

Følsomhedsanalyse af inklusion af mere aktivitetsdata i drivhusgasudledningsberegninger på bedriftsniveau

Rådgivningsrapport fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug

Mathias Neumann Andersen (red), Anders Bjørn Møller, Mette Balslev Greve, Christen Duus Børgesen¹, Anders Peter Adamsen, Sasha D. Hafner, Frederik Rask Dalby², Peter Lund, Anne Louise F. Hellwing, Christian F. Børsting, Martin Riis Weisbjerg, Jan Værum Nørgaard, Elvira Sattarova³, Rikke Albrektsen & Mette Hjorth Mikkelsen⁴

¹Institut for Agroøkologi, AU

²Institut for Bio- og Kemiteknologi, AU

³Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab, AU

⁴Institut for Miljøvidenskab, AU

Datablad

Titel:	Følsomhedsanalyse af inklusion af mere aktivitetsdata i drivhusgas-udledningsberegninger på bedriftsniveau
Forfattere:	Mathias Neumann Andersen, Anders Bjørn Møller, Mette Balslev Greve & Christen Duus Børgesen, Institut for Agroøkologi, AU; Anders Peter Adamsen, Sasha D. Hafner & Frederik Rask Dalby, Institut for Bio- og Kemiteknologi, AU; Peter Lund, Anne Louise F. Hellwing, Christian F. Børsting, Martin Riis Weisbjerg, Jan Værum Nørgaard & Elvira Sattarova, Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab, AU; Rikke Albrektsen & Mette Hjorth Mikkelsen, Institut for Miljøvidenskab, AU
Fagfællebedømmelse:	Ole-Kenneth Nielsen, Institut for Miljøvidenskab, AU (hele rapporten); Mogens Humlekrog Greve, Institut for Agroøkologi, AU (afsnittene 4.8 & 4.9)
Kvalitetssikring, DCA:	Anna Feldberg Marsbøll, DCA Centerenheden, AU
Rekvirent:	Landbrugsstyrelsen, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri
Dato for bestilling/levering:	26.09.2022 (bestilling) / 22.03.2023 (oprindelig levering) / 17.08.2023 (revideret levering)
Journalnummer:	2022-0389743
Finansiering:	Besvarelsen er udarbejdet som led i "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening" indgået mellem Miljøministeriet, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri og Aarhus Universitet under ID nr. 2.34 i "Ydelsesaftale Planteproduktion 2022-2025".
Ekstern kommentering:	Nej.
Eksterne bidrag:	Nej.
Kommentarer til bestilling:	Nej.
Kommentarer til besvarelse:	Besvarelsen er første gang leveret 22.03.2023. I nærværende besvarelse er der på baggrund af kommentarer fra Landbrugsstyrelsen, der ønskede at det blev uddybet hvilke aktivitetsdata der vurderes væsentlige at indsamle fra bedrifterne for håndtering af husdyrgødning, indsat et bilag som supplement til afsnit 4.2. Der er også lavet enkelte redaktionelle ændringer i bilag 1. Denne besvarelse erstatter den tidligere leverede besvarelse.
Citeres som:	Andersen MN (red), Møller AB, Greve MB, Børgesen CD, Adamsen AP, Hafner SD, Dalby FR, Lund P, Hellwing ALF, Børsting CF, Weisbjerg MR, Nørgaard JV, Sattarova E, Albrektsen R & Mikkelsen MH. 2023. Følsomhedsanalyse af inklusion af mere aktivitetsdata i drivhusgas-udledningsberegninger på bedriftsniveau. 43 sider. Rådgivningsrapport fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 17.08.2023.
Rådgivning fra DCA:	Læs mere på https://dca.au.dk/raadgivning/

1 Forord

Nærværende rapport er udarbejdet på bestilling af Landbrugsstyrelsen, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri. Udarbejdelsen er gennemført som led i "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening mellem Miljøministeriet, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri og Aarhus Universitet" under ID 2.34 "Forskningsbehov for bedriftsspecifik udledningsregulering" i Ydelsesaftale Planteproduktion 2022-2025. Arbejdet med rapporten er udført af medarbejdere fra en række institutter på Aarhus Universitet med Institut for Agroøkologi som projektleder.

Indholdsfortegnelse

1	Forord.....	3
2	Baggrund.....	5
3	Drivhusgasemissioner fra landbrugssektoren i 2021.....	6
3.1	Emissionsopgørelsens beregningsgrundlag	6
3.2	Afrapportering af den nationale emissionsopgørelse i 2023	6
3.3	Udpegning af hovedkilder	8
4	Følsomhedsanalyse af hovedkilder.....	9
4.1	Metan fra husdyrfordøjelse.....	9
4.1.1	Kvæg.....	9
4.1.2	Grise.....	13
4.2	Metan og ammoniak fra husdyrgødning (stald, lager og mark).....	17
4.2.1	Beskrivelse af modeller og sammenhænge	17
4.2.2	Modelscenarier for svin.....	18
4.2.3	Modelscenarier for malkekvæg.....	20
4.2.4	Anvendelse af miljøteknologi.....	22
4.3	Lattergas fra husdyrgødning (stald og lager).....	23
4.4	Lattergas fra husdyrgødning (udbringning på mark)	24
4.5	Lattergas fra handelsgødning	24
4.6	Lattergas fra afgrøderester.....	25
4.7	Lattergas fra N-udvaskning.....	27
4.8	Kuldioxid fra organiske jorde	29
4.9	Lattergas fra organiske jorde	31
5	Konklusion	34
6	Bilag.....	36
6.1	Bilag 1: Fordeling af landbrugets emissioner 2021 på kildeniveau	36
6.2	Bilag 2: Oversigt over emissions variable	38
6.3	Bilag 3: Oversigt over anvendelse af nationale data og IPCC standard faktorer i den nationale emissionsopgørelse	40
6.4	Bilag 4: Forslag til indhentning af aktivitetsdata for håndtering af husdyrgødning	42

2 Baggrund

Landbrugsstyrelsen har i en bestilling sendt til DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug ved Aarhus Universitet ønsket en analyse af bedriftsnær aktivitetsdatas påvirkning på udledningsresultatet. Formålet med dette er at kunne vurdere og prioritere, hvor det er vigtigst at sætte ind i forbindelse med indhentning af aktivitetsdata fra bedrifterne.

I bestillingen beskrives det, at der ønskes en analyse af betydningen af aktivitetsdata for beregningen af drivhusgasudledningen på bedriftsniveau under anvendelse af IPCC-metodik, som den bruges i de nationale emissionsopgørelser. Analysen skal svare på, hvor bedriftsnær indsamling af aktivitetsdata har størst betydning for beregningen af bedriftens udledninger og bedriftens tilpasningsmuligheder. Det ønskes analyseret, hvor stor en påvirkning på variationen af udledningerne fra de enkelte kilder det har, hvis der anvendes bedriftsnær aktivitetsdata i beregningerne frem for standardfaktorer eller nationale gennemsnit.

Analysen er jvf. bestillingen begrænset til at omfatte drivhusgasudledningerne (lattergas og metan) opgjort i Landbrugssektoren samt de organiske jorder (lavbundsjorder) under omdrift og permanent græs, som de opgøres i LULUCF-sektoren ifølge IPCC. Den resterende del af udledninger/optag i LULUCF-sektoren er udeladt.

3 Drivhusgasemissioner fra landbrugssektoren i 2021

Forfattere: Rikke Albrechtsen og Mette Hjorth Mikkelsen, Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet

3.1 Emissionsopgørelsens beregningsgrundlag

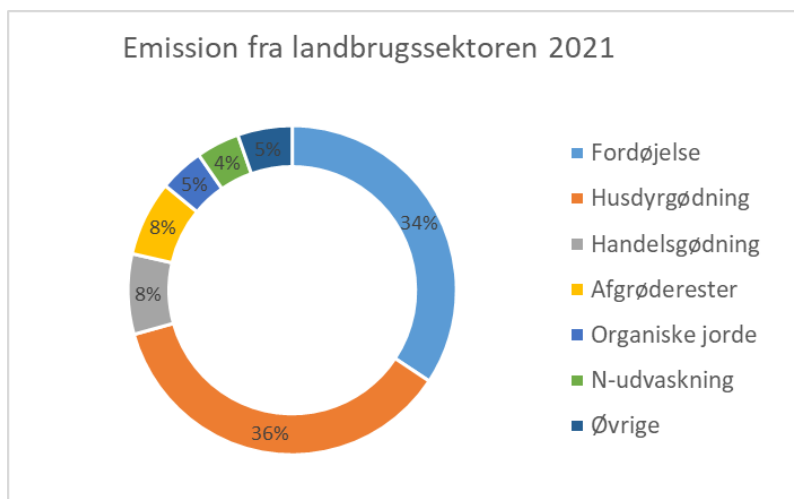
I den danske opgørelse af drivhusgasser følges beregningsmetode og opdeling af emissioner i hovedkategorier, som angivet i IPCC Guidelines 2006 (IPCC, 2006). For enkelte kilder er variable og emissionsfaktorer baseret på 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2019). Såfremt der er tilgængelige nationale data er disse anvendt, ellers er variable og emissionsfaktorer baseret på IPCC standardværdier (default). Ifølge retningslinjerne for rapportering til klimakonventionen (UNFCCC) omfatter landbrugssektoren emissioner af metan (CH₄) fra husdyrenes fordøjelse, CH₄ og lattergas (N₂O) fra håndtering af husdyrgødningen, N₂O fra dyrkning af landbrugsjord og CO₂ fra anvendelse af kalk, urea og andre kulstofholdige mineralske gødningstyper. Kilder som CO₂ emission/optag fra dyrkning af jorden samt emission fra energiforbruget fra landbrugsmaskiner og opvarmning indgår ikke i landbrugssektoren, men opgøres i henholdsvis LULUCF sektoren (Land Use, Land-Use Change and Forestry) og energisektoren.

3.2 Afrapportering af den nationale emissionsopgørelse i 2023

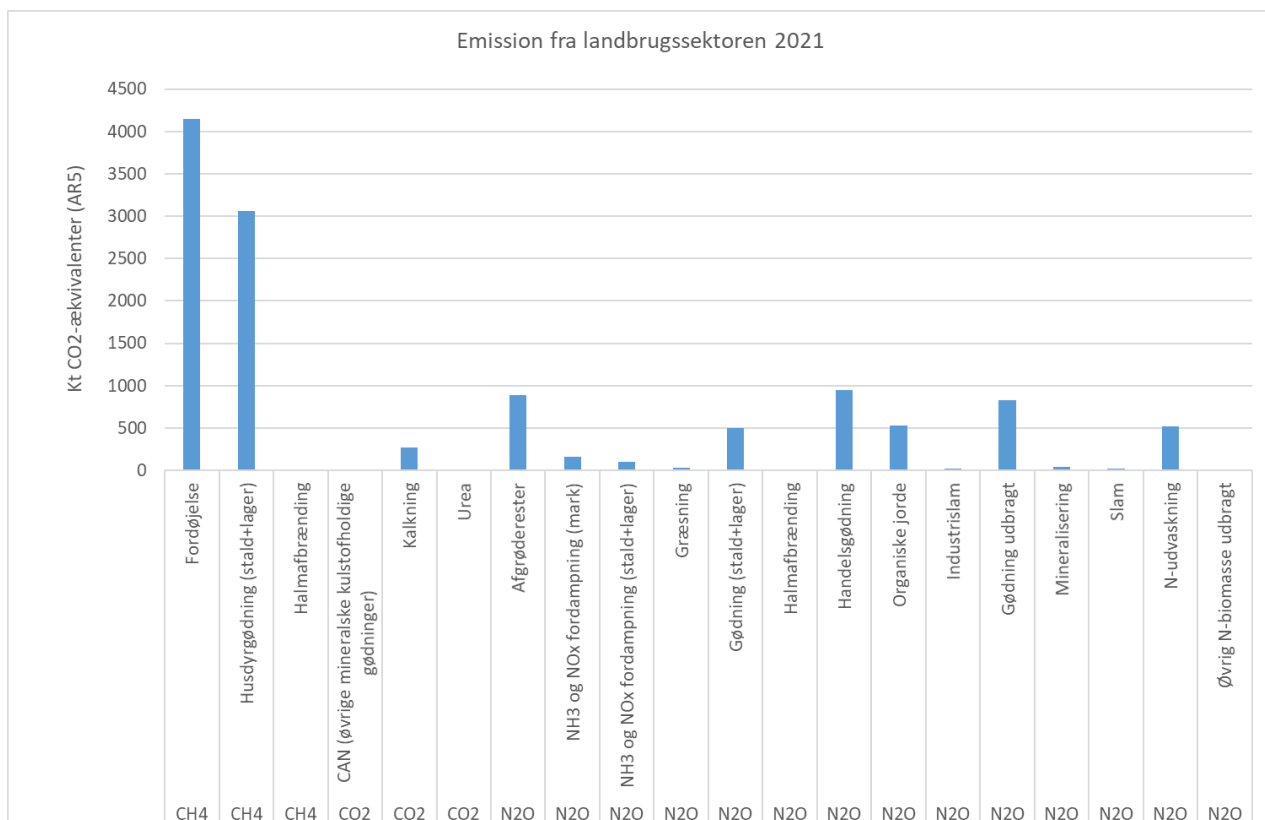
I seneste afrapportering af den nationale opgørelse til EU i januar 2023 (seneste historiske år; 2021) er der sket en opdatering af de variable og emissionsfaktorer, hvor der ifølge IPCC 2019 Refinement alene er sket en opdatering af data, men ikke en opdatering af selve beregningsmetoden. Arbejdet med at opdatere de dele af emissionsopgørelsen, hvor 2019 Refinement har ændret i metoder vil ske løbende i det omfang, det er muligt at skaffe nationale data.

I seneste afrapportering er der ligeledes sket en ændring i værdierne for GWP – Global Warming Potential, så de ikke længere baserer sig på IPCCs fjerde hovedrapport (AR4) (IPCC, 2007), men anvender værdierne fra IPCCs femte hovedrapport (AR5) (IPCC, 2014). Det betyder, at metan nu har en drivhusgaseffekt, som er 28 gange højere end CO₂ (tidligere 25 gange højere) set over en tidshorisont på 100 år, mens lattergas har en drivhusgaseffekt som er 265 gange højere end CO₂ (tidligere 298 gange højere).

Den samlede emission af drivhusgasser fra landbrugssektoren er opgjort til ca. 12100 kt CO₂-ækvivalenter, hvoraf metan bidrager med 60 %, lattergas med 38 % og de resterende 2 % fra CO₂. Figur 1 viser fordelingen af landbrugets emissioner på hovedkategorier og heraf ses, at den største kilde er CH₄ emission fra dyrenes fordøjelsesproces, som bidrager med ca. 4100 kt CO₂-ækv., svarende til 34 % af den samlede emission fra landbrugssektoren. Emissionen fra husdyrgødning, som omfatter håndtering af husdyrgødning i stald, lager og ved udbringning bidrager med 36 % af den totale landbrugsemission. De resterende 30 % af emissionen kommer fra kilder som dyrkning af landbrugsjorden, hvoraf det kan ses af figur 2, at de mest betydende emissionskilder er knyttet til anvendelsen af handelsgødning, fra afgrøderester, fra dyrkning af organiske jorde og fra kvælstofudvaskning til under rodzone og videre til vandløb og hav.



Figur 1: Fordelingen af landbrugets emissioner 2021 på hovedkategorier (EU, 2023).



Figur 2: Fordeling af landbrugets emissioner 2021 på alle emissionskilder (EU, 2023).

Den præcise størrelse af udledningerne fordelt på kilder, som vist i figur 2, kan endvidere findes i bilag 1 baseret på emissionsopgørelsen fra 2021. Yderligere to bilag er udarbejdet, hvoraf der i bilag 2 er angivet en oversigt over de vigtigste variable for emissionen for de enkelte emissionskilder, mens der i bilag 3 er givet en oversigt over om der i den nationale emissionsberegning er anvendt nationale data eller om denne er baseret på standard data fra IPCC guidelines.

3.3 Udpegning af hovedkilder

Baseret på den nationale emissionsopgørelse som vist i figur 2 og som detaljeret i bilag 1, er der udvalgt de vigtigste emissionskilder, det vil sige kilder som bidrager med mere end 500 kt CO₂-ækvivalenter pr. år til nærmere analyse. Disse omfatter: Metan fra husdyrfordøjelse, metan fra husdyrgødning (stald og lager), lattergas fra husdyrgødning (stald og lager), lattergas fra husdyrgødning (udbringning på mark), lattergas fra handelsgødning, lattergas fra afgrøderester, lattergas fra N-udvaskning; og lattergas fra organiske jorde. De nævnte kilder tilsammen udgør lige ca. 1 1400 mio. ton CO₂-ækvivalenter, svarende til 95 % af den total emission fra landbrugssektoren. Det vil sige at kun en række mindre væsentlige kilder er udeladt i rapporten. Endelig er der valgt at analysere en enkelt stor kilde, som ikke medregnes i landbrugssektoren, men derimod under LULUCF, nemlig kuldioxid fra organiske jorde, som bidrager med ca. 2,7 mio. ton CO₂-ækvivalenter.

Referencer

EU, 2023. Denmark's National Inventory Report 2023 - Emission Inventories 1990-2021 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change. NIR2023_EUversion_Final.pdf. European Environment Agency – Eionet Central Data Repository

IPCC, 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use - Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use. Tilgængelig på internettet (marts 2023): <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>

IPCC, 2007. AR4 Climate Change 2007: Synthesis Report. Tilgængelig på internettet (marts 2023): <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar4/>

IPCC, 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Tilgængelig på internettet (marts 2023): <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>

IPCC, 2014. AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014. Tilgængelig på internettet (marts 2023): <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>

4 Følsomhedsanalyse af hovedkilder

4.1 Metan fra husdyrfordøjelse

Enterisk metan fra husdyrenes fordøjelse udgør ca. 36% af den samlede emission fra landbruget og særligt emissionen fra malkekøer er betydende, idet den udgør ca. 62% af den samlede emission af enterisk metan fra husdyrenes fordøjelse. Der er derfor i nedenstående beskrevet variationen i enterisk metan fra malkekøer som et bud på generel variation i enterisk metan indenfor kvæg. Usikkerhederne på beregningerne for grise er endvidere beskrevet.

4.1.1 Kvæg

Forfattere: Peter Lund, Anne Louise F. Hellwing, Christian F. Børsting & M.R. Weisbjerg

Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab

Baggrund

Enterisk metan fra malkekøer (kg/årsko) beregnes i de nationale opgørelser som indrapporteres til IPCC (Albrektsen et al., 2017) ud fra:

Foderoptagelse (kg tørstof pr årsko)

Rationens indhold af bruttoenergi (GE) (MJ/kg tørstof)

Andelen af bruttoenergi, som tabes som metan (den såkaldte Ym faktor (%))

Omregningsfaktoren 55,65 MJ/kg CH₄

$Metan (kg/årsko) = (foderoptagelse, kg\ tørstof/årsko) \times (indhold\ af\ bruttoenergi, MJ/kg\ tørstof) \times (Ym, 100 \times MJ\ CH_4/MJ\ GE) \times 0,01 \times 55,65\ MJ/kg\ CH_4.$

Ym-faktoren beregnes (Hellwing et al., 2016) som en funktion af:

Foderoptagelse (kg tørstof/dag)

Indhold af råfedt (g/kg tørstof)

Indhold af aske (g/kg tørstof)

Indhold af NDF (Neutral detergent fiber) (g/kg tørstof)

Indhold af stivelse (g/kg tørstof)

$Ym (\%) = 7,55 - 0,0343 \times (tørstof, kg/dag) - 0,0199 \times (råfedt, g/kg\ tørstof) - 0,0014 \times (aske, g/kg\ tørstof) + 0,0028 \times (NDF, g/kg\ tørstof) - 0,0045 \times (stivelse, g/kg\ tørstof)$

Beregning og antagelser

I denne meget simple følsomhedsanalyse er der taget udgangspunkt i de seneste tal fra praksis for mælkeydelse (RYK, 2022), foderoptagelse og rationens sammensætning (Lund et al., 2022) og produktion af enterisk metan er beregnet efterfølgende for Tung race og Jersey. Endeligt er en fælles vægtet værdi på tværs af racer beregnet under forudsætning af en fordeling på 85,1% Tung race og 14,9 % Jersey (Lund et

al., 2022). De 4 forskellige scenarier er beregnet ud fra den antagelse, at der ikke sker ændringer i de øvrige parametre, dog med den undtagelse, at der for scenariet med øget mælkeydelse (EKM - energikorrigeret mælk) er en tilsvarende øget foderoptagelse. Det skal bemærkes, at de valgte ændringer i forudsætninger ikke er baseret på indhentede data fra praksis, men alene baseret på antagelser om variation i praksis.

Standardværdierne er angivet i tabel 1, og her er produktionen af enterisk metan beregnet til 161 kg/årsko.

Tabel 1: Standardværdier. Vægtet produktion af enterisk metan er 161 kg CH₄/årsko og 14,3 g CH₄/kg EKM.

	EKM (kg/årsko)	Tørstof (kg/årsko)	GE (MJ/kg ts)	Faktor (MJ CH ₄ /kg CH ₄)	Tørstof ¹ (kg/d)	Råfedt ² (g/kg ts)	Aske ³ (g/kg ts)
	NDF ⁴ (g/kg ts)	Stivelses ⁵ (g/kg ts)	Intercept	Ym (%)	CH ₄ (kg/årsko)	Ændring i kg CH ₄ /årsko (%)	Ændring i kg CH ₄ /kg EKM (%)
Tung race	11507	8480	18,9	55,65	23,2	46,3	71,7
Jersey	10056	6847	18,9	55,65	18,8	50,2	72,9
Tung race	321	193	7,55	5,76	166	-	-
Jersey	317	197	7,55	5,81	135	-	-

¹Koefficient: -0,0343. ²Koefficient: -0,0199. ³Koefficient: -0,0014. ⁴Koefficient: 0,0028. ⁵Koefficient: -0,0045.

I tabel 2 er vist beregningen af enterisk metan hvis der tages udgangspunkt i de højest-ydende besætninger i Danmark (RYK, 2022) og med en tilsvarende øget foderoptagelse og alle andre faktorer er uændrede. Dette vil medføre at produktionen af enterisk metan pr årsko stiger med ca. 15%, mens produktionen af enterisk metan pr kg EKM falder med ca. 18%.

Tabel 2: Øget mælkeydelse tilsvarende den højest-ydende besætning og tilsvarende ændring i foderoptagelse. Vægtet produktion af enterisk metan er 186 kg CH₄/årsko og 11,8 g CH₄/kg EKM.

	EKM (kg/årsko)	Tørstof (kg/årsko)	GE (MJ/kg ts)	Faktor (MJ CH ₄ /kg CH ₄)	Tørstof ¹ (kg/d)	Råfedt ² (g/kg ts)	Aske ³ (g/kg ts)
Tung race	16446	10175	18,9	55,65	27,9	46,3	71,7
Jersey	12400	7394	18,9	55,65	20,3	50,2	72,9

	NDF ⁴ (g/kg ts)	Stivelse ⁵ (g/kg ts)	Intercept	Ym (%)	CH ₄ (kg/årsko)	Fændring i kg CH ₄ /årsko (%)	Fændring i kg CH ₄ /kg EKM (%)
Tung race	321	193	7,55	5,60	194	+15	-18
Jersey	317	197	7,55	5,76	145		

¹Koefficient: -0,0343. ²Koefficient -0,0199. ³Koefficient: -0,0014. ⁴Koefficient: 0,0028. ⁵Koefficient: -0,0045.

I tabel 3 er vist effekten af en højere fodereffektivitet, idet det er antaget at mælkeydelsen er uændret, men at foderoptagelsen er reduceret med 5%. Både produktionen af enterisk metan pr årsko og pr kg produceret EKM falder med ca. 4%.

Tabel 3: Øget fodereffektivitet og dermed reduceret foderoptagelse (-5%) ved uændret ydelse. Vægtet produktion af enterisk metan er 154 kg CH₄/årsko og 13,7 g CH₄/kg EKM.

	EKM (kg/årsko)	Tørstof (kg/årsko)	GE (MJ/kg ts)	Faktor (MJ CH ₄ /kg CH ₄)	Tørstof ¹ (kg/d)	Råfedt ² (g/kg ts)	Aske ³ (g/kg ts)
Tung race	11507	8056	18,9	55,65	22,1	46,3	71,7
Jersey	10056	6505	18,9	55,65	17,8	50,2	72,9
	NDF ⁴ (g/kg ts)	Stivelse ⁵ (g/kg ts)	Intercept	Ym (%)	CH ₄ (kg/årsko)	Fændring i kg CH ₄ /årsko (%)	Fændring i kg CH ₄ /kg EKM (%)
Tung race	321	193	7,55	5,80	159	-4	-4
Jersey	317	197	7,55	5,84	129		

¹Koefficient: -0,0343. ²Koefficient -0,0199. ³Koefficient: -0,0014. ⁴Koefficient: 0,0028. ⁵Koefficient: -0,0045.

Variation i praksis i indhold af bruttoenergi i foderet forventes at være minimal. I tabel 4 det antaget at indholdet af bruttoenergi øges med 0,2 MJ/kg tørstof. Dette resulterer i en minimal stigning i både produktionen af enterisk metan pr årsko og pr kg produceret EKM på ca. 1%.

Rationens indhold af næringsstoffer er afgørende for Ym-faktoren. I tabel 5 er beregnet konsekvensen for produktionen af enterisk metan på baggrund af en forventet variation i praksis i rationens indhold af råfedt, NDF og stivelse, og uændret indhold af aske. Det skal bemærkes, at disse tal ikke er indhentet fra praksis og ikke er udtryk for ændring af rationens sammensætning som et eventuelt virkemiddel, men alene grove antagelser for den variation som ses i foderrationernes sammensætning i dag. En sådan ændring forventes at kunne reducere produktionen af enterisk metan pr årsko og pr kg produceret EKM på ca. 8% i forhold til gennemsnitsværdien.

Table 4: Øget indhold af bruttoenergi i foderet (+0,2 MJ/kg tørstof). Vægtet produktion af enterisk metan er 163 kg CH₄/årsko og 14,4 g CH₄/kg EKM.

	EKM (kg/årsko)	Tørstof (kg/årsko)	GE (MJ/kg ts)	Faktor (MJ CH ₄ /kg CH ₄)	Tørstof ¹ (kg/d)	Råfedt ² (g/kg ts)	Aske ³ (g/kg ts)
	NDF ⁴ (g/kg ts)	Stivelse ⁵ (g/kg ts)	Intercept	Ym (%)	CH ₄ (kg/årsko)	Ændring i kg CH ₄ /årsko (%)	Ændring i kg CH ₄ /kg EKM (%)
Tung race	11507	8480	19,1	55,65	23,2	46,3	71,7
Jersey	10056	6847	19,1	55,65	18,8	50,2	72,9
Tung race	321	193	7,55	5,76	168	+1	+1
Jersey	317	197	7,55	5,81	136		

¹Koefficient: -0,0343. ²Koefficient: -0,0199. ³Koefficient: -0,0014. ⁴Koefficient: 0,0028. ⁵Koefficient: -0,0045.

Table 5: Ændret indhold af næringsstoffer i rationen, +10% råfedt, -15% NDF, +30% stivelse. Vægtet produktion af enterisk metan er 149 kg CH₄/årsko og 13,2 g CH₄/kg EKM.

	EKM (kg/årsko)	Tørstof (kg/årsko)	GE (MJ/kg ts)	Faktor (MJ CH ₄ /kg CH ₄)	Tørstof ¹ (kg/d)	Råfedt ² (g/kg ts)	Aske ³ (g/kg ts)
	NDF ⁴ (g/kg ts)	Stivelse ⁵ (g/kg ts)	Intercept	Ym (%)	CH ₄ (kg/årsko)	Ændring i kg CH ₄ /årsko (%)	Ændring i kg CH ₄ /kg EKM (%)
Tung race	11507	8480	19,1	55,65	23,2	50,9	71,7
Jersey	10056	6847	19,1	55,65	18,8	55,2	72,9
Tung race	273	251	7,55	5,27	154	-8	-8
Jersey	269	256	7,55	5,31	125		

¹Koefficient: -0,0343. ²Koefficient: -0,0199. ³Koefficient: -0,0014. ⁴Koefficient: 0,0028. ⁵Koefficient: -0,0045.

Konklusion

På baggrund af ovenstående analyser forventes det, at kendskab til mælkeydelse, foderoptagelse og rations sammensætning er nødvendig for at kunne opstille fair og retvisende beregninger på bedriftsniveau, hvorimod den forventede variation i indholdet af bruttoenergi kun forventes at have minimal effekt på beregnet enterisk metan.

Referencer

Albrektsen, R., M.H. Mikkelsen & S. Gyldenkærne (2017). Danish Emission Inventories for Agriculture. Inventories 1985-2017. Aarhus University, Scientific Report from DCE, No. 250, 190 s.

Hellwing, A.L.F., Weisbjerg, M.R., Brask, M., Alstrup, L., Hymøller, L., Larsen, M.K., & P. Lund (2016). Prediction of the methane conversion factor (Y_m) for dairy cows on the basis of national farm data. *Animal Production Science*, 56, 535-540.

Lund, P., Børsting, C.F. & H. Martinussen (2022). Næringsstofudskillelse fra kvæg, ab dyr – Normtal for husdyrgødning 2022/2023. Notat, Aarhus Universitet, 66 s.

RYK (2022). Årsresultater 2022 Ydelseskontrollen. Viking 79 s.

4.1.2 Grise

Forfattere: Jan Værum Nørgaard & Elvira Sattarova

Institut for Husdyr og Veterinærvidenskab

Denne analyse skal indikere variationen i kg CH_4 pr gris pr år, dvs. min og max EF_{CH_4} . Gældende beregningsmetoder tager udgangspunkt i landsgennemsnit, og analysen skal vise variationen ved anvendelse af nyeste viden om andelen af metanemission som funktion af bruttoenergiindtag, samt grisenes foderoptag for hhv. de 25% dårligste og bedste danske griseproducenter. Dertil nævnes en række forhold der med fordel kunne inddrages i fremtidig vurdering af enterisk metanemission fra grise.

Baggrund

Metan dannes i grise ved en mikrobiel omsætning af næringsstoffer i foderet i dyrets blind- og tyktarm, og det er især fiberfraktionen der øger produktionen af metan. Den producerede mængde af metan afhænger af fiberandelen i foderet, type af fibre, samt grisenes størrelse.

I den nationale emissionsopgørelse af metan fra grisenes fordøjelse anvendes Tier 2 modellen (DCE rapport 494, 2022), hvori beregninger af metanemission baseres på en gennemsnitlig procentsats for metanemission som funktion af bruttoenergiindtag, samt landsgennemsnit for grisenes foderoptag. Tier 2 modellen bliver, for grise, simplificeret til:

$EF_{CH_4} = (MJ \text{ bruttoenergi foderindtag/dyr/dag} \times \text{Metanudbytte faktor } Y_m \text{ 0,6\%} \times 365) / 55.65 \text{ MJ bruttoenergi/kg } CH_4$, grundet antagelse om at grise fodres ens over året, samt at de holdes på stald. Variable i Tier 2 beregningen bliver således 1) energiindholdet i foder (MJ bruttoenergi) og 2) foderindtag/dyr/dag.

Foderets energiindhold kan opgøres på forskellige måder, der afspejler den fysiologiske udnyttelse af næringsstofferne. Bruttoenergi (gross energy, GE) er den energi (i Joule) foderet afgiver ved en fuldstændig forbrænding udenfor dyret. Fordøjelig energi (digestible energy, DE) er GE minus den energi der afgives ved afbrænding af gødning og afspejler energien udledt med urin og metan. Det danske fodervurderingssystem (Tybirk et al., 2006) baseres på omregning af foderets indhold af fordøjede og ufordøjede næringsstoffer og fraktioner til potentiel fysiologisk energi, som omregnes til foderenheder, der er specifikke for grise (FEsv) og søer (FEso). Emissionsopgørelsen baseres på GE og denne findes ved at omregne FEsv til GE vha. energikonstanterne 24.24, 34.12 og 17.30 MJ/kg tørstof for hhv. råprotein, fedt og kulhydrater, hvorved der i DCE rapport 494 (2022) tabel 5.6 angives som anført i tabel 6.

Tabel 6: Foderets gennemsnitlige indhold af bruttoenergi pr foderenhed (MJ GE/FE) (DCE rapport 494, 2022).

Søer	17,5 MJ GE/FE
Smågrise	16,5 MJ GE/FE
Slagtegrise	17,3 MJ GE/FE

Foderindtaget er en væsentlig konkurrenceparameter i griseproduktionen og opgøres derfor på de fleste bedrifter. Griseproducenten opgør hvor mange foderenheder der tildeles dyrene for at indikere bedriftens foderudnyttelse (foderindtag i FE: kg tilvækst eller per årssø). Data bliver hvert år indsamlet af SEGES (SEGES notat 2204, 2023) og afrapporteret som foderforbrug i foderenheder per årssø, som inkluderer alle avlsdyr samt pattegrise indtil fravæning ved 6 kg, foderforbrug fra 7-30 kg og 30-115 kg. Data angives som gennemsnit vægtet efter besætningstørrelse, samt 25% hhv. højeste og laveste besætninger og 50% midterste produktionsniveau.

IPCC arbejder med en konstant metanudbytte faktor Y_m på 0,6% tab af foderets bruttoenergiindhold som metan. Denne konstant baseres på Crutzen et al. (1986), der refererer et forsøg fra 1982, med særdeles spinkelt forsøgsdesign. Metanudbytte faktoren Y_m kan ikke tilfredsstillende beskrive metanemissionen fra grisenes fordøjelse, da den ikke tager højde for foderets kemiske sammensætning samt mangel på differentiering af metanudbytte faktor fra forskellige aldersgrupper, og må derfor ligeledes anses som en variabel.

Variation i foderets energiindhold

Foderets indhold af bruttoenergi (MJ GE) afhænger af foderets sammensætning. Data fra bedrifterne angiver forbruget af FEsv og FEso, men det er ikke muligt at beregne foderets bruttoenergi uden at kende foderets kemiske sammensætning.

Variation i foderindtag

Foderindtaget opgøres som foderindtag pr. kg tilvækst og ud fra data på daglig tilvækst, kan det daglige indtag af FEso og FEsv estimeres. SEGES indsamler hvert år data fra hovedparten af de danske grisebedrifter og angiver variationen efter de 25% højeste, 50% midterste og 25% laveste produktionseffektivitet.

Tabel 7: Variation i dagligt indtag af foderenheder.

	Vægtet gns. ¹	Højeste 25% ²	Laveste 25% ²
FEsv + FEso pr. årsso	1514	1510	1517
7-30 kg reference-dagl. tilvækst, kg	0,464	0,511	0,418
7-30 kg reference-foderudnyttelse, FEsv/kg tilvækst	1,81	1,70	1,96
7-30 kg foderindtag pr dag, FEsv/dag (beregnet)	0,840	0,869	0,819
30-115 kg reference-dagl. tilvækst, kg	1,028	1,090	0,955
30-115 kg reference-foderudnyttelse, FEsv/kg tilvækst	2,66	2,53	2,84
30-115 kg foderindtag pr dag, FEsv/dag (beregnet)	2,734	2,758	2,712

¹ Fra tabel 4, 5 og 6 i SEGES notat 2204. ² Fra tabel 7, 8 og 9 i SEGES notat 2204.

Variation i Ym faktor

Metanudbytte faktor er estimeret på baggrund af målt metanproduktion fra enkeltgrise fra 17 forsøg udført på Danmarks Jordbrugsforskning og senere Aarhus Universitet Foulum i årene 1991 til 2022.

Tabel 8: Variation i Ym (CH₄eGE₂%) for grise¹.

Ym	Gns.	std.afv.	N (antal obs.)	95% lav konfidens interval	95% høj konfidens interval
7-30 kg	0,46	0,64	25	0,21	0,71
30-150 kg	0,53	0,57	516	0,48	0,58
Søer	0,99	0,67	213	0,90	1,08

¹Elvira Sattarova, upublicerede estimater, 23 januar 2023.

Variation i EF_{CH₄}

Emissionsfaktoren kan beregnes ved at indsætte 25% højeste og laveste foderforbrug (tabel 7) samt lav og høj Ym beregnet som 95% konfidensinterval baseret på dyregruppe-specifikke Ym estimater (tabel 8) i denne formel:

$$EF_{CH_4} = (MJ \text{ bruttoenergi foderindtag/dyr/dag} \times Ym \text{ 0,6\%} \times 365) / 55.65 \text{ MJ bruttoenergi/kg } CH_4$$

Det er ikke muligt at estimere variationen i foderets bruttoenergi, hvorfor der anvendes værdierne anført i tabel 6.

Tabel 9: Variation (kg CH₄/år 'normgris/AAP'; i procent af gældende beregningsgrundlag) i EF_{CH₄} ved beregning med varierende foderindtag og Y_m.

EF _{CH₄}	Gns. og Y _{m_0,6%} ¹	Lav scenarie ²	Høj scenarie ³	Gns. og Y _{m_0,6%}	Lav scenarie	Høj scenarie
Søer med pattegrise	2,9	4,3	5,2	100%	150%	181%
Smågrise, 7-30 kg	0,5	0,2	0,7	100%	34%	123%
Slagtegrise, 30-115 kg	1,9	1,5	1,8	100%	80%	98%

¹ Beregnet som vægtet gennemsnit af foderindtag og IPCC Y_m faktor på 0,6%.

² Laveste 25% foderforbrug (tabel 7) og lav konfidensinterval for Y_m (tabel 8).

³ Højeste 25% foderforbrug (tabel 7) og høj konfidensinterval for Y_m (tabel 8).

Konklusion - Perspektivering – Videnshuller

En kvalificering af emissionsfaktoren for enterisk metan fra grise bør omfatte markante ændringer i estimeringen af EF_{CH₄} i takt med, at datagrundlaget forbedres. Arbejdet vil være omfattende da dette er et forholdsvis nyt forskningsområde, men kan delvist tage udgangspunkt i igangværende aktiviteter.

Data for foderforbrug på bedriftsniveau baseres på foderenheder som tilnærmelsesvis angiver energien i foder fraregnet energi i metan, urin, gødning og en andel af varmeproduktionen. Omregning af foderenheder til bruttoenergi baseres på et uklart datagrundlag og forsimplerede metoder. Det er problematisk fra et biologisk synspunkt at beregningerne baseres på bruttoenergi fordi foderets energiindhold til voksende dyr stammer fra primært fedt og kulhydrater, der har markant forskellig effekt på metanproduktionen. Vores igangværende arbejde med modellering af metanproduktion fra slagtegrise viser således negative korrelationer mellem hhv. fedt, sukker, uopløselige ikke-stivelses polysakkarider i foderet og enterisk metanproduktion, og positive korrelationer mellem kostfibre, total- og opløselige ikke-stivelses polysakkarider i foderet og enterisk metanproduktion.

Der er en aktuel stor usikkerhed i metanudbytte faktor Y_m pga. stor variation indenfor og mellem de forskellige aldersgrupper. Derfor ville det være afgørende for fremtidige beregninger af de nationale emissionsopgørelser, samt dokumentation for tiltag for at reducere metanudledning fra griseproduktion, at opgørelsen af metanemissionen forbedres enten ved at differentiere metanudbytte faktoren Y_m for de forskellige aldersgrupper eller ved at udvikle prædiktionsmodeller for metanudledning for forskellige aldersgrupper baseret på foderets kemiske sammensætning.

Der er potentiale for at inddrage viden om de forskellige kulhydratfraktioners effekt på enterisk metanproduktion ved at implementere en prædiktionsmodel for metanudledning for slagtegrise baseret på sammensætning af bedriftens mange forskellige foderblandinger. På nuværende tidspunkt er det dog mangel på aktivitetsdata, som beskriver fodermidlernes kulhydratfraktioner såsom total-, opløselige, -og uopløselige- ikke-stivelses polysakkarider, samt koncentrationen af kostfibre i de enkelte råvarer. Derfor vil det være afgørende for implementering af de nye prædiktionsmodeller i beregning af de nationale emissionsopgørelser, at aktivitetsdata om kulhydratfraktioner indgår i fodermiddeltabellen, samt at der er etableret integration af aktivitetsdata i foderoptimeringsprogrammet.

Referencer

DCE rapport 494, 2022. Nr. 494: Danmarks Nationale Opgørelsesrapport 2022. Emissionsopgørelser 1990-2020.

Tybirk et al., 2006. Rapport 30. Det danske fodervurderingssystem til svinefoder.

SEGES notat 2204, 2023 LANDSGENNEMSNIT FOR PRODUKTIVITET I PRODUKTIONEN AF GRISE I 2021

Crutzen et al. 1986. Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna, and humans. Tellus B: Chemical and Physical Meteorology

4.2 Metan og ammoniak fra husdyrgødning (stald, lager og mark)

Forfattere: Frederik Rask Dalby, Sasha D. Hafner & Anders Peter Adamsen

Institut for Bio- og Kemiteknologi

4.2.1 Beskrivelse af modeller og sammenhænge

Til vurdering af metanproduktion fra husdyrgødning i stalde og lagre er ABM modellen og Arrhenius ligningen anvendt. Arrhenius-ligningen er blevet implementeret direkte i ABM-modulet med udgangspunkt i parametre beskrevet i Petersen et al. (2016). Udskillelse af organisk stof og gyllemængder fra dyrene er beregnet som i Adamsen et al. (2021), som beror på sammenhænge beskrevet i normtalsopgørelserne (Børsting et al., 2022). Til modellering med ABM er den seneste version med opdaterede algoritmer og justerede parametre blevet brugt (Dalby et al., 2023). En beskrivelse af selve ABM-modellen kan findes i Dalby et al. (2021).

Til vurdering af ammoniakudledning fra stalde og lagre er ABM-modellen ligeledes anvendt ved at implementere kendte sammenhænge mellem pH, total ammonium-N koncentration i husdyrgødningen, opløselighed and ammonium-N og gyllens temperatur. Der er desuden brugt separate masse transfer koefficienter for stald og for lagerudledning. Masse transfer koefficienter i stalden er blevet tilpasset udledninger fra slagtesvinestalde og kvægstalde (Børsting et al. 2022). I lageret er masse transfer koefficienter tilpasset udledninger prædikeret med AMOSTO modellen (Sommer et al. 2022). AMOSTO modellen er tilpasset direkte til fuldskala lagermålinger.

Ammoniakudledning fra marken er beregnet med ALFAM2 modellen (Hafner et al. 2018). ALFAM2 simuleringerne benytter tørstof og pH værdier som angivet i Hafner et al. (2021) og TAN og husdyrgødningsmængder fra ABM-simuleringerne. Således er stald, lager og mark udledninger integreret i forhold til ind-og udgående mængder af husdyrgødning og næringsstof i form af ammonium-N.

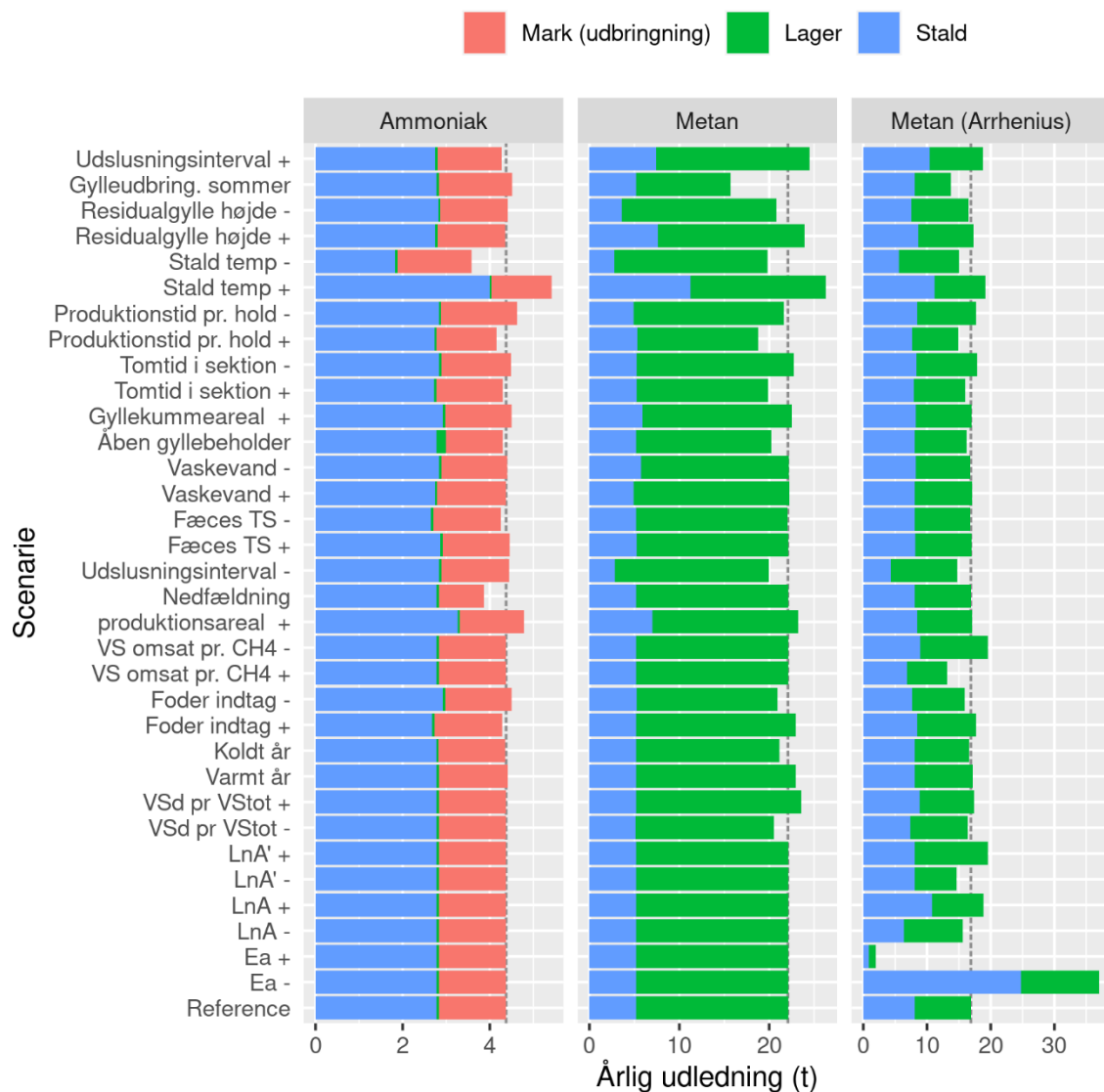
Både ABM og ALFAM2 simuleringer er afhængige af temperaturinput, som varierer over året. Der er benyttet middeltemperaturer fra seks vejrstationer: Silstrup, Tylstrup, Foulum, Askov, Årslev og Flakkebjerg i perioden fra 2000-2019 (Hafner et al. 2021). Temperaturinput, nedbør og vindhastighed til modellerne er med månedlige intervaller. Til lagersimuleringer med ABM er gyllens temperatur beregnet ud fra vejrdato og ABM-simuleret gyllestand i lageret med varmetransport modellen STM (Hafner & Mjölfors, i peer-review runde 2, 2023). En beskrivelse af modellen samt standard parametre kan findes online: <https://github.com/AU-BCE-EE/STM>.

4.2.2 Modelscenarier for svin

Der er foretaget simuleringer med høje og lave værdier af de forskellige parametre som angivet i tabel 10 for svin. Derudover er basisværdien for hver parameter angivet. Differencen mellem simuleringer med basisværdi og høj eller lavt parameter niveau benyttes til vurdering af følsomheden. Det har ikke været muligt at fremskaffe data til at fastlægge høj og lav-værdier på en ensartet måde, f.eks. som øvre eller nedre 90% fraktiler. For svin og kvæg er benyttet er den hyppigst forekommende staldtype benyttet til at fastsætte basisværdier for parametrene. For svin antages en slagtesvinestald med 2/3 spaltegulv + 1/3 drænet gulv, med standard vakuumudslusnings mønster, mekanisk ventilation og 2000 slagtesvin i stalden.

Tabel 10: Basisværdier, samt lav og høj parameter værdi for modelsimuleringer i slagtesvinebesætninger.

Faktor	Basisværdi	Lav (-)	Høj (+)	Kommentarer
Udslusningsinterval, dage	29	7	47	Lav er ugentlig udslusning og høj er ved ca. 55 cm højde i stalde med 60 cm gyllekumme.
Gylleudbringning, sommer	Forår		Sommer	Gylle udbringes hen over sommeren på græs som for kvæg.
Restgylle, højde, cm	5	3	7	Højden af restgylle efter udslusning. Restgyllen kan pøse den nye gylle og dermed forøge metanudledningen.
Gylletemperatur i stald, °C	19,1	15,1	23,1	Lav er ved gyllekøling. Høj er ved en varm sommerperiode.
Produktionstid per gris, dage	84	77	91	Længden af en produktionscyklus.
Tomtid, dage	5	3	7	Antal dage mellem tømning af stald til indsættelse af nye grise. Bruges til rengøring og udtørring af stalden.
Kummeareal/stipladsareal	1,0	1,0	1,1	Der er fuld kumme som udgangspunkt. Høj værdi inddrager gyllekumme under gangarealer.
Åben gyllebeholder	Ja			Referencen er at gyllebeholderen er overdækket.
Vaskevand, kg/dyr	75	40	110	Mængden af vand der anvendes til rengøring af stalde. Bidrager til gyllemængden.
Fæces-tørstof, %	25	20	30	
Nedfældning	Nej	Ja		Gyllen nedfældes i stedet for slangeudlægning. Reducerer udledning af NH ₃ .
Produktionsareal, m ³ /stiplads	0,65	0,65	0,80	0,65 er lovkravet.
VS omsat per CH ₄ , kg/kg	6,67	4,17	11,7	mængde af organisk stof (VS) der forbruges til at producere kg CH ₄ .
Foderforbrug, kg/dyr	222	208	233	Basisværdi er fra Normtal, og lav og høj er baseret på Hansen (2022) og er lav og øvre kvartil.
Årlig udetemperatur, °C	8,8	8,4	9,1	Tidligere beregninger.
VS _d /VS _{tot}	0,7	0,64	0,76	Udtryk for hvor stor en andel af det organiske materiale (VS) der er letomsætteligt (VS _d).
LnA'	30,3	29,9	30,7	Arrheniusparameter. Bruges til beregning af metan fra lager og på alt organisk stof.
LnA	31,3	31,0	31,7	Arrheniusparamter. Bruges på beregning af metan fra stalde.
Ea, kJ/mol	81,0	74,9	87,1	Arrheniusparameter.



Figur 3: Følsomhedsanalyse på en række parameter for produktion af slagtesvin i en stald med 2000 stipladser. Bemærk at skalaerne på x-akserne for metan er forskellige. De stiplede lodrette linjer viser udledning fra referencesituationen. Arrheniusværdierne LnA , LnA' og Ea bruges kun i Arrheniusmodellen.

Resultaterne er vist i figur 3. For ammoniak er det især staldtemperaturen (og dermed gyllens temperatur), nedfældning af gylle ved udbringning og stipladsareal, der er mest følsomme overfor ændring. Med hensyn til metan ses der en forskel mellem de to modeller (ABM og Arrhenius), og forskellen er mest markant for udledningen i lageret. Det skyldes at de to modeller anvender forskellige parametre.

De mest følsomme parametre for metanudledning er gylleudbringning om sommeren (normalt udbringes svinegylle om foråret og en mindre del før vinterafgrøder i august og september (Birkmose, 2020), staldtemperatur, produktionstid, tomtid i stalden, udslusningsinterval (tid mellem tømning af gyllekummerne), residualgylle højde efter udslusning, foderindtag, kolde kontra varme år, og endelig hvor stor en del af det organiske stof, der er letomsætteligt (VSd/VStot), og hvor meget organisk stof der forbruges per udledt metan. For de såkaldte Arrhenius-parametre Ea og LnA (som kun anvendes i Arrhenius-

modellen) ses en stor følsomhed, især i Ea, som er en slags aktiveringsenergi (Petersen et al., 2016). I dag anvendes en fast Ea-værdi, hvorimod LnA-værdier estimeres ud fra temperaturresponser (se f.eks. Møller et al., 2022).

Udover almindelige produktionsoptimeringer (produktionstid, tomtid, foderindtag/fodereffektivitet og lignende), er udslusningsinterval en af de vigtige parametre, der kan påvirkes på den enkelte bedrift. Fodereffektivitet og foderspild er vigtige parametre, idet ikke fordøjet foder og foderspild bidrager med mere letomsætteligt organisk stof end fordøjet organisk stof som fæces. For forslag om indhentning af konkrete aktivitetsdata, se bilag 4.

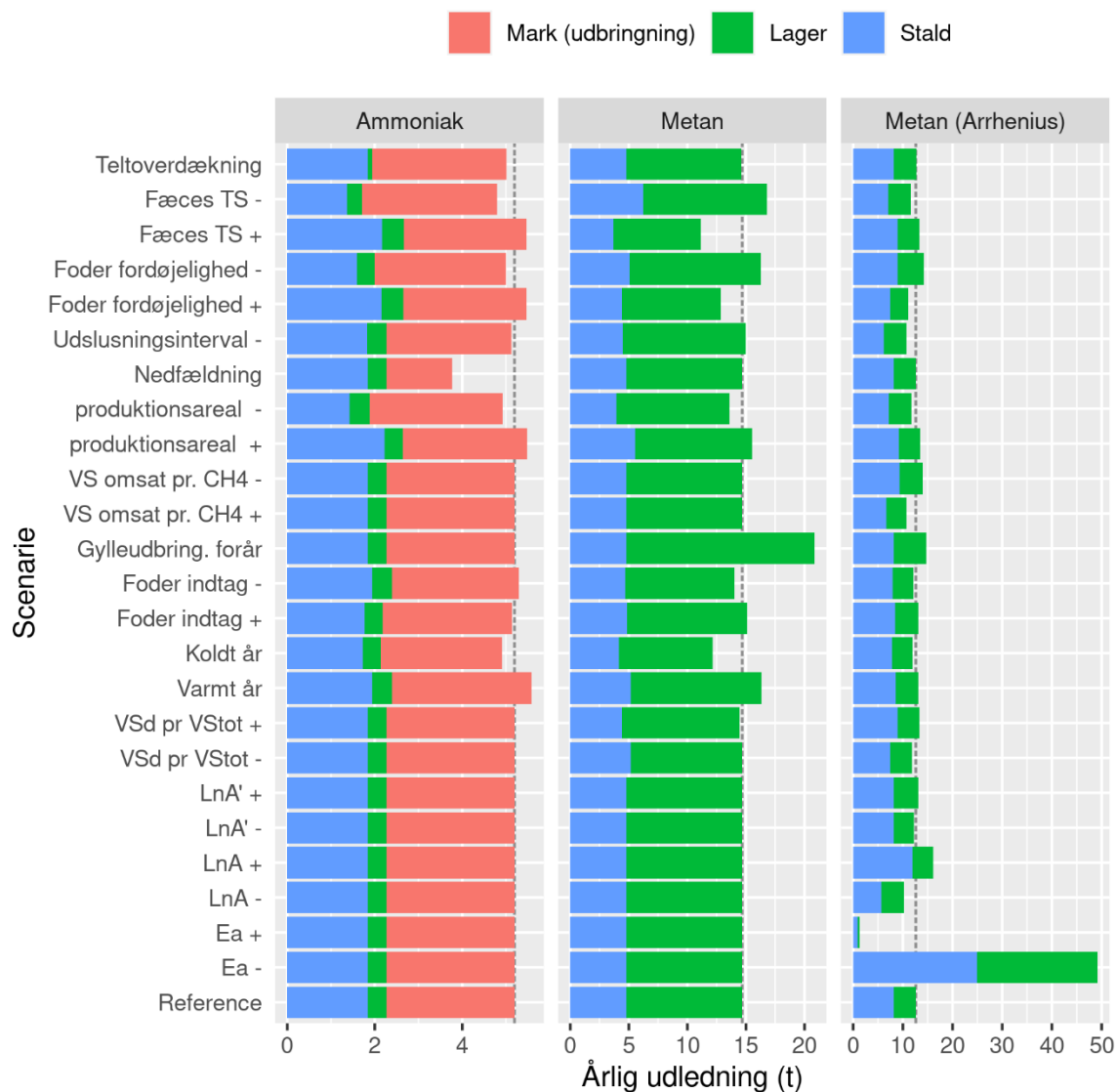
4.2.3 Modelscenarier for malkekvæg

På samme vis som for slagtesvin er der opstillet en række basisværdier samt en lav og høj parameter værdi for relevante parametre. Differencen mellem simuleringer med basisværdi og høj eller lavt parameter-niveau benyttes til vurdering af følsomheden. Det har ikke været muligt at fremskaffe data til at fastlægge høj og lav-værdier på en ensartet måde, f.eks. som øvre eller nedre 90% fraktiler. For kvæg antages en sengebåsestald med ringkanalsystem og naturlig ventilation med 200 malkekvæg (tung race). Valgte basisværdier, samt høje og lave parameter niveauer er angivet i tabel 11.

Tabel 11: Basisværdier, samt lav og høj parameter værdi for modelsimuleringer i malkekvægsbesætning med 200 køer.

Faktor	Basisværdi	Lav (-)	Høj (+)	Kommentarer
Teltoverdækning	Nej			Effekt af at montere teltoverdækning, hvorved bidrag fra regnvand reduceres.
Fæcestørstof, %	14	10	17	Tørstof niveauet ændres, men total mængde udskilt bibeholdes.
Foderfordøjelighed, %	71	66	76	Andel af foderet der fordøjes.
Udslusningsinterval, dage	28	1		Basisværdi.
Nedfældning	Nej	Ja		Gyllen nedfældes i stedet for slangeudlægning. Reducerer udledning af NH ₃ .
Produktionsareal, m ³ /stiplads	8	6	10	Beregnet basisværdi fra Kai & Adamsen 2017.
Kummeareal/stipladsareal	0,67			I kvægstalde er der ikke fuld kumme under gulvet.
VS omsat per CH ₄ , kg/kg	6,67	4,17	11,7	mængde af organisk stof (VS) der forbruges til at producere kg CH ₄ .
Gylleudbringning	Sommer	Forår		Gyllen udbringes om foråret som for svinegylle, som nedfældes.
Foderforbrug, kg DM/dyr/år	8480	7945	8900	Basisværdi er fra Normtal, og lav og høj er justeret til same relative forskel som for svin i mangel på bedre datagrundlag.
Årlig udetemperatur	8,8	8,4	9,1	Angivet som gennemsnitlig, men varierer med månedligt interval i model input.
VS _d /VS _{tot}	0.42	0.38	0.46	Udtryk for hvor stor en andel af det organiske materiale (VS) der er letomsætteligt.
Restgylle, højde, cm	40			Højden af restgylle efter udslusning i et ringkanalsystem er stor, da ringkanalsystemet ellers ikke kan fungere korrekt.
LnA'	29,2	29,1	29,3	Arrheniusparameter. Bruges til beregning af metan fra lager og på alt organisk stof.
LnA	31,2	30,7	31,8	Arrheniusparameter. Bruges på beregning af metan fra stalde.
Ea	81,0	74,9	87,1	Arrheniusparameter.

Resultater af følsomhedsanalysen er vist i figur 4. Udledning af ammoniak er følsom overfor tørstofindhold, udetemperatur og udbringningsmetoden, hvor nedfældning af gylle vil reducere den totale udledning. Udledning af metan er følsom over for tørstofindhold i fæces, fordøjelighed for foder, produktionsareal (og dermed kummeareal og gennemsnitlig opholdstid for gylle (udslusningsinterval), og hvor meget organisk stof der omsættes per produceret kg metan. Foderudnyttelse spiller selvsagt en rolle, og det samme med udetemperaturer. Som for svin er der en effekt af at variere de såkaldte Arrhenius-parametre, LnA og Ea. For forslag om indhentning af konkrete aktivitetsdata, se bilag 4.



Figur 4: Følsomhedsanalyse på en række parameter for malkekvæg. Der er regnet med en stald på 200 malkekøer. Bemærk forskellig skala ved metan. De stiplede lodrette linjer viser udledning fra referencesituationen. Arrheniusværdierne LnA, LnA' og Ea bruges kun i Arrheniusmodellen.

4.2.4 Anvendelse af miljøteknologi

Udledning af ammoniak og metan kan reduceres ved anvendelse af miljøteknologier. Det er især forsurening af gylle og teknologier til at reducere metanudledning fra lagre som stadig er under udvikling og dermed ikke veldokumenterede. Det vil ikke blive uddybet i dette arbejde.

Referencer

Adamsen, A. P. S., Hansen, M. J., & Møller, H. B. (2021). Effekt af hyppig udsugning af gylle på metanproduktion, Rådgivningsnotat fra Aarhus Universitet, nr. 2020-0166155, 9 s., jan. 12, 2021.

Birkmose, T. (2020). Aktivitetsdata for udbragt husdyrgødning, 2016 – 2020. Notat fra Seges.

Børsting, C. F., & Hellwing, A. L. F. (2022). Normtal 2022/23 - Tabeller for næringsstofudskillelse. Aarhus University. https://pure.au.dk/portal/files/301640207/Normtal_2022_23_V1_290822.pdf

Dalby, Frederik R., Hafner, S. D., Petersen, S. O., Vanderzaag, A., Habtewold, J., Dunfield, K., Chantigny, M. & Sommer, S. G. (2021). A mechanistic model of methane emission from animal slurry with a focus on microbial groups. PLoS ONE, 16(6), e0252881. <https://doi.org/doi: 10.1371/journal.pone.0252881>

Dalby, Frederik Rask, Hansen, M. J., Guldborg, L. B., Hafner, S. D. & Feilberg, A. (2023). Simple Management Changes Drastically Reduce Pig House Methane Emission in Combined Experimental and Modeling Study. Environ. Sci. Technol., Accepted. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c08891>

Hafner, S. D., Nyord, T., Sommer, S. G. & Adamsen, A. P. S. (2021). Estimation of Danish emission factors for ammonia from field-applied liquid manure for 1980 to 2019 (Numbers 2021-0251862).

Hafner, S. D., Pacholski, A., Bittman, S., Carozzi, M., Chantigny, M., Générumont, S., Häni, C., Hansen, M. N., Huijsmans, J., Kupper, T., Misselbrook, T., Neftel, A., Nyord, T. & Sommer, S. G. (2019). A flexible semi-empirical model for estimating ammonia volatilization from field-applied slurry. Atmospheric Environment, 199, 474–484. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.11.034>

Kai, P., Adamsen, A. P. S., Kasper, P. & Feilberg, A. (2017). Ammonia emission from danish cubicle barns for dairy cows - Effect of floor type and manure scraping (Number 110).

Kai, P. & Adamsen, A. P. (2017). Fra produktionsbaseret til arealbaseret emissionsberegning del 2: Emissionsfaktorer.

Hafner, S.D., Mjöfors, K. 2023. Under review. STM: A software tool for predicting daily temperature in stored animal slurry. SoftwareX.

Hansen, C. (2022). Landsgennemsnit for produktivitet af grise i 2021 (Vol. 2022, Number Notat nr. 2204). <https://svineproduktion.dk/publikationer/kilder/notater/2021/2115>

Kai, P., Adamsen, A. P. S., Kasper, P. & Feilberg, A. (2017). Ammonia emission from danish cubicle barns for dairy cows - Effect of floor type and manure scraping (Number 110).

Kai, P. & Adamsen, A. P. (2017). Fra produktionsbaseret til arealbaseret emissionsberegning del 2: Emissionsfaktorer.

Møller, H. B., Sørensen, P., Olesen, J. E., Petersen, S. O., Nyord, T., & Sommer, S. G. (2022). Agricultural Biogas Production—Climate and Environmental Impacts. *Sustainability* (Switzerland), 14(3), [1849]. <https://doi.org/10.3390/su14031849>

Petersen, S. O., Olsen, A. B., Elsgaard, L., Triolo, J. M. & Sommer, S. G. (2016). Estimation of methane emissions from slurry pits below pig and cattle confinements. *PLoS ONE*, 11(8), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160968>

Sommer, S. G., Hafner, S. D., Laubach, J., van der Weerden, T. J., Leytem, A. B., & Pacholski, A. (2022). Model for calculating ammonia emission from stored animal liquid manure. *Biosystems Engineering*, 223(Part A), 41-55. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.08.007>

4.3 Lattergas fra husdyrgødning (stald og lager)

Forfatter: Anders Peter Adamsen

Institut for Bio- og Kemiteknologi

Udledning af lattergas fra husdyrgødning vurderes i Danmark ud fra udskilt kvælstof i gødning og IPCC's standard emissionsfaktor på 0,005 kg N₂O-N per kg N for overdækket gylle (IPCC, 2019). Dertil kommer den indirekte udledning som er 0,01 kg N₂O-N per kg NH₃-N. Det betyder, at der er usikkerheder, dels på hvor meget N der udskilles per staldsystem og dels på emissionsfaktorer. DCE har i den seneste rapport om de nationale udledninger skønnet en usikkerhed på aktivitetsdata på 20 procent og en usikkerhed på emissionsfaktor på 100 procent (1 standardafvigelse). Med den nuværende metode vil den eneste variation mellem bedrifter være staldtype og den samlede mængde af udskilt kvælstof.

Referencer

IPCC 2019, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland. Emissions from livestock and manure managements, kapitel 10.

Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Nielsen, M., Gyldenkærne, S., Mikkelsen, M.H., Albrektsen, R., Thomsen, M., Hjelgaard, K., Fauser, P., Bruun, H.G., Johannsen, V.K., Nord-Larsen, T., Vesterdal, L., Stupak, I., Scott-Bentsen, N., Rasmussen, E., Petersen, S.B., Baunbæk, L., & Hansen, M.G. 2022. Denmark's National Inventory Report 2022. Emission Inventories 1990-2020 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Aarhus University, DCE - Danish Centre for Environment and Energy, 969 pp. Scientific Report No. 494. <http://dce2.au.dk/pub/SR494.pdf>

4.4 Lattergas fra husdyrgødning (udbringning på mark)

Forfatter: Anders Peter Adamsen

Institut for Bio- og Kemiteknologi

Udledning af lattergas fra husdyrgødning vurderes i Danmark ud fra udskilt kvælstof i gødning og IPCC's standard emissionsfaktor på 0,01 kg N₂O-N per kg N (IPCC, 2019, tabel 11.1).

DCE skønner at udledningen på aktivitetsdata er 20 procent (Nielsen et al., 2022). Usikkerheden på emissionsfaktoren som 95% konfidensinterval på IPCCs ligger mellem 0,000 og 0,014 kg N₂O-N per kg N (IPCC, 2019). I Nielsen et al. (2022) opgives en usikkerhed på 300 procent uden at det defineres nærmere.

Referencer

IPCC, 2019. Refinement of the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. N₂O emission from managed soils and CO₂ emissions from lime and urea application kapitel 11.

Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Nielsen, M., Gyldenkærne, S., Mikkelsen, M.H., Albrektsen, R., Thomsen, M., Hjelgaard, K., Fauser, P., Bruun, H.G., Johannsen, V.K., Nord-Larsen, T., Vesterdal, L., Stupak, I., Scott-Bentsen, N., Rasmussen, E., Petersen, S.B., Baunbæk, L., & Hansen, M.G. 2022. Denmark's National Inventory Report 2022. Emission Inventories 1990-2020 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 969 pp. Scientific Report No. 494. <http://dce2.au.dk/pub/SR494.pdf>

4.5 Lattergas fra handelsgødning

Forfatter: Mathias Neumann Andersen

Institut for Agroøkologi

Lattergasudledningen fra brug af handelsgødning udgør ca. 952 kt CO₂-ækvivalenter pr år og er således den største kilde til drivhusgasudledning fra markbruget ifølge den nationale emissionsopgørelse. I opgørelsen beregnes udledningen i henhold til IPCC (2019) tier 1 metodik med en emissionsfaktor på 1% af den tilførte mængde kvælstof (N) som følger,

Lattergasudledning (kg N₂O) = N x EF x 44/28

Hvor N angiver mængden af kvælstof i kg, EF er emissionsfaktoren: N₂O-N pr kg N udbragt, (IPCC 2019, Tabel 11.1, aggregeret) og 44/28 er en omregningsfaktor fra N₂O-N til N₂O.

Den totale mængde af N i handelsgødning, der anvendes i dansk landbrug pr år fås fra statistik over handelsgødningsindkøb.

På bedriftsniveau forventes det, at der kan fås ret præcise data for anvendelsen af handelsgødning baseret på indkøb og salg samt det gødningsregnskab, som landmænd har pligt til at indberette til Landbrugsstyrelsen. Som et enkelt eksempel på usikkerhedsberegningerne vises i denne følsomhedsanalyse beregningen for dyrkning af vinterhvede, der gødskes i henhold til "Normer til landbrugsafgrøder og grøntsager på friland 2022/2023". Normen for vinterhvede på en JB7 jord er fastsat til 221 kg N/ha. Det antages at mængden kan variere med op til 5% dvs. ±10 kg N/ha. Den beregnede

N₂O-udledning er således $3,47 \pm 0,17$ kg N₂O/ha eller 920 ± 46 kg CO₂-ækvivalenter. Tilsvarende simple beregninger kan laves på alle afgrøder/marken på en bedrift. Det bemærkes, at selvom usikkerheden på markniveau allerede er lav, vil usikkerheden sandsynligvis være lavere, hvis der beregnes på bedriftsniveau baseret på køb og salg af handelsgødning. Det bemærkes desuden, at usikkerheden på denne udledningspost næppe er bestemt af usikkerhed på aktivitetsdata til modellen for udledning men derimod på emissionsfaktoren (EF) i modellen (se fx Petersen et al., 2018).

Konklusion

På baggrund af ovenstående simple følsomhedsanalyse forventes det, at usikkerheden på aktivitetsdata ikke begrænser muligheden for at kunne udarbejde retvisende beregninger på bedriftsniveau, idet usikkerhed på emissionsfaktoren vil dominere.

Referencer

Petersen, SO, Elsgaard, L, Gyldenkærne, S, Hutchings, N, Kristensen, IS, Lærke, PE, Olesen, JE. 2018. Niveau af emissioner på danske jordtyper afhængig af anvendelse af forskellige gødningstyper sammenlignet med IPCC standarder.

https://pure.au.dk/portal/files/121860144/Levering_anvendelse_af_emissionsopg_relser_ver2.pdf

4.6 Lattergas fra afgrøderester

Forfatter: Mathias Neumann Andersen

Institut for Agroøkologi

Lattergasudledningen fra afgrøderester udgør ca. 893 kt CO₂-ækvivalenter pr år og bidrager dermed med ca. 8% af den samlede drivhusgasudledning fra landbruget ifølge den nationale emissionsopgørelse. I opgørelsen beregnes udledningen i henhold til IPCC (2019) tier 1 metodik med en emissionsfaktor på 1% af den tilførte mængde kvælstof (N) som følger,

Lattergasudledning (kg N₂O) = N x EF x 44/28

N inputtet i planterester (N) beregnes ifølge

$$N = AGR * N(AG) * (1 - \text{FracRemove}) + BGR * N(BG)$$

Hvor AGR er den totale mængde overjordiske afgrøderest (kg tørstof (ts) per ha), N(AG) er N-koncentration i overjordiske planterester (kg N per kg ts) og FracRemove er fraktionen af overjordiske planterester, der fjernes fra marken. BGR er mængden af underjordiske planterester (kg ts/ha) afhængig af afgrødetype og N(BG) er N koncentrationen i de underjordiske planterester (kg N/kg ts) afhængig af afgrødetype. BGR beregnes som følger,

$$BGR = (\text{Crop} + \text{AG}(\text{DM})) * \text{RS} * \text{area} * \text{FracRenew}$$
, hvor $\text{AG}(\text{DM}) = \text{Crop} * R$ og

hvor Crop er mængden af høstet årligt udbytte (kg ts per ha per år) afhængig af afgrødetype, R er forholdet mellem mængde af overjordisk afgrøderest og høstet udbytte (kg ts per ha) pr (kg ts per ha) afhængig af afgrødetype, AG(DM) er mængden af overjordisk afgrøderest (kg ts per ha) afhængig af afgrødetype, RS er forholdet mellem rodbiomasse og overjordisk biomasse (kg ts pr kg ts) afhængig af afgrødetype, area er

det totale høstede areal pr år, og FracRenew er andelen af arealet som fornyes hvert år (omdrift). I den nationale opgørelse indhentes data via Danmarks statistik og fodermiddeltabellen, Emissionsfaktoren EF er 0.01 kg N₂O-N pr kg N udbragt, IPCC 2019 tabel 11.1 (aggregeret).

En opgørelse for 1 ha vinterhvede med brug af de ovenfor anførte ligninger i henhold til den nationale emissionsopgørelse er vist i tabel 12. Tilsvarende simple beregninger kan laves på alle afgrøder/markler på en bedrift.

Tabel 12: Beregning af N₂O emission fra afgrøderester fra 1 ha vinterhvede, eksempel fra 2020 vha. metodik fra den nationale emissionsopgørelse/IPCC (2019).

Overjordiske planterester				Underjordiske planterester				Total	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Crop	AGR	N(AG)	N _i overjordiske planterester	RS	N(BG)	BGR	N _i underjordiske planterester	N (total)	N ₂ O
(kg/ha)	(kg/ha)	(kg N/kg ts)	(kg N/ha)	(kg ts/kg ts)	(kg N/kg ts)	(kg ts/ha)	(kg N/ha)	(kg N/ha)	(kg/ha)
	$1.61 \times A + 0.4$		$B \times C$			$E \times (A+B)$	$F \times G$	$D + H$	$I \times 0.01 \times 44/28$
7.065	11.375	0.006	68,3	0.23	0.009	4.241	38,2	106,4	1,67

De aktivitetsdata, der kan være størst usikkerhed omkring på bedriftsniveau, omfatter Crop, AGR, FracRemove, og BGR/RS. Udbyttet (Crop) i kornafgrøder kan variere med omkring 15% mellem år og mængden af overjordiske planterester noget mere, cirka 20% (Andersen et al., 1992; Hejlesen og Hansen, 1992). Når høsten bruges på bedriften til foder, er det ikke alle landmænd, der måler udbyttet. Ligeledes er det usikkert hvor stor en del af de overjordiske planterester, der evt. fjernes (FracRemove), da dette afhænger af stubhøjde afsat i marken og om fjernelsen overhovedet registreres. Mængden af underjordiske planterester (BGR) er usikker. Den beregnes i henhold til IPCC som en fast andel (RS) af den overjordiske biomasse, men der findes undersøgelser, der peger på, at mængden er konstant indenfor art og dyrkningssystem (Hu et al., 2018). Sidstnævnte fandt at mængden var knap 40% større i økologiske end i konventionelle dyrkningssystemer. Desuden må der forventes en vis kovarians mellem mængden af planterester og deres N koncentration. Aktivitetsdata kan evt. indhentes ad anden vej via satellit, både med hensyn til biomasse og N indhold (Peng et al., 2021a; Peng et al., 2021b). Dette ville give et billede af årsvariationen og vil kunne mindske usikkerheden på aktivitetsdata i et vist omfang. Med den nuværende beregningsmetode kan der samlet set forventes at usikkerhed på aktivitetsdata bidrager med op til 30% usikkerhed på estimatet af N₂O udledning. Denne er dermed mindre end variationen på EF, der afhænger af en lang række faktorer inklusive typen af planterester, jordtype, klima og dyrkningspraksis samt vekselvirkninger mellem disse (Abalos, 2022; Grados et al, 2022).

Konklusion

På baggrund af ovenstående simple gennemgang af usikkerheden på aktivitetsdata forventes disse i mindre grad at påvirke beregninger på bedriftsniveau, mens usikkerhed på nuværende emissionsfaktor vil dominere.

Referencer

Abalos, D, Recous, S, Butterbach-Bahl, K, De Notaris, C, Rittl, TF, Topp, CFE, Petersen, SO, Hansen, S, Bleken, MA, Rees, RM & Olesen, JE. 2022. A review and meta-analysis of mitigation measures for nitrous oxide emissions from crop residues. *The Science of the Total Environment* 828, 154388. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154388>

Andersen, M.N., Jensen, C.R. & Lösch, R., 1992. The interaction effects of potassium and drought in field-grown barley. II. Nutrient relations, tissue water content and morphological development. *Acta Agriculturae Scandinavica, Sect B* 42, 45-56.

Grados, D, Butterbach-Bahl, K, Chen, J, Jan van Groenigen, K, Olesen, JE, Willem van Groenigen, J & Abalos, D. 2022. Synthesizing the evidence of nitrous oxide mitigation practices in agroecosystems. *Environmental Research Letters* 17, 114024. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac9b50>

Hejlesen, E, og Hansen, L, 1992. Vanding og gødskning af vinterhvede på sandjord. *Tidsskrift for Planteavl* 96, 109-123.

Hu, T, Sørensen, P, Wahlström, EM, Chirinda, N, Sharif, B, Li, X & Olesen, JE 2018. Root biomass in cereals, catch crops and weeds can be reliably estimated without considering aboveground biomass. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 251, 141-148. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.024>

Peng, J., Manevski, K., Kørup, K., Larsen, R., Zhou, Z., Andersen, M.N. 2021. Environmental constraints to net primary productivity at northern latitudes: A study across scales of radiation interception and biomass production of potato. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*. 94, 102232. <https://doi.org/10.1016/j.jaq.2020.102232>

Peng, J, Manevski, K, Kørup, K, Larsen, R & Andersen, MN. 2021. Random forest regression results in accurate assessment of potato nitrogen status based on multispectral data from different platforms and the critical concentration approach. *Field Crops Research*, vol. 268, pp. 108158. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108158>

4.7 Lattergas fra N-udvaskning

Forfattere: Mathias Neumann Andersen og Christen Duus Børgesen

Institut for Agroøkologi

Lattergasudledningen fra udvaskning af kvælstof efter det har forladt afgrødernes rodzone udgør ca. 515 kt CO₂-ækvivalenter pr år (bilag 1) og bidrager dermed med ca. 5% af den samlede drivhusgasudledning fra landbruget ifølge den nationale emissionsopgørelse. I opgørelsen beregnes udledningen i henhold til IPCC (2019) tier 1 metodik med emissionsfaktorer for henholdsvis N udvasket til grundvand (ud af rodzonen), N udvasket til vandløb og N udvasket til havmiljøet. De tilhørende emissionsfaktorer er hhv. EFg

= 0.006 for grundvand, EFr = 0.0026 for vandløb og EFe = 0.0026 for hav. Dvs. den totale emission fra denne kilde er som følger,

$$\text{Lattergasudledning (kg N}_2\text{O)} = (\text{N i grundvand} \times \text{EFg} + \text{N i vandløb} \times \text{EFr} + \text{N i hav} \times \text{EFe}) \times 44/28$$

Denne metodik til beregning af lattergasudledningen er i god overensstemmelse med den metodik, som anvendes af Højbjerg et al. (2020) i den Nationale Kvælstofmodel og tilhørende opdatering af Nationalt Retentionskort. I denne beregnes netop transporten af nitrat i disse tre reservoirer. Beregning af udvaskningen af N fra afgrødernes rodzone til grundvand foretages med modellen NLES5 (Børgesen et al., 2022 og Børgesen et al., 2020). Her spiller en række faktorer, såsom jordtype, nedbør og fordampning, afgrødevalg, gødningstilførsel mm. en rolle.

N-retentionen i grundvandszonen beskriver andelen af nitrat, der udvaskes fra marken, og som ikke når frem til vandløb, søer eller kystvande på grund af naturlig omsætning eller denitrifikation i forskellige dele af landskabet og undergrunden (Hansen et al., 2022). Dette beregnes med DK-modellen til beskrivelse af vandstrømningen i det hydrologiske opland og N-omsætningen i grundvandszonen. I et vandopland kan N-retention både foregå i den umættede zone f.eks. omkring dræn, samt i grundvandszonen. Grundvandets N-retention er bestemt af strømningsveje og af om nitraten omsættes undervejs. Fx har det stor betydning om marker er drænet, eller om det meste vand fra rodzonen strømmer ned i grundvandet. Her kan nitraten evt. omsættes inden vandet når frem til vandløbet. En lille N-retention i grundvandet kan forekomme, når vandet fra rodzonen overvejende strømmer direkte via dræn og grøfter til vandløbet eller når vandet fra rodzonen strømmer til vandløbet via den nitrat holdige grundvandszone med lille omsætning af kvælstof. En høj N-retention i grundvandet kan derimod forekomme, når vandet strømmer igennem den iltfrie reducerende grundvandszone. Hvis vand ledes gennem vådområder øges nitratomsætningen, fordi der her kan være iltfrie forhold eller der findes aflejringer med nitratreducerende stoffer.

I den Nationale Kvælstofmodel kobles endelig overfladevandmodeller til beregning af N-omsætning i vandløb, søer og vådområder til de to andre modeller, så hele transportvejen og omsætningen frem til de marine områder beskrives. Med den opdaterede model (NKMv2020) er der beregnet en samlet national retentionsprocent på 72% opdelt med 64% og 23% på hhv. grundvand og overfladevand (Højbjerg et al., 2020). Den nationale kvælstofmodel arbejder med oplande på i gennemsnit ca. 1500 ha. Usikkerheden på den samlede retention fra rodzonen til kysten er inden for disse regioner estimeret til at ligge mellem 6 og 27 procentpoint, med et landsgennemsnit på 16 procentpoint. Denne beregning er baseret på oplande, der er større end 10 km². Når der beregnes kvælstoftransport for enkeltår på landsplan kan årsvariationer bevirke en usikkerhed på op til 18%. Denne stiger imidlertid, hvis der opgøres for mindre områder, og validering viser, at afvigelsen mellem målt og modelleret transport er godt 20% for oplande over 10-25 km² men stiger til over 50%, når størrelsen på oplandene kommer ned på 10 km² eller mindre. Det er derfor stadig et stort spørgsmål om modellen kan anvendes på bedriftsniveau og usikkerheden på denne skala må forventes at være op imod 100%.

Denne stigende usikkerhed med hensyn til N-transport jo mindre områder man forsøger at modellere, har naturligvis betydning for skønnet over usikkerheden på bedriftsniveau. Med hensyn til det første led af N-transporten frem mod hav, som udgøres af tabet ud af rodzonen og som beskrives med NLES5-modellen vurderer Børgesen et al. (2022), at modellen kan bruges til at vurdere effekten af dyrkningstiltag mht. afgrøde og jord på nitratudvaskningen fra landbrug i Danmark både på bedriftsniveau og på regional skala. Kalibrering af modellen viste en forklaringsgrad på 40-53% og en gennemsnitlig afvigelse (RMSE) på omkring 30 kg N/ha. Der kan være situationer f.eks. tørre eller våde år, hvor afvigelsen er større og modellen bør desuden kun anvendes inden for sit kalibreringsområde, da den bygger på empiriske sammenhænge.

Den kan derfor ikke simulere brugen af nye virkemidler, som f.eks. brug af nitrifikationsinhibitorer. Udvaskningen fra rodzonen til grundvandet har en højere emissionsfaktor end N i vandløb og til hav og vil derfor vægte højere i den samlede usikkerhed.

Konklusion

Selvom de anvendte modeller er i stand til at give en relativ sikker beregning af N udvaskning og transport på landsplan eller regionalt niveau over en årrække, er billedet et andet hvis de forsøges nedskaleret til bedriftsniveau. På baggrund af ovenstående gennemgang af usikkerheden på aktivitetsdata forventes usikkerheden i høj grad at kunne påvirke beregninger på bedriftsniveau. Da usikkerhed på nuværende emissionsfaktor også er store, vil den samlede usikkerhed på et estimat af lattergasproduktionen fra N-udvaskning på bedriftsniveau ofte kunne være over 100%.

Referencer

Børgesen, CD, Pullens, JWM, Zhao, J, Blicher-Mathiesen, G, Sørensen, P & Olesen, JE 2022, 'NLES5 – An empirical model for estimating nitrate leaching from the root zone of agricultural land', European Journal of Agronomy, bind 134, 126465. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126465>

Børgesen, CD, Sørensen, P, Blicher-Mathiesen, G, Kristensen, K, Pullens, JWM, Zhao, J & Olesen, JE 2020, NLES5: an empirical model for predicting nitrate leaching from the root zone of agricultural land in Denmark. DCA rapport, nr. 163, Aarhus Universitet - DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus. <http://web.agrsci.dk/djfpublikation/index.asp?action=show&id=1313>

Hansen, B., Blicher-Mathiesen, G., Børgesen, C.D., Christiansen, A.V., Frederiksen, R.R., Iversen, B.V., Jacobsen, R., Koch, J., Sonnenborg, T., Sørensen, P., Thodsen, H., Tornbjerg, H., og Trolborg, L. Sammenstilling af koncepter for kortlægning af mark N-retention. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland. GEUS rapport 2022/19. https://data.geus.dk/pure-pdf/GEUS-R_2022_19_web.pdf

Højberg, A.L., Thodsen, H., Børgesen, C.D., Tornbjerg, H., Nordstrøm, B.O., Trolborg, L., Hoffmann, C.C., Kjeldgaard, A., Holm, H., Audet, J., Ellermann, T., Christensen, J.H., Bach, E.O. & Pedersen, B.F. 2021. National kvælstofmodel – version 2020, Metode rapport. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland. GEUS Specialrapport.

4.8 Kuldiioxid fra organiske jorde

Forfattere: Mathias Neumann Andersen, Anders Bjørn Møller og Mette Balslev Greve

Institut for Agroøkologi

Kuldioxidudledningen fra organiske jorde indregnes under LULUCF sektoren og udgjorde ifølge Nielsen et al. (2022) 2.712 kt CO₂-ækvivalenter i 2020 med en svagt faldende tendens over de seneste 5 år. Der er derfor tale om en ganske væsentlig kilde til drivhusgasudledning, som primært skyldes dræning og landbrugsanvendelse af tidligere vådområder, hvor der ophobet store mængder organisk stof over hundredvis af år. Ved dræning øges ilttilgangen fra luften gennem tidligere vandfyldte porer og den tidligere anaerobe og meget langsomme nedbrydning af organisk stof skifter til hurtig, aerob nedbrydning. I den Nationale Emissionsopgørelse (Nielsen et al. 2022) beregnes udledningen i henhold til IPCC (2014) tier 1 og 2 metodik med emissionsfaktorer, der afhænger af kulstofindhold og arealanvendelse i henhold

til Tabel 13. Emissionsfaktorerne for landbrugsjord og permanent græs er nationale værdier (Elsgaard et al., 2012), mens emissionsfaktoren for ubenyttet jord er en standardværdi fra IPCC.

Tabel 13: Emissionsfaktorer for organiske jorde angivet i ton CO₂-ækvivalenter per ha per år

	Landbrugsjord etårige afgrøder og græs i omdrift	Permanent græs	Ubenyttet jord
Jorde med mere end 12% OC	42,2	30,8	13,2
Jorde med 6 – 12% OC	21,1	15,4	6,6

Modificeret fra NIR, 2022. OC = Organisk kulstofindhold

Input dvs. aktivitetsdata til den Nationale Emissionsopgørelse hentes fra jordbundskortet over danske jorders kulstofindhold (Greve et al, 2014), der har en opløsning på ca. 30 m. Dette kombineres med et kort over arealanvendelse baseret på markkortlægning i forbindelse med EU's tilskudsordninger med en nøjagtighed på 0,5 m. I henhold til den Nationale Emissionsopgørelse blev der i 2020 dyrket etårige afgrøder på lige godt 89.000 ha, medens lige knap 80.000 ha var udlagt i permanent græs på organiske jorde dvs. jorde med organisk kulstofindhold $\geq 6\%$ OC. En mindre del af jordene overgår hvert år til at være ubenyttede, således knap 2000 ha fra 2019 til 2020, som er den tredje kategori i tabel 13.

Som det fremgår af ovenstående, kan kortlægningen af jordene baseret på Greve et al. (2014) mm. anvendes på mark og bedriftsniveau hvad angår arealmæssig nøjagtighed. Spørgsmålet er hvad usikkerhed på aktivitetsdata i så fald vil være, da fastsættelsen af emissionsfaktorerne (tabel 13) jo tydeligvis er kategorisk med risiko for at jorde med kulstofindhold omkring grænserne 6% OC og 12% OC miskategoriseres pga. usikkerheden i kortlægningen. Greve et al. (2021) angiver at usikkerheden dvs. standardafvigelsen på det estimerede kulstofindhold i kortlægningen af lavbundsjordene er 0,41% OC (SEM). Selvom dette synes at være en relativ lav usikkerhed, er det vigtigt at notere sig, at usikkerheden følger en logaritmisk normalfordeling, hvor usikkerheden vokser med størrelsen på middelværdien. Siden publiceringen af Greve et al. (2021) er der derfor lavet nye analyser og modeller og igangsat nye projekter (fx ReDoCO₂) med henblik på at nedbringe usikkerheden på klassificeringen (Gomes et al., 2023; Møller et al., 2022). Dette arbejde er ikke afsluttet, men i øjeblikket må modellerne og studiet af usikkerheden beskrevet af Møller et al., (2022) anses som state-of-the-art. I dette studie blev knap 10.000 prøver fra SINKS databasen klassificeret i tre klasser med henholdsvis OC < 6%, 6% < OC < 12% og OC > 12%, ved hjælp af en ny og mere præcis model. 845 af prøverne blev anvendt til at validere modellen. Ud af disse blev 65% klassificeret korrekt med bedst præcision på de lave (89% korrekt) og høje (64% korrekt) OC indhold, medens kun 11% af prøverne tilhørende den mellemste klasse blev klassificeret korrekt. Enkelt foreløbige resultater indikerer dog, at nøjagtigheden kan være væsentlig højere (Møller et al., 2022). Formentlig vil risikoen for misklassificering også være mindre, hvis gennemsnittet i en hel mark på f.eks. 5 ha estimeres i stedet for på de enkelte pixels med størrelse ca. 30x30m.

Konklusion

På baggrund af ovenstående gennemgang af usikkerheden på aktivitetsdata forventes disse i høj grad at kunne påvirke beregninger på bedriftsniveau. Usikkerheden på de nuværende emissionsfaktorer (tabel 13) estimeres i den Nationale Emissionsopgørelse til at være omkring 50% og denne vil derfor dominere usikkerheden på udledningen fra en bedrift. Det er klart, at flere faktorer end bare indholdet af organisk stof i organiske jorde, herunder lagtykkelse, grundvandsstand, ilt diffusion samt klimaforhold, har en indflydelse på hastigheden af nedbrydningen af det organiske stof og dermed drivhusgasudledningen.

Referencer

Elsgaard L, Görres, C.M., Hoffman, C.C., Blicher-Mathiesen, G., Schelde K. & Petersen S.O. 2012: Net ecosystem exchange of CO₂ and carbon balance for eight temperate organic soils under agricultural management. *Agriculture Ecosystems and Environment* 162:52-67.

Gomes LC, Beucher AM, Møller AB, Iversen BV, Børgesen CD, Adetsu DV, Sechu GL, Heckrath GJ, Koch J, Adhikari K, Knadel M, Lamande´ M, Greve MB, Jensen NH, Gutierrez S, Balstrøm T, Koganti T, Roell Y, Peng Y and Greve MH. 2023. Soil assessment in Denmark: Towards soil functional mapping and beyond. *Front. Soil Sci.* 3:1090145. doi: 10.3389/fsoil.2023.1090145

Greve, M.H., Christensen, O.F., Greve, M.B. & Kheir, R.B. 2014. Change in Peat Coverage in Danish Cultivated Soils During the Past 35 Years, *Soil Science* 179, 250-257.

Greve, MH, Greve, MB, Peng, Y, Pedersen, BF, Møller, AB, Lærke, PE, Elsgaard, L, Børgesen, CD, Bak, JL, Axelsen, JA, Gyldenkærne, S, Heckrath, GJ, Zak, DH, Strandberg, MT, Krogh, PH, Iversen, BV, Sørensen, EM & Hoffmann, CC 2021. Vidensyntese om kulstofrig lavbundsjord. DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug.

https://pure.au.dk/portal/files/214394346/Vidensyntese_kulstofrig_lavbundsjord_3003_2021_rev.pdf

IPCC. 2014. 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds). Published: IPCC, Switzerland. Available at: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/> (Feb. 2022).

Møller AB, Greve MH, Beucher A. 2022. Opfølgende bestilling om muligheder for forbedring af kortgrundlag for udpegning af kulstofrige lavbundsjord. 41 sider. Rådgivningsrapport fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 11.04.2022.

Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Nielsen, M., Gyldenkærne, S., Mikkelsen, M.H., Albrektsen, R., Thomsen, M., Hjelgaard, K., Fauser, P., Bruun, H.G., Johannsen, V.K., Nord-Larsen, T., Vesterdal, L., Stupak, I., Scott-Bentsen, N., Rasmussen, E., Petersen, S.B., Baunbæk, L., & Hansen, M.G. 2022. Denmark's National Inventory Report 2022. Emission Inventories 1990-2020 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 969 pp. Scientific Report No. 494 <http://dce2.au.dk/pub/SR494.pdf>

4.9 Lattergas fra organiske jorde

Forfattere: Mathias Neumann Andersen, Anders Bjørn Møller og Mette Balslev

Institut for Agroøkologi

Lattergasudledningen fra organiske jorde indregnes under landbrugssektoren i den nationale emissionsopgørelse og udgjorde ifølge Nielsen et al. (2022) 532 kt CO₂-ækvivalenter i 2020 med en svagt faldende tendens over de seneste 5 år. Disse bidrager dermed med ca. 5% af den samlede drivhusgasudledning fra landbruget. Denne væsentlige kilde til drivhusgasudledning, som primært skyldes dræning og landbrugsanvendelse af tidligere vådområder, hvor der ophobet store mængder organisk stof over hundredvis af år. Ved dræning øges ilttilgangen fra luften gennem tidligere vandfyldte porer og den

tidligere anaerobe og meget langsomme nedbrydning af organisk stof skifter til hurtig, aerob nedbrydning. Herved frigøres også mineralisk N.

Areal med organiske jorder fås fra LULUCF sektoren (se ovenfor) og dette bruges direkte i beregningen, som ligner den for CO₂ udledning, men med andre emissionsfaktorer:

$$\text{N}_2\text{O Emission} = \text{cropland (>12 \% SOC)} * \text{EF1} + \text{grassland (>12 \% SOC)} * \text{EF2} + \text{øvrig areal (>12 \% SOC)} * \text{EF3} \\ + \text{cropland (6-12 \% SOC)} * \text{EF4} + \text{grassland (6-12 \% SOC)} * \text{EF5} + \text{øvrig areal (6-12 \% SOC)} * \text{EF6}$$

hvor

Cropland - areal af landbrugsjord med afgrøder, ha

Grassland - areal med af landbrugsjord med græs, ha

Øvrig areal - areal af landbrugsjord der ikke kan defineres som crop- eller grassland, ha

EF1, EF2, EF3 - fra IPCC (2014) wetland supplement

EF4, EF5, EF6 - det halve af det givet for >12 %

Input dvs. aktivitetsdata til den Nationale Emissionsopgørelse hentes fra jordbundskortet over danske jorders kulstofindhold (Greve et al, 2014), der har en opløsning på ca. 30 m. Dette kombineres med et kort over arealanvendelse baseret på markkortlægning i forbindelse med EU's tilskudsordninger med en nøjagtighed på 0,5 m. Usikkerheden dvs. risikoen for misklassificering vil være den samme som beskrevet ovenfor i afsnittet om kuldioxid fra organiske jorde.

Konklusion

På baggrund af ovenstående gennemgang af usikkerheden på aktivitetsdata forventes disse i høj grad at kunne påvirke beregninger på bedriftsniveau. Usikkerheden på de nuværende emissionsfaktorer estimeres i den Nationale Emissionsopgørelse til at være omkring 300% og denne vil derfor dominere usikkerheden på udledningen fra en bedrift. Det er klart at flere faktorer end bare indholdet af organisk stof i organiske jorde, herunder lagtykkelse, grundvandsstand, ilt diffusion samt klimaforhold, har en indflydelse på hastigheden af nedbrydningen af det organiske stof og dermed udledningen af både CO₂ og N₂O.

Referencer

Greve, M.H., Christensen, O.F., Greve, M.B. & Kheir, R.B. 2014. Change in Peat Coverage in Danish Cultivated Soils During the Past 35 Years, Soil Science 179, 250–257.

Greve, MH, Greve, MB, Peng, Y, Pedersen, BF, Møller, AB, Lærke, PE, Elsgaard, L, Børgesen, CD, Bak, JL, Axelsen, JA, Gyldenkærne, S, Heckrath, GJ, Zak, DH, Strandberg, MT, Krogh, PH, Iversen, BV, Sørensen, EM & Hoffmann, CC 2021. Vidensyntese om kulstofrig lavbundsjord. DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug.

https://pure.au.dk/portal/files/214394346/Vidensyntese_kulstofrig_lavbundsjord_3003_2021_rev.pdf

IPCC. 2014. 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds). Published: IPCC, Switzerland. Available at: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/> (Feb. 2022).

Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Nielsen, M., Gyldenkærne, S., Mikkelsen, M.H., Albrektsen, R., Thomsen, M., Hjelgaard, K., Fauser, P., Bruun, H.G., Johannsen, V.K., Nord-Larsen, T., Vesterdal, L., Stupak, I., Scott-Bentsen, N., Rasmussen, E., Petersen, S.B., Baunbæk, L., & Hansen, M.G. 2022. Denmark's National Inventory Report 2022. Emission Inventories 1990-2020 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 969 pp. Scientific Report No. 494 <http://dce2.au.dk/pub/SR494.pdf>

5 Konklusion

I afsnittene ovenfor er usikkerheden på bedriftsniveau for en række input-variable dvs. aktivitetsdata til modeller for drivhusgasudledningen for de væsentligste landbrugskilder estimeret. Modellerne, der er anvendt, svarer til dem, der anvendes i den Nationale emissionsopgørelse dvs. ved brug af IPCC metodik. I tabel 14 er vist en oversigt over de estimerede usikkerheder på de mest betydende aktivitetsdata, der indgår i modellerne.

Tabel 14: Samlet oversigt over usikkerhed/variation på de aktivitetsdata, der har størst indflydelse på hovedkilderne til drivhusgasudledninger i landbrugssektoren. For detaljeret gennemgang henvises til de enkelte afsnit i rapporten.

Kilde til drivhusgasemission	Aktivitetsdata	Ændring i aktivitetsdata i forhold til standard	Udledning i forhold til standard
Metan fra husdyrfordøjelse (Kvæg)	Foderoptagelse	+ 20% for tung race + 8% for Jersey	115%
	Øget fodereffektivitet	+ 5%	96%
	Øget indhold af bruttoenergi i foderet	+1	101%
	Ændret indhold af næringsstoffer i ration	+10% råfedt -15% NDF +30% stivelse	92%
Metan fra husdyrfordøjelse (Søer med pattegrise)	Foderforbrug	Lavt og højt scenarie inklusiv emissionsfaktor	150 - 181%
Metan fra husdyrfordøjelse (Smågrise)	Foderforbrug	Lavt og højt scenarie inklusiv emissionsfaktor	34 - 123%
Metan fra husdyrfordøjelse (Slagtesvin)	Foderforbrug	Lavt og højt scenarie inklusiv emissionsfaktor	80 - 98%
Metan fra svinegødning (stald og lager)	Udslusningsinterval	Lavt: 7 dage Højt: 49 dage	94 - 106%
	Gylleudbringning, sommer		80%
	Staldtemperatur	Lav, høj	85 - 115%
	VS per CH ₄	Lav: 4,17 Høj: 11,7	75 - 125%
	Ea (parameter i temperaturfunktion)	Lav - Høj	12 - 220%
Metan fra kvæggødning (stald og lager)	Fæcestørstof, %	Lav: 10% Høj: 17%	80 - 120%
	Foder fordøjelighed	Lav-høj	75 - 125%

	Udslusningsinterval	Lav	70%
	VS per CH ₄	Lav: 4,17 Høj: 11,7	75 - 125%
	Ea (parameter i temperaturfunktion)	Lav - Høj	15 - 380%
Lattergas fra husdyrgødning (stald og lager)	N-udskillelse	Lav - høj	80 - 120%
Lattergas fra husdyrgødning (udbringning på mark)	N-udskillelse	Lav - høj	80 - 120%
Lattergas fra handelsgødning	N-mængde	Lav - høj	97.5 - 102.5%
Lattergas fra afgrøderester	N-mængde i afgrøderester	Lav - høj	85 - 115 %
Lattergas fra N-udvaskning	N-retention i rodzone, grundvand og vandløb/søer	Lav - høj	50 - 150%
Kuldioxid fra organiske jorde*	Klassificering af kulstofniveau i jord	Lav - høj	65 - 135%*
Lattergas fra organiske jorde	Klassificering af kulstofniveau i jord	Lav - høj	65 - 135%*

*LULUCF; Risiko for at bedrifter miskategoriseres helt eller delvist, og fejlen på udledningsestimatet fra den enkelte bedrift derfor kan være endnu højere end angivet her.

Som det fremgår af tabel 14, varierer usikkerheden på aktivitetsdata fra lille til endog meget høj. Som beskrevet i afsnittene ovenfor er det imidlertid i de fleste tilfælde usikkerhed på emissionsfaktorerne, der vil dominere usikkerheden på udledningsestimater på bedriftsniveau. For at nå frem til retvisende emissionsestimater på bedriftsniveau er det for de fleste kilder nødvendigt at nedbringe usikkerheden på begge faktorer i beregningerne.

6 Bilag

6.1 Bilag 1: Fordeling af landbrugets emissioner 2021 på kildeniveau

I bilag 1 er angivet den samlede drivhusgasemission fra landbrugssektoren fordelt på emissionskilder. Data baseret på den nationale emissionsopgørelse for drivhusgasser (Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Nielsen, M., Gyldenkerne, S., Mikkelsen, M.H., Albrektsen, R., Hjelgaard, K., Fauser, P., Bruun, H.G., Levin, L., Callisen, L.W., Andersen, T.A., Johannsen, V.K., Nord-Larsen, T., Vesterdal, L., Stupak, I., Scott-Bentsen, N., Rasmussen, E., Petersen, S.B., Baunbæk, L., & Hansen, M.G. 2023. Denmark's National Inventory Report 2023. Emission Inventories 1990-2021 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Aarhus University, DCE - Danish Centre for Environment and Energy, 933 pp. Scientific Report No. 541 <http://dce2.au.dk/pub/SR541.pdf>)

Stof	Emissionskilde	Emission 2021, tons	kilotons CO ₂ -ækv. (AR5)	Andel af CO ₂ -ækv pct.
CH ₄	Fordøjelse	147.944	4.142	34
CH ₄	Husdyrgødning (stald+lager)	109.426	3.064	25
CH ₄	Halmafbrænding	98	3	<1
CO ₂	CAN (øvrige kulstofholdige mineralske gødninger)	3.454	3	0<1
CO ₂	Kalkning	271.022	271	2
CO ₂	Urea	1.186	1	<1
N ₂ O	Afgrøderester	3.368	893	7
N ₂ O	NH ₃ og NO _x fordampning (mark)	595	158	1
N ₂ O	NH ₃ og NO _x fordampning (stald+lager)	366	97	1
N ₂ O	Græsning	126	33	<1
N ₂ O	Gødning (stald+lager)	1.882	499	4
N ₂ O	Halmafbrænding	2	<1	<1
N ₂ O	Handelsgødning	3.592	952	8
N ₂ O	Organiske jorde	2.007	532	4
N ₂ O	Industrislam	85	23	<1
N ₂ O	Gødning udbragt	3.129	829	8

N ₂ O	Mineralisering	146	39	<1
N ₂ O	Slam	76	20	<1
N ₂ O	N-udvaskning	1.942	515	4
N ₂ O	Øvrig N-biomasse udbragt	3	1	<1
CH ₄	I alt	257.468	7.209	60
CO ₂	I alt	275.662	276	2
N ₂ O	I alt	17.319	4.590	38
Sum	Kilotons CO₂-ækv.		12.074	100

6.2 Bilag 2: Oversigt over emissions variable

Stof	Emissionskilde	Emissionen afhænger af	Beregningsvariable
CH ₄	Fordøjelse	Antal dyr/dyretype	Ym - methane conversion factor
		Fodermængde/fodersammensætning	GF - gross energy
CH ₄	Husdyrgødning (stald+lager)	Antal dyr/dyretype	VS - volatile solid
		Staldtype/gødningstype	MCF (afhænger af temperatur og opholdstid)
		Strøelsesforbrug	B0 - maximum methane producing capacity
		Biogasbehandlet/ikke biogasbehandlet	
CH ₄	Halmafbrending	Mængde afbrændt	Mængde afbrændt biomasse
		Tørstof indhold	
CO ₂	CAN (øvrige kulstofholdige gødninger)	Mængde anvendt	Emissionsfaktor for mængde anvendt calcium ammonium nitrat
CO ₂	Kalkning	Mængde	Emissionen er bestemt ud fra kemisk bestemt omsætning af CO ₂
		Kalktype (indhold af CaCO ₃)	
CO ₂	Urea	Mængde	Emissionsfaktor per anvendt mængde urea
N ₂ O	Afgrøderester	Afgrødetype	Baseret på IPCC konventionsfaktor for a) forholdet mellem N i høstet afgrøde/ N indhold i afgrøderester over jordoverfladen b) konventionsfaktor for N i afgrøderester over og under jordoverfladen.
		Udbytte og tørstofindhold	
		Rotationscyklus	
		Høstet halm/top	
N ₂ O	NH ₃ og NO _x fordampning (stald+lager)	Antal dyr/dyretype	Emissionsfaktor baseret på mængde N emitteret som NH ₃ og NO _x
		N-udskillelse	
		Staldtype/gødningstype	
		NH ₃ og NO _x emissionsfaktor	
N ₂ O	NH ₃ og NO _x fordampning (mark)	N udbragt til marken (husdyrgødning, handelsgødning, slam, øvrig	Emissionsfaktor baseret på mængde N emitteret som NH ₃ og NO _x

		organisk gødning, voksende afgrøder og NH ₃ -Halm)	
		NH ₃ og NO _x emissionsfaktor	
N ₂ O	Græsning	Antal dyr/dyretype	N ₂ O emission faktor per kg N udbragt ved græsning
		N-udskillelse	
		Græsningsperiode	
N ₂ O	Gødning (stald+lager)	Antal dyr/dyretype	N ₂ O emission faktor per gødningstype, kg N ₂ O-N pr kg N
		N-udskillelse	
		Staldtype/gødningstype	
N ₂ O	Halmafabrænding	Mængde afbrændt	Mængde afbrændt biomasse
		Tørstof indhold	
N ₂ O	Handelsgødning	Anvendt mængde	N ₂ O emission faktor per kg N udbragt
		N-indhold	
N ₂ O	Organiske jorde	Afgrødetype, jordtype, gødsugning, dræning, organisk indhold (6-15%, >12%)	Emissionen ved dyrkning af organiske jorde beregnes i C-TOOL
N ₂ O	Industrislam	Mængde/type	N ₂ O emission faktor per kg N udbragt
N ₂ O	Gødning udbragt	Antal dyr/dyretype	N ₂ O emission faktor per kg N udbragt
		N-udskillelse	
		Staldtype/gødningstype	
		N emission i stald og lager	
N ₂ O	Mineralisering	Afgrødetype, jordtype, gødsugning, dræning	N-mineraliseringen fra mineraljord forbundet med tab/optag af jordens organiske stof beregning med C-TOOL
N ₂ O	Slam	Mængde	N ₂ O emission faktor per kg N udbragt
		N-indhold	
N ₂ O	N-udvaskning	Mængde N udvasket i henholdsvis rodzone, vandløb og hav	N ₂ O emission faktor per kg N udvasket
N ₂ O	Øvrig N-biomasse udbragt	Mængde	N ₂ O emission faktor per kg N udbragt
		N-indhold	

6.3 Bilag 3: Oversigt over anvendelse af nationale data og IPCC standard faktorer i den nationale emissionsopgørelse

Stof	Emissionskilde	Beregningsvariable	Nationale data versus IPCC standard værdier
CH ₄	Fordøjelse	Y _m - methane conversion factor	National estimeret Y _m for malkekøer, øvrige dyr IPCC standardværdi
		GF - gross energy	National estimeret på baggrund af Normtal
CH ₄	Husdyrgødning (stald+lager)	VS - volatile solid	National estimeret på baggrund af Normtal
		MCF (afhænger af temperatur og opholdstid)	For kvæg- og svinegylle - National estimeret på baggrund af modelberegninger, hvor der bl.a. indgår nationale data for opholdstider for gyllen i stald og lager, temperatur, VS indhold. For øvrige gødningstyper IPCC standardværdier
		B ₀ - maximum methane producing capacity	IPCC standardværdier
CH ₄	Halmafabrænding	Mængde biomasse afbrændt	National tørstof indhold i afgrøde resten, IPCC standardværdier
CO ₂	CAN (øvrige mineralske kulstofholdige gødninger)	Emissionsfaktor for mængde anvendt calcium ammonium nitrat	IPCC standardværdier
CO ₂	Kalkning	Emissionen er bestemt ud fra kemisk bestemt omsætning af CO ₂	IPCC standardværdier
CO ₂	Urea	Emissionsfaktor per anvendt mængde urea	IPCC standardværdier
N ₂ O	Afgrøderester	Baseret på IPCC konventionsfaktor for a) forholdet mellem N i høstet afgrøde/ N indhold i afgrøderester over jordoverfladen b) konventionsfaktor for N i afgrøderester over og under jordoverfladen.	Kombination af nationale tal for udbytter og tørstofindhold i div. afgrødetyper og IPCC standarder for N i afgrøderester over og under jordoverfladen
N ₂ O	NH ₃ og NO _x fordampning (stald+lager)	Emissionsfaktor baseret på mængde N emitteret som NH ₃ og NO _x	Nationale emissionsfaktorer for NH ₃ i stald og lager. Emissionsfaktorer for NO _x baseret på EMEP/EEA guidebook. Emissionsfaktor for N ₂ O IPCC standard.
N ₂ O	NH ₃ og NO _x fordampning (mark)	Emissionsfaktor baseret på mængde N emitteret som NH ₃ og NO _x	Nationale emissionsfaktorer for NH ₃ ved udbringning af husdyrgødning, voksende afgrøde og NH ₃ -halm. Emissionsfaktorer for NH ₃ fra handelsgødning, slam og øvrig organisk gødning, samt emissionsfaktorer for

			Nox baseret på EMEP/EEA guidebook. Emissionsfaktor for N ₂ O IPCC standard.
N ₂ O	Græsning	N ₂ O emission faktor per kg N udbragt ved græsning	IPCC standardværdier
N ₂ O	Gødning (stald+lager)	N ₂ O emission faktor per gødningstype, kg N ₂ O-N pr kg N	IPCC standardværdier
N ₂ O	Halmafabrænding	Mængde biomasse afbrændt	National tørstof indhold i afgrøde resten, IPCC standardværdier
N ₂ O	Handelsgødning	N ₂ O emission faktor per kg N udbragt	IPCC standardværdier
N ₂ O	Organiske jorde	Emissionen ved dyrkning af organiske jorde beregnes i C-TOOL	IPCC standardværdier
N ₂ O	Industrislam	N ₂ O emission faktor per kg N udbragt	IPCC standardværdier
N ₂ O	Gødning udbragt	N ₂ O emission faktor per kg N udbragt	IPCC standardværdier
N ₂ O	Mineralisering	N-mineraliseringen fra mineraljord forbundet med tab/optag af jordens organiske stof beregning med C-TOOL	IPCC standardværdier
N ₂ O	Slam	N ₂ O emission faktor per kg N udbragt	IPCC standardværdier
N ₂ O	N-udvaskning	N ₂ O emission faktor per kg N udvasket	Nationale tal for N udvasket i henholdsvis rodzone, vandløb og hav. Emissionsfaktorer IPCC standard
N ₂ O	Øvrig N-biomasse udbragt	N ₂ O emission faktor per kg N udbragt	IPCC standardværdier

6.4 Bilag 4: Forslag til indhentning af aktivitetsdata for håndtering af husdyrgødning

Svinebedrifter

Produktionsdata:

- Ind og udgående dyrevægt.
- Antal dyr produceret pr år per stald og per dyretype (slagtesvin og smågrise). Antal dyr (søer).
- Fodereffektivitet: kg foder pr kg tilvækst pr dyr og dyretype (slagtesvin og smågrise). Foderindtag pr år (søer).
- Produktionsareal pr dyr og dyretype.

Gødningshåndtering:

- Gyllemængder i lageret over året og dimensioner på lageret.
- Udbringningstidspunkt, -mængde og -metode for gylle i lageret.
- Type af overdækning på gyllelager.
- Gylletemperatur inde i stalden og i lageret hen over året.
- Gyllehåndterings-system og gyllekumme-areal (fx vakuum udslusning og antal m²).
- Udslusningsinterval eller gennemsnitlig gylleopholdstid i stalden (dage).
- Restgyllehøjde i gyllekumme/kanal efter gylleudslusning/skrabning (cm).
- Anvendelse og omfang af miljøteknologier.

Kvægbedrifter

Produktionsdata:

- Antal dyr og dyretype (fx antal malkekøer og type: tung, kvier etc.).
- Tørstof indtag: kg per dyr per år pr dyretype.
- EKM: kg per malkeko per år.
- Produktionsareal pr dyr og dyretype.

Gødningshåndtering:

- Gyllemængder i lageret over året og dimensioner på lageret.
- Udbringningstidspunkt, -mængde og -metode for gylle i lageret.
- Type af overdækning på gyllelager.

- Gylletemperatur inde i stalden og i lageret hen over året.
- Gyllehåndteringssystem og gyllekumme areal (fx ringkanal og antal m²).
- Udslusningsinterval eller gennemsnitlig gylleopholdstid i stalden (dage).
- Restgyllehøjde i gyllekumme/kanal efter gylleudslusning/skrabning (cm).
- Anvendelse og omfang af miljøteknologier.