60-70 % af markens samlede klimaafttryk, og aktivitetsdata på markniveau forbundet med gødskning er derfor vigtigt både at få registreret og bekræftet. De beregnede klimaafttryk for hver mark bliver sammenlignet med et landsgennemsnit for hver enkelt afgrøde, og det bliver tydeligt hvordan forskellige klimavirkemidler virker på de enkelte marker. Derudover får de enkelte bedrifter et bedre overblik over gødningsudbringninger og kan evt. bedre fordele de enkelte kvælstofkvoter mere optimalt, og derved opnå højere udbytter. Dette klimaværktøj giver altså de enkelte bedrifter et godt incitament til at få registreret deres markaktivitetsdata – data der ligeledes kan bruges til at beregne differentierede emissionsfaktorer.

Under danske forhold

En national emissionsfaktor for lattergasemissionen fra dansk landbrugsjord er kun aktuel for direkte emissioner, da lattergasemission fra f.eks. ammoniaktab og udvaskning hører til lattergasemission udenfor markfladen. Derfor er disse ikke omfattet af ændret emissionsfaktor for lattergasemission fra landbrugsjord, og derfor skal indirekte kilder fortsat estimeres med standardværdien fra IPCC (DCA, 2018).

En Tier 2-metode, med anvendelse af nationale EF forventes at repræsentere vigtige afgrøder, jordtyper, klimagrader og dyrkningsmetoder i det pågældende land (DCA, 2018).

Her undersøges hvilke aktivitetsdata der er tilgængelig for at udvikle differentierede emissionsfaktorer for:

- Gødningstype, JB nr. og sædskifte.

DIFFERENTIERET EMISSIONSFAKTOR FOR GØDNING

Emissionen af lattergas i dansk markbrug kan i høj grad associeres med gødningsanvendelse og mineralisering af afgrøderester i marken (DCA, 2018). I det danske markbrug stammede godt 25 % af den direkte drivhusgasemission [CO₂e] fra handels- og husdyrgødning i 2018, når der regnes med en emissionsfaktor på 0,01 kg N₂O-N pr. kg N. Denne faktor er imidlertid ikke retvisende for emissionen fra kvælstofgødning under danske forhold. Her tyder studier på, at den procentvise N₂O emission fra handelsgødning er lavere end den procentvise N₂O emission fra husdyrgødning, pr. kg tilført N (DCA, 2018).

Emissionsfaktorer for lattergas er baseret på måling af den ekstra lattergasemission, der kommer fra tilførslen af kvælstof i handels- eller husdyrgødning eller afgrøderester. I Danmark indgår spildevandsslam i husdyrgødning, når emissionen opgøres, mens man i Holland differentierer yderligere mellem husdyrgødning og slam (DCA, 2018). Ligeledes kan det være aktuelt at differentiere mellem forskellige gødningstyper, både handels- og husdyrgødning under danske forhold.

Baseret på danske og udenlandske undersøgelser har DCA (2018) sammenfattet en liste over hvilke emissionsfaktorer det vil være relevante at dokumentere under danske forhold (tabel 7).

Tabel 7. Kilder til lattergasemission fra landbrugsjord, for hvilke det vil være relevant at overveje en national emissionsfaktor (DCA, 2018).

<i>Kilde</i>	<i>Dokumentationsbehov</i>	<i>Perspektiver for lattergasreduktion</i>
Handelsgødning		
Ammoniumnitrat	Flerårig, parcel	20 – 50%
Ammoniumsulfat (AS)	Flerårig, parcel	20 – 50%
Urea	Flerårig, underparcel	?
AS m. nitrifikationshæmmer	Flerårig, underparcel	30 – 70%
Husdyrgødning		
Kvæggylle (KG)	Flerårig, parcel	20 – 50%
Svinegylle (SG)	Flerårig, parcel	20 – 50%
Afgasset gylle	Flerårig, parcel	20 – 50%
Dybstrøelse	Flerårig, parcel	?
KG m. nitrifikationshæmmer	Flerårig, underparcel	30 – 70%
SG m. nitrifikationshæmmer	Flerårig, underparcel	30 – 70%

Ifølge DCA (2018) er aktivitetsdata for både husdyr- og planteproduktion veldokumenteret på bedriftsniveau. Det gælder både forbruget af kvælstof i handels- og husdyrgødning samt andelen af afgrøderester i marken. Kvælstof til landbrugsjord er altså veldefineret, og derfor er gødning et oplagt sted at starte ift. at opgøre differentierede emissionsfaktorer fra kvælstofbidrag.

DIFFERENTIERET EMISSIONSFAKTOR FOR SÆDSKIFTE

En Tier 2-metode med brug af nationale emissionsfaktorer i Danmark forventes blandt andet at repræsentere vigtige afgrøder (DCA, 2018). Der lægges ikke op til dokumentation af emissionsfaktorer fra afgrøderester, da dette er kompliceret at estimere grundet vekselvirkning med planteoptagelse og tilførsel af kvælstof med handels- og husdyrgødning. Herudover er emissionen af lattergas fra afgrøderester i praksis ikke afgrænset til et enkelt kalenderår, og den dyrkningsmæssige historik har derfor betydning for lattergasemissionen fra afgrøderester. Det foreslås derfor i stedet, at differentierede emissionsfaktorer dokumenteres i sædskifter, hvor bidrag fra afgrøderester til baggrundsemission af lattergas vil være repræsenteret gennem målinger i alle afgrøder, og korrigeret for gennem målinger af baggrundsemissionen på tværs af afgrøder (DCA, 2018). Jordens struktur kan være præget af, hvilket sædskifte der dyrkes på marken, samt om afgrøder nedmuldes i jorden. En god og iltrig jordstruktur i marken kan være med til at reducere emissionen af lattergas.

Studier indikerer, at det gavner jordstrukturen at have et sædskifte med efterafgrøder og tilførsel af husdyrgødning, som kan øge jordens luftskifte og dermed reducere lattergasemission. Dog vil det at øge andelen af organisk materiale også øge andelen af kvælstof, der kan omsættes og potentielt kan udledes som lattergas. Braklægning kan også øge jordens indhold af organisk materiale, samt reducere den direkte emission af lattergas pga. manglende gødskning.

I Danmarks Statistik har vi aktivitetsdata der viser en oversigt over hvor stor en andel af landbrugsarealet, der dyrkes med hvilke afgrøder. Dog findes der ikke aktivitetsdata over det samlede sædskifte med gødningsforbrug mm på landsplan. Med data fra markstyringsprogrammer som MarkOnline, er der dog dyrkningshistorik til stede, og også gødningsforbrug i de enkelte afgrøder og sædskifter kan registreres.

DIFFERENTIERET EMISSIONSFAKTOR FOR JORDTYPE

Selvom Danmark ikke strækker sig over et stort geografisk område, kan der være betydelig variation med hensyn til jordtype og klima. Sammenfaldet mellem gradienter i klima, jordtype og husdyrfordeling gør, at det kan være relevant at belyse disse faktorer i forbindelse med dokumentering af differentierede nationale emissionsfaktorer. I DCA (2018) lægges der vægt på, at produktionssystemer skal undersøges på relevante jordtyper samt at en stor del af variationen i lattergasemission fra de forskellige jordtyper skyldes forskelle i nedbør (DCA, 2018). I tungere jorde, er der risiko for pakning ved blandt andet jordbearbejdning på våd jord. Det vil ultimativt øge risikoen for lattergasudvikling, såfremt der er kvælstof og kulstof til stede i jorden.

I MiljøGis findes en oversigt over fordelingen af jordstruktur i Danmark. Jordtyperne er bestemt ud fra teksturprøver udtaget i hele rodzonen, og er baseret på ca. 55.000 punkter (opløsning ca. 30 x 30 meter) der dækker hele Danmark (DCA, Notat vedr. nyt JB-kort, 2015). Herudover findes i forbindelse med NATEF-dataindsamling, JB nr. på markniveau. Hvert jordbundsnummer har sine egne egenskaber i forhold til fx det mikrobielle liv, og evne til at holde på vand og næringsstoffer, og derfor må der være en synergi mellem jordtype og forhold som jordbehandling og sædskifte, der spiller ind på lattergasemissionen fra jordtype. Aktivitetsdatagrundlaget for at differentiere på jordtype synes overordnet at være tilstrækkeligt i Danmark, og kan derfor indgå i bestemmelserne af differentierede emissionsfaktorer.

Andet

Det er i princippet muligt at inddrage data fra udenlandske undersøgelser med lignende forhold, ift. at bestemme en national emissionsfaktor i Danmark. Det er dog afgørende at data kan sammenlignes mht. forsøgsdesign, målemetoder og periode for afvikling af et måleprogram. Erfaring fra internationalt samarbejde i EU-projekter har dog vist sig at være vanskelige at koordinere ift. typer af aktiviteter (DCA, 2018). Emissionsfaktorer kan opgøres markant forskelligt på tværs af lande. I Canada bestemmes emissionsfaktoren for lattergasemissionen fra gødning som hældningen af en lineær regression mellem tilført N (x-akse) og lattergasemission (Y-akse). Danske undersøgelser indikerer, at sammenhængen ikke nødvendigvis er lineær. Lattergasemissionen stiger mere, når der tilføres mere N end planterne kan optage. Under danske forhold vil dette undgå fordi vores gødningstildeling/norm er styret af det økonomiske optimum (DCA, 2018). Yderligere kan en emissionsfaktor ændre sig over tid, som det ses i UK, hvor emissionsfaktoren for f.eks. handelsgødning falder over tid (perioden 1990 til nu), afspejlende en bedre udnyttelse af gødningen (Brown et al., 2021).

Opsummering

Efter forskrifter fra IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) beregnes lattergasudledningen fra marken som 1 pct. af tilført N; den såkaldte emissionsfaktor er således 1 pct. Det betyder i praksis, at den eneste måde hvorpå landbruget kan reducere lattergasemissionen og samtidig blive godskrevet for reduktionen, er ved at mindske N-tildelingen. Derfor er der behov for differentierede emissionsfaktorer, der kan tage højde for de klimatiske og dyrkningsmæssige forhold, som er gældende i Danmark.

Differentierede emissionsfaktorer giver mulighed for at udvikle og anvende nye virkemidler, der kan reducere lattergas-emissionen uden at produktionen skal begrænses. Det giver mulighed for en mere klimaeffektiv produktion. Før Danmark kan indføre differentierede emissionsfaktorer, skal der et stort måleprogram til for at bestemme emissionsfaktorerne for relevante gødningstyper, afgrøder og dyrkningsmetoder under danske forhold. Et måleprogram som er godt i gang, med flere forsøg der allerede er udført, og der er derfor en indikation af hvordan eventuelle differentiere emissionsfaktorer kan se ud under danske forhold.

Skal differentierede emissionsfaktorer i spil i Danmark, skal det rettet aktivitetsdata være på plads for at sikre korrekt beregning af emissionerne. Data for gødningsudbringninger, gødningstype mm. er generelt godt registreret på danske bedrifter i dag, mens data for fx jordbehandlinger ikke registreres i stor udstrækning på nuværende tidspunkt. Derfor er det vigtigt at dataregistrering gøres nemmere i relevante markstyringsprogrammer, så relevant aktivitetsdata er let tilgængeligt, så klimaberegninger i fremtiden kan ske ved brug af differentierede emissionsfaktorer.

Referencer

Brown et al. (2021). UK Greenhouse Gas Inventory, 1990 to 2019. Annual Report for Submission under the Framework of Convention on Climate Change.

DCA (2018). Vedr. bestillingen "Status vedr. mulig anvendelse af national emissionsopgørelse". Til landbrugsstyrelsen. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. Tilgængelig: [Levering anvendelse af emissionsopgørelser ver2.pdf \(au.dk\)](#)

Hergoualc'h, K., Akiyama, H., Bernoux, M., Chirinda, N., del Prado, A., Kasimir, Å., ... & Weerden, T. J. V. D. (2019). N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application. 2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Tilgængelig: [CHAPTER 11 \(cgia.org\)](#)

Holland: Lesschen, J. P., Velthof, G. L., de Vries, W., & Kros, J. (2011). Differentiation of nitrous oxide emission factors for agricultural soils. *Environmental pollution*, 159 (11), 3215-3222.

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*. J. E. Olesen (Ed.). DCA-Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. [DCArapport130.pdf \(au.dk\)](#)

Rochette, P., Worth, D.E., Lemke, R.L., McConkey, B.G., Pennock, D.J., Wagner-Riddle, C., Desjardins, R.J., 2008. Estimation of N₂O emissions from agricultural soils in Canada. I. Development of a country-specific methodology. *Canadian Journal of Soil Science* 88, 641–654. doi:10.4141/CJSS07025

Thers, H. (2020). Greenhouse gas emissions and potential mitigation options in relation to winter oilseed rape cultivation for biodiesel. PhD Dissertation. Aarhus University. Department of Agroecology, Science and Technology.

Wrage, N., Velthof, G.L., van Beusichem, M.L., Oenema, O., 2001. Role of nitrifier denitrification in the production of nitrous oxide. *Soil Biology and Biochemistry* 33, 1723–1732. doi:10.1016/S0038-0717(01)00096-7

AU: [Slideshow 17 Lattergastab fra marken Tema 2 session 3a AU .pdf \(fvm.dk\)](#)

REM: [Ny teknik vil gøre det lettere at måle udledning af lattergas og ammoniak \(mst.dk\)](#)

REM: [Teknologisk Institut måler udledning af lattergasser og ammoniak fra marker | CSR.dk](#)

DIFFERENTIEREDE EMISSIONSFAKTORER FOR LATTERGAS

Udgivet af

SEGES Innovation P/S
Agro Food Park 15, Skejby
DK 8200 Aarhus N

Forfattere

Nanna Schrøder Baggesen, SEGES Innovation
Alice Thoft Christensen, SEGES Innovation
Cecilie Skov Nielsen, SEGES Innovation

Kontakt

Alice Thoft Christensen, SEGES Innovation

M +45 2384 3413

December 2022

Denne analyse er udarbejdet som led i projektet
Klimaneutral Planteproduktion der er støttet af
Promilleafgiftsfonden.