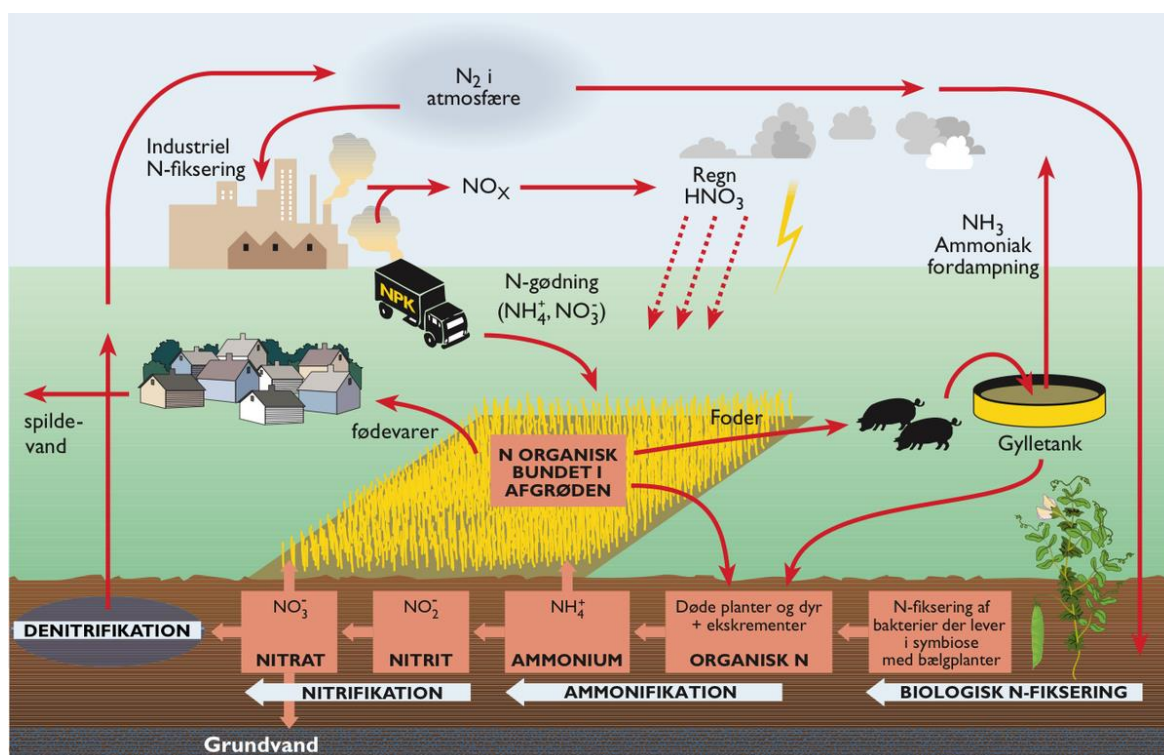


Kvælstoffets rolle ved klimabelastningen fra markfladen ved økologisk drift.



Frank Oudshoorn

SEGES Økologi Innovation

December 2020

Udarbejdet i projektet ClimOptic der har modtaget tilskud fra "Grønt Udviklings- og Demonstrationsprogram (GUDP) under Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, og er en del af Organic RDD 4 programmet, som koordineres af ICROFS.

INDHOLD

1	INTRODUKTION TIL KVÆLSTOF SOM GØDNING.....	2
2	KLIMAPÅVIRKNING.	3
3	BEGRÆNSNING AF EMISSIONERNE.....	4
4	SYSTEMBETRAGTNING.	5
5	KONKLUSION.....	7
6	REFERENCER.....	8
7	BILAG IPCC 2019.....	8

1 INTRODUKTION TIL KVÆLSTOF SOM GØDNING.

Kvælstofforsyningen til planterne er altafgørende for udbytterne. Kvælstof (N, nitrogen) er det næringsstof, der er mest af i planter. Det udgør typisk 0,5-5 % af tørvægten, hvoraf ca. 40 % er kulstof (C), 50 % er ilt (O), 5 % er brint (H), og resten er andre mineraler. Kvælstofindholdet (N₂) i atmosfæren er ca. 78%, hvor CO₂ indholdet kun er ca. 0,04 %. Kvælstof indgår i nukleinsyrer og i aminosyrer og dermed i alle peptider, proteiner og enzymer. Det indgår også i plantehormoner og i klorofyl, som farver planternes blade grønne.

I jorden findes store puljer organisk bundet kvælstof, typisk mellem 1.000-10.000 kg N/ha. Mineralsk N i jorden, som kan optages af planterne, udgør typisk kun 20-100 kg N/ha. Jordens kulstofpulje er typisk 10 gange større end kvælstofpuljen, i modsætning til situationen i atmosfæren. Planterne kan, selvom der er så meget af det i atmosfæren, ikke optage kvælstof via luften. Det skal komme fra jorden, enten via handelsgødning eller organisk gødning eller omsætning (mineraliseringen) af den organiske pulje i jorden. Ved optag fra mineraliseringen af organisk stof i jorden eller organisk gødning (fra husdyr eller affald) spiller jordfrugtbarhed en stor rolle, dvs. mængder af bakterier og svampe som lever i jorden. Dette betegnes ofte som jordens frugtbarhed.

Nogle plantearter, der indgår en symbiose med bakterier, kan fiksere kvælstof fra luften. Vi kender dem mest som bælgplanter såsom bønner, ærter eller kløverarter. Bakterierne lever i rodknolde, og i bytte for kulhydrater fra planterne, afgiver de kvælstof til planterne.

Når der tildeles husdyrgødning, eller når en kløvergræsmark eller et areal med efterafgrøder pløjes, skal det organiske kvælstof mineraliseres til ammonium (NH₄⁺), før planterne kan optage det. Ammonium omsættes dog hurtigt via iltning (nitificeringen) til nitrit (NO₂) og derefter nitrat (NO₃⁻) som også kan optages af planterne. NH₄⁺ og NO₃⁻ kan optages af afgrøden, men hvis ikke nitrat optages hurtigt, bliver det udvasket eller omsat til lattergas og frit kvælstof af jordbakterierne (denitrifikation), specielt under iltfattige forhold. Processerne er alle temperaturafhængige, og derfor er det svært for planterne at optage kvælstof fra organisk gødning, når det er koldt. Organisk gødning, som husdyrgødning eller kompost indeholder dog også ammonium kvælstof, i mindre eller større mængder, og denne del kan direkte optages eller indgå i nitrificeringsprocessen om omsættes til nitrat.

Når gødningstildelingen planlægges, er det godt at tildele gødning med højt ammoniumindhold på det tidspunkt, hvor planterne kræver en stor og hurtig optagelse af kvælstof.

Når gødningen indeholder ammonium-kvælstof, er der også risiko for ammoniakfordampning, og går dermed tabt for afgrøden. Jo større ammoniumdelen i den organiske gødning er, jo større er risikoen for tab. I firserne blev man ekstra opmærksom på dette tab, og der kom reguleringspåbud som krævede slangeudbringning, direkte nedmuldning eller injektion. Indgreb der formindsker ammoniumfordampning og hæver udnyttelsesgraden.

Ved at forsinke eller afbryde omsætningen af ammonium til nitrat (nitrifikationshæmning), vil lattergasemissionerne kunne sænkes. Ved brug af kemiske nitrifikationshæmmere har man kunnet måle helt op til 50% reduktion (Duan et al., 2017), hvilket betyder, at de nu er på vej til at blive implementeret. De er ikke tilladt i økologien, og derfor arbejdes der nu med at undersøge, om der findes naturlige eller biologiske nitrifikationshæmmere (Subbarano, 2013).

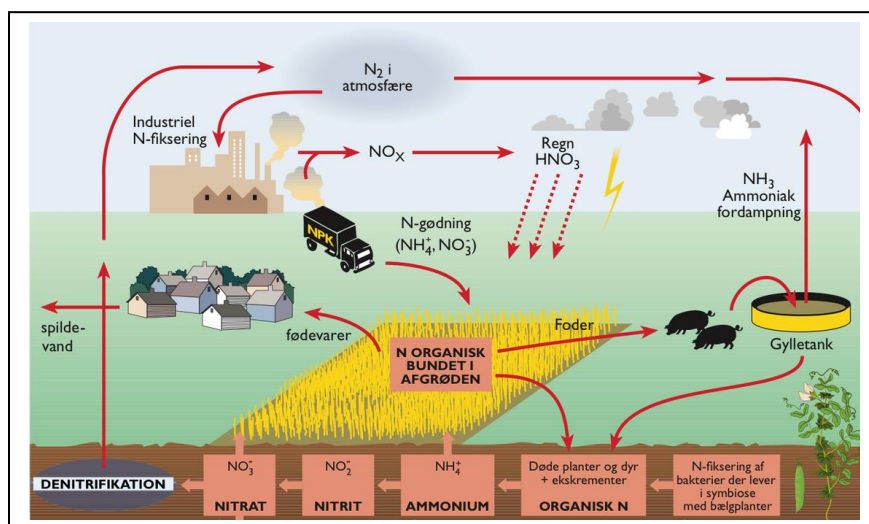


Fig.1. Kvælstof kredsløbet i Landbrugsproduktionen

2 KLIMAPÅVIRKNING.

I økologisk landbrug bruges normalt kun organisk gødning. Den direkte påvirkning af klimaet fra gødnings-tilførslen, hvor dieselforbruget for tildelingen og eventuelt fortrængning af handelsgødning ikke er med, kommer fra:

1. Omsætning i jorden af organisk bundet kvælstof til lattergas ($N \rightarrow N_2O$)
2. Fordampning af ammoniak (NH_3) som indirekte er med til lattergasudledning.
3. Udvaskning af nitrat (NO_3^-) som derefter indirekte er med til lattergasudledning

Som eksempel kan klimaeffekten bregnes for tildeling af 100 kg total N/ha som kvæggylle, udbragt med slangeudstyr. Udnyttelseskravet af kvæggylle er 75%.

1. $100 \text{ kg N} \times 0,01$ ($0,01 =$ emissionsfaktoren for tildelt total N til marken, IPCC 2016) = 1 kg N hvilket svarer til $1 \times 44/28$ (mol vægt faktor) = 1,57 kg N_2O . N_2O har en klimagas potens som er 298 gange den fra

- CO₂, og for at normalisere beregningen udregnes alle emissioner til CO₂ ækvivalenter. Dermed bliver 1,57 kg lattergas til (x298) = **468 kg CO₂-ækv.**
2. Kvæggylle kræves ved lov at blive udnyttet med 75%, og derfor beregnes de 100 kg N udbragt som kvæggylle til 75 kg effektiv N. Der er ved eksperimenter fastlagt at, af de 100 kg N udbragt med slanger, er 60 kg ammoniak N (NH₃), hvoraf de 9,9 kg NH₃-N fordampes (Ammoniak emissions koefficient = 0,132; Hansen et al., 2008). De 9,9 kg NH₃-N svarer til $9,9 \times 44/28 = 15,6$ kg N₂O-N, igen med emissionsfaktor 0,01. Dette svarer til $15,6 \times 0,01 \times 298 =$ **46 kg CO₂-ækv.**
 3. For udvaskning beregner man til den nationale klimabelastningsopgørelse at 33% af den totale N mængde der tildeles alle marker i Danmark, udvaskes, uanset om det er handels- eller husdyrgødning*. Det udvaskede NO₃-N har en emissionskoefficient på 0,0075 som lattergas, og derfor lyder beregningen; $100 \times 33\% = 33$ kg NO₃-N. Og dermed $33 \times 0,0075 \times 298 =$ **74 kg CO₂-ækv.** (0,0075 er EF for ammoniak ifølge IPCC 2016)
 4. I klimaberegningen indregnes også den mængde handelsgødning som skal erstatte den husdyrgødning økologen har aftaget. I dette tilfælde vil det være for produktionen af N, P og K, som ifølge normal for kvæggylle ved 100 kg N er 15 kg P og 71 kg K. P og K skal udnyttes 100%, N skal udnyttes 75%.
For hver udnyttet kg N, kg P og kg K skal der indregnes hhv. 6,6, 3,6 og 0,7 kg CO₂-ækv (Mogensen et al., 2018).
I alt vil der for 100 kg N 15 kg P og 71 kg K, i kvæggylle tillægges **599 kg CO₂-ækv**

* Udvasning for kvælstofgødning udbragt som organisk gødning er formegentlig større end for handelsgødning, da mineraliseringen af den organiske del også kan finde sted i perioder hvor der ingen optag fra voksende afgrøder er.

Dermed er den samlede lattergas udledning fra gødningen $468 + 38 + 74 + 599 = 1179$ kg CO₂-ækv./ha. Hvis der høstes for eksempel 4.000 kg tørstof/ha, så er gødningens andel i klimagasudledningen $1179/4000 = 295$ g CO₂-ækv./kg produkt.

3 BEGRÆNSNING AF EMISSIONERNE.

Emissionsfaktoren for lattergasudledning på 0,01 for organisk gødning, er under revision (IPCC 2019). Muligvis bliver den sat noget lavere i de nyere versioner (se bilag IPCC), specielt for husdyrgødning.

Ved at øge ammoniumandelen af organiske gødninger ved for eksempel at lave biogas eller separering der fører til digestat (biogasygyle), vil ammonium-N delen stige (tabel 1), og surhedsgraden falder (pH stiger) hvilket begge to forøger potentialet for ammoniakfordampning. Viskositeten stiger derimod også (mindre tørstof) og dermed falder ammoniakfordampningen (Hansen et al., 2008). Hvis der tilsættes biogaforgærmingsmassen mere tørstof i form af slagteriaffald, halm, majs, dybstrøelse mm. vil ammoniakfordampningen stige.

Tabel 1. Påvirkning af ammonium andel i organisk materiale ved bioforgasning.

Gødningstype	Ammonium-N/ total N (%)**	
	Ubehandlet	Afgasset
Svinegylle	79	90
Kvæggylle	58	68
Kvæg dybstrøelse	20	50
Majsensilage	5	60
Vægtet Gennemsnit		65

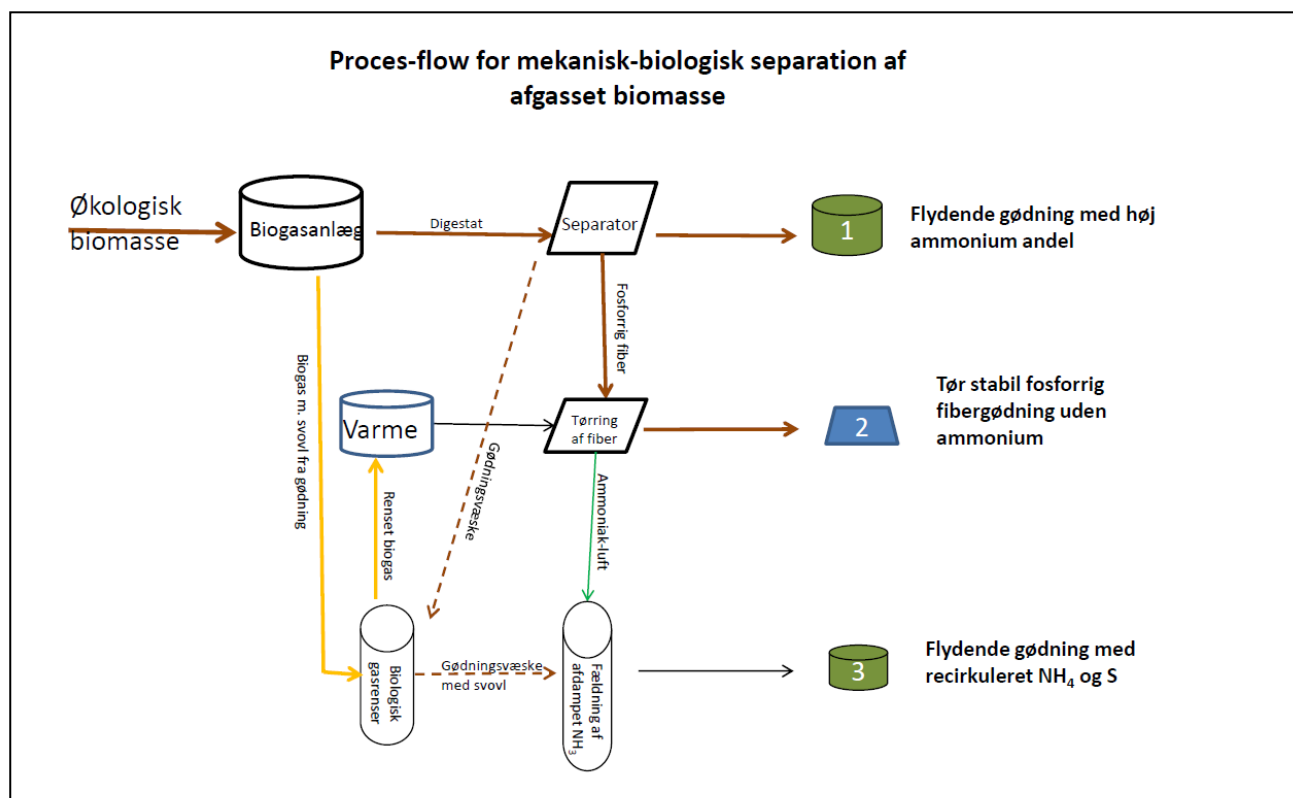
** fra Sørensen, P., 2015

Udnyttelsesmuligheden af det kvælstof, der tildeles som afgasset gylle (digestat), vil blive større, fordi den organiske gødningsandel mindskes. Ammoniumdelen af den organiske gødning kan optages hurtigere i den voksende afgrøde, hvilket er afgørende for en god forårsvækst og dermed udbytteneiveauet. Der nævnes en øget gødningseffekt på 5-8 kg N per 100 kg N (Sørensen og Børgesen, 2015). Ved at gødningseffekten stiger, vil udvaskningen kunne falde, men risikoen for udvaskningen stiger også, da som omtalt tidligere, ammonium hurtigt omsættes til nitrat, som kan udvaskes, hvis ikke der er en voksende afgrøde, som kan optage kvælstof. Klimaeffekten af mindre udvaskning, vil først kunne indgå i beregningerne når den direkte udvaskning indgår i Mark-Online ved implementeringen af NLESS5, efterår 2020.

4 SYSTEMBETRAGNING.

Ved at afgasse sin husdyrgødning vil bedriften, der bruger gødningen, kunne hæve ammoniumdelen i gødningen uden at der nødvendigvis sker et tab via ammoniakfordampning eller udvaskning (hvis man bruger gødningen rigtigt), og udbytterne af specielt korn vil kunne stige, da kvælstoffet er nemmere tilgængeligt lige på det tidspunkt, man tildeler gødningen. På biogasanlægget kan det producerede digestat opgraderes til at indeholde endnu mere ammonium-N og mere svovl, som kan renses fra den biogas der produceres. Svovl er også kendt for at kunne være mangelvare specielt i forårsvæksten.

I projektet Climate optimized fertilization in organic cropping systems (ClimOptic) arbejder Aarhus Universitet, Institut for Ingeniørvidenskab, sammen med Institut for Agroøkologi om at opgradere digestat (biogasygylle) til forskellige fraktioner (Fig 1). Derefter testes fraktionerne (1,2,3) for deres gødningsværdi. Disse forsøg er ikke færdig, og derfor er de klimaeffekterne ikke evidensbaseret.



Figur 1. Proces-flow

Yderligere er der en mulighed for planteavlsbedrifter, eller bedrifter med lav husdyrbesætning, at levere plantemasse (oftest kløvergræs) til biogasanlægget, hvilket kan forøge den mængde kvælstof, som kan spredes som gødning. Fordelen ved biogasgødning fremfor at bruge kløvergræs som forfrugt, er at kvælstofvirkningen bedre kan styres og virke, der hvor der er størst behov i vækstkurven.

Ulemperne er selvfølgelig at både opgraderingsprocessen og brug af biomasse til biogasanlægget, vil koste energi og ressourcer. Selve biogasdannelsen vil kunne indregnes som grøn energi, ved en systembetragtning, og sammenlignes med "business as usual" som er brugen af husdyrgødningen direkte, brug af kløvergræs som forfrugt, og køb af svovlgødning. Derfor vil i energiforbruget ved transport og proces mere end rigeligt blive udlignet af biogasproduktionen. Hvis en bedrift dyrker kløvergræs som grøngødning eller til biogasanlæg, vil der være et mindre areal til korn eller salgsafgrøder, så denne påvirkning på drivhusgas-emissioner per kg korn indregnes.

Tabel 2. Analyse-data fra bioforgasning af husdyrgødning, samt opgradering af digestat vist relativ til en planteavlsbedrift som har lavet en aftale om import af husdyrgødning på udnyttet 60 kg N/ha

Scenario	Total N/ha	Svovl g/t gylle	NH ₄ -N %**	Virknings Procent***	Udbytte korn estimat/ha*
1. Husdyrgødning	60	377	58	82 ¹⁾	3680
2. Digestat	60		68	66 ²⁾	3740
3. Digestat + biomasse (17%)	90	316	53,8		4530
4. Beriget digestat + biomasse (17%)	90	3575	77,4		4835

* Sven Hermansen, scenario beregninger baseret på merudbytte af 20 kg kerne/ kg N plus ekstra merudbytte fra kløvergræs i sædskifte, 2020

** Sørensen & Børgesen, fra rapport 65

*** Gødningsforsøg Foulum, 2020

1) Norm virkning procent er 60 2) Norm virkning procent er 65

Afgasset gylle er årsag til lidt mindre drivhusgas emission per ha (tabel 4), med samme mængde tilført N/ha. Det højere udbytte har også en ekstra effekt på drivhusgasemissionen pr. kg. Derimod vil tildeling af ekstra 30 kg N/ha give en meget større lattergas emission fra selve gødningen, som ikke kompenseres af det højere udbytte opnået (136 g CO₂-e/kg ved tildeling af 90 kg beriget afgasset gylle + biomasse kontra 96 g CO₂-e/kg ved tildeling af 60 kg afgasset gylle). Det højere udbytte per ha korn, skal nemlig også dække over de 17% mindre areal der kan dyrkes med korn. Dermed vil den formindskede udvaskning ikke kunne modvirke den højere lattergas emission fra selve gødningen og den højere ammoniakfordampning.

Hvis der også indregnes mulig kulstoflagring af de 17% kløvergræs der introduceres i sædskiftet, vil beregningen, for at skaffe den biomasse, der tilsættes den gylle der skal forgasses, blive mere fordelagtigt for scenario 3 og 4. (tabel 3).

Tabel 3 Gram CO₂-e / kg korn som kommer fra lattergas emissioner

		1) kvæg-gylle	2) digestat	3) digestat + biomasse	4) beriget digestat + biomasse
	N/ha	60	60	90	90
	udbytte kg/ha	3680	3740	4530	4835
2016	g CO ₂ -e per kg korn	98	96	144	136

	g CO ₂ -e per kg korn*			66	63
2019**	g CO ₂ -e per kg korn	68	66	99	199
	g CO ₂ -e per kg korn*			21	126

* Kulstoflagring inkluderet (450 kg C/ha for kl. græs)

** 2019 (IPCC værdier for lattergas emission differentieres mellem ammonium rig gødning og husdyrgødning, se bilag)

Tabel 4. Nøgletal brugt til beregning af klimagas-effekterne for rå kvæggylle, afgasset kvæggylle, opgraderet blandet gylle med 17% kløvergræs, samt berigelse af kvæggylle og blandingsgyllen.

Parameter	1) Rå kvæggylle	2) Afgasset kvæggylle	3) Afgasset blandingsgylle	4) Beriget blandingsgylle
Kg N/ha	60	60	90	90
Tons gødning/ha	17	17	26	56
Kg NH ₄ -N og NH ₃ -N (TAN***)	35	36	48	70
Udbytte korn	3680	3740	4530	4835
Lattergas EF: (2016)	0,01	0,01	0,01	0,01
(2019)	0,006	0,006	0,006	0,016
Udvaskning %	30	28	30	28
Udvaskning kg N/ha	18	16	27	25
Fordampning Kg NH ₃ -N; 13 % af TAN	3,8	3,9	5,2	7,6
Kg CO ₂ -e/ha ændring relativt (IPCC 2016)	0	-3,7	+179	+183
relativt (IPCC 2019)	-112	-3,7	+122	+549
gCO ₂ -e /kg korn (N ₂ O)				
IPCC 2016	98	96	144	136
IPCC 2019	68	66	99	199

* transport + proces i forhold til ren gylle

** metan til naturgasdistribution

***TAN = total ammonium N

5 KONKLUSION

Afgasning af gylle eller husdyrgødning har en positiv effekt på ammoniakindhold af gødningen, som vil give mindre udvaskning og en bedre starteffekt af afgrøden med dermed tilhørende merudbytte.

Den forhøjede ammoniakfordampning vil delvis modvirke fordelene af disse effekter på drivhusgasemissioner fra lattergas. Tilsættes den mængde husdyrgødning, som er til rådighed på bedriften, ekstra biomasse i form af kløvergræs, som samtidig vil forbedre sædskiftet og jordfrugtbarheden samt mulighed for at regulere ukrudt, så vil der kunne gødes med 30 kg N mere per ha og dertil hørende merudbytter.

Den forhøjede gødningsmængde vil derimod også give en højere lattergas udledning (tabel 4), samt forhøjede ammoniak fordampning. Den berigede digestat vil yderligere forhøje udbyttet, men også ammoniakfordampning. Indregnes den potentielle kulstoflagring af de 17% kl. græs der introduceres i scenario 3 og 4, vil det delvis kunne kompensere de forhøjede drivhusgasemissioner fra lattergas.

IPCC-varslingen for ændring af emissionskoefficienter for lattergas; lavere for husdyrgødning, højere for ammoniumrig gødning, vil yderligere give højere værdier for drivhusgasemissioner per kg produceret korn for anvendelse af beriget digestat.

6 REFERENCER

- Hansen et al., 2008. Hansen M.N., Sommer S.G., Hutchings N.J., Sørensen P. 2008. Emissionsfaktorer til beregning af ammoniakfordampning ved lagring og udbringning af husdyrgødning. DJF Husdyrbrug nr. 84. pp 41.
- Mogensen et al., 2018. Mogensen, L., Trydeman Knudsen, M., Dorca-Preda, T., Ingeman Nielsen, N., Kristensen, I.S., Kristensen, T., 2018. Bæredygtighedsparametre for konventionelle fodermidler til kvæg. DCA rapport nr. 116
- Duan, Y.F., 2017. Xian-Wang Kong, Andreas Schramm, Rodrigo Labouriau, Jørgen Eriksen, Søren O. Petersen. Microbial N Transformations and N₂O Emission after Simulated Grassland Cultivation: Effects of the Nitrification Inhibitor 3,4-Dimeth. Applied and environmental microbiology, 2017, v83
- Subbarano, 2013. G. V. Subbarao, I. M. Rao, K. Nakahara, K. L. Sahrawat, Y. Ando¹ and T. Kawashima. Potential for biological nitrification inhibition to reduce nitrification and N₂O emissions in pasture crop–livestock systems. Animal (2013), 7:s2, pp 322–332
- Sørensen, P. og Børgesen, C.D. 2015. Kvælstofudvaskning og gødningsvirkning ved anvendelse af afgasset biomasse. DCA Rapport 65
- Sørensen, P. 2015, Bioforgasning giver mindre udvaskning og mere N; Bioenergi.dk

7 BILAG IPCC 2019

TABLE 11.1 (UPDATED)					
DEFAULT EMISSION FACTORS TO ESTIMATE DIRECT N ₂ O EMISSIONS FROM MANAGED SOILS					
Emission factor	Aggregated		Disaggregated		
	Default value	Uncertainty range	Disaggregation ⁴	Default value	Uncertainty range
EF ₁ for N additions from synthetic fertilisers, organic amendments and crop residues, and N mineralised from mineral soil as a result of loss of soil carbon ¹ [kg N ₂ O–N (kg N) ^{–1}]	0.010	0.001 – 0.018	Synthetic fertiliser inputs ⁵ in wet climates	0.016	0.013 – 0.019
			Other N inputs ⁶ in wet climates	0.006	0.001 – 0.011
			All N inputs in dry climates	0.005	0.000 – 0.011