Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget

Rådgivningsrapport fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug

Mathias Neumann Andersen[1)] (ed), Elly Møller Hansen[1)], Ingrid Kaag Thomsen[1)], Nicholas John Hutchings[1)], Lars Elsgaard[1)], Uffe Jørgensen[1)], Lars Munkholm[1)], Christen Duus Børgesen[1)], Peter Sørensen[1)], Søren O. Petersen[1)], Poul Erik Lærke[1)], Christian F. Børsting[2)], Peter Lund[2)], Maria Holst Kjeldsen[2)],Morten Maigaard[2)], Trine Michelle Villumsen[3)], Anders Peter Adamsen[4)], Frederik Rask Dalby[4)], Peter Kai[4)], Michael Nørremark[5)], Gitte Blicher-Mathiesen[6)], Joachim Audet[6)], Marianne Bruus[6)], Paul Henning Krogh[6)], Brian Kronvang[6)], Anne Winding[7)], Hanne Lakkenborg Kristensen[8)]

[1)] Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet
[2)] Institut for Veterinær og Husdyrvidenskab, Aarhus Universitet
[3)] Center for Kvantitativ Genetik og Genomforskning, Aarhus Universitet
[4)] Institut for Bio- og Kemiteknologi, Aarhus Universitet
[5)] Institut for Elektro- og Computerteknologi, Aarhus Universitet
[6)] Institut for Ecoscience, Aarhus Universitet
[7)] Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet
[8)] Institut for Fødevarer, Aarhus Universitet

Datablad

Titel:	Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget.
Forfattere:	Mathias Neumann Andersen (ed), Elly Møller Hansen, Ingrid Kaag Thomsen, Nicholas John Hutchings, Lars Elsgaard, Uffe Jørgensen, Lars Munkholm, Christen Duus Børgesen, Peter Sørensen, Søren O. Petersen og Poul Erik Lærke fra Institut for Agroøkologi, AU. Christian F. Børsting, Peter Lund, Maria Holst Kjeldsen og Morten Maigaard fra Institut for Veterinær og Husdyrvidenskab, AU. Trine Michelle Villumsen fra Center for Kvantitativ Genetik og Genomforskning, AU. Anders Peter Adamsen, Frederik Rask Dalby og Peter Kai fra Institut for Bio- og Kemiteknologi, AU. Michael Nørremark fra Institut for Elektro- og Computerteknologi, AU. Gitte Blicher-Mathiesen, Joachim Audet, Marianne Bruus, Paul Henning Krogh, og Brian Kronvang fra Institut for Ecoscience, AU. Anne Winding fra Institut for Miljøvidenskab, AU. Hanne Lakkenborg Kristensen, Institut for Fødevarer, AU. Forfatter(e) er angivet ved de enkelte kapitler.
Fagfællebedømmelse:	Martin Weisbjerg og Peter Løvendal fra Institut for Veterinær og Husdyrvidenskab, AU. Frederik Rask Dalby, Lise Bonne Guldberg, Henrik B. Møller, Anders Peter Adamsen, Anders Feilberg og Peter Kai fra Institut for Bio- og Kemiteknologi, AU. Ingrid K. Thomsen, Elly Møller Hansen og Mathias Neumann Andersen fra Institut for Agroøkologi AU. Brian Kronvang fra Institut for Ecoscience, AU. Fagfællebedømmer er angivet ved de enkelte kapitler.
Kvalitetssikring, DCA:	*foretages efter høringsproces.*
Rekvirent:	Landbrugsstyrelsen, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (FVM)
Dato for bestilling/levering:	08.04.2022 / 04.10.2022 (til høring) / xx.xx.2022 (endelig levering)
Journalnummer:	2021-0205412
Finansiering:	Besvarelsen er udarbejdet som led i "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening" indgået mellem Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (FVM) og Aarhus Universitet under ID nr. 2.29 i "Ydelsesaftale Planteproduktion 2022-2025".
Ekstern kommentering:	Ja (igangværende). Kommentararket kan findes via dette LINK
Eksterne bidrag:	Bilag 3 er sammensat af bidrag fra FVM og AU
Kommentarer til bestilling:	Nærværende rapport er en opdatering af Tabel over klimaeffekter for virkemidler i landbruget (Hutchings et al., 2020 og opdateret i Petersen og Hutchings, 2020).
Kommentarer til besvarelse:	Rapporten præsenterer resultater, som ved udgivelsen ikke har været i eksternt peer review eller er publiceret andre steder. Ved en evt. senere publicering i tidsskrifter med eksternt peer review vil der derfor kunne forekomme ændringer.

Citeres som:	*Efternavn forbogstaver. År. Titel på notatet. Antal sider sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: dato.*
Rådgivning fra DCA:	Læs mere på https://dca.au.dk/raadgivning/

Indholdsfortegnelse

1 Forord **11**

2 Sammendrag **12**

3 Summary in English **16**

4 Indledning **18**

4.1 Emissionsfaktorer, referencescenarier og beregningsmetoder 18

4.1.1 Husdyrproduktion og husdyrgødning 19

Referencer 24

4.1.2 Afgrødeproduktion og arealanvendelse 25

4.2 Potentiale og muligheder for reduktion af drivhusgasser 28

4.2.1 Husdyrproduktion 28

4.2.2 Husdyrgødning 29

4.2.3 Afgrødeproduktion 29

4.2.4 Arealanvendelse 30

5 Husdyrproduktion **33**

5.1 Generelle ændringer i foderrationen (KVM5.1) 33

Anvendelse 36

Relevans og potentiale 37

Effekt på drivhusgasudledning og sideeffekter 37

Samspil til andre virkemidler 38

Usikkerheder 38

Øget fodring med fedt til kvæg (KVM5.2) 38

Anvendelse 39

Relevans og potentiale 40

Effekt på drivhusgasudledning 40

Samspil til andre virkemidler 41

Usikkerheder 42

Anvendelse af metanreducerende tilsætningsstoffer i foder til kvæg (KVM5.3) 44

Anvendelse 45

Relevans og potentiale 45

Effekt på drivhusgasudledning 45

Samspil til andre virkemidler 48

Usikkerheder 49

Genetisk selektion af malkekvæg (KVM5.4) 51

Anvendelse 55

Relevans og potentiale 55

113 Effekt på drivhusgasudledning 56
114 Samspil til andre virkemidler 57
115 Usikkerheder 57

116 **Husdyrgødning 59**
117 Hyppig udslusning af gylle fra stalde 60
118 Anvendelse 61
119 Relevans og potentiale 61
120 Effekt på drivhusgasudledning 63
121 Samspil til andre virkemidler 65
122 Usikkerheder 66
123 Referencer 67
124 Forsuring af gylle i stalden 69
125 Anvendelse 69
126 Relevans og potentiale 71
127 Effekt på drivhusgasudledning 72
128 Samspil til andre virkemidler 73
129 Usikkerheder 74
130 Køling af gylle i grisestalde 76
131 Anvendelse 77
132 Relevans og potentiale 78
133 Effekt på drivhusgasudledning 80
134 Samspil til andre virkemidler 85
135 Usikkerheder 85
136 Lav-dosis forsuring i gyllelagre 87
137 Anvendelse 88
138 Relevans og potentiale 88
139 Effekt på drivhusgasudledning 88
140 Samspil til andre virkemidler 89
141 Usikkerheder 90
142 Gylle og bioforgasning (reference for hyppig udslusning af gylle og bioforgasning) 90
143 Anvendelse 91
144 Relevans og potentiale 91
145 Effekt på drivhusgasudledning 91
146 Samspil til andre virkemidler 93
147 Usikkerheder 93
148 Opsamling af gas i gyllelagre og afbrænding 94
149 Anvendelse 94
150 Relevans og potentiale 94
151 Effekt på drivhusgasudledning 95
152 Samspil til andre virkemidler 95

153 Usikkerheder 95
154 Overdækning af gylletanke med ventileret flydelag 96
155 Anvendelse 97
156 Relevans og potentiale 97
157 Effekt på drivhusgasudledning 98
158 Samspil til andre virkemidler 99
159 Usikkerheder 99
160 Afbrænding af husdyrgødning (fiberfraktion efter separering) 100
161 Anvendelse 100
162 Relevans og potentiale 101
163 Effekt på drivhusgasudledning 104
164 Samspil til andre virkemidler 108
165 Usikkerheder 109
166 Vidensbehov 109
167 Hyppig udslusning af gylle fra stalde og bioforgasning 110
168 Anvendelse 110
169 Relevans og potentiale 110
170 Effekt på drivhusgasudledning 110
171 Samspil til andre virkemidler 111
172 Usikkerheder 112
173 Hyppig udslusning af gylle fra stalde og overdækning af gylletanke med ventileret flydelag 112
174 Anvendelse 112
175 Relevans og potentiale 112
176 Effekt på drivhusgasudledning 112
177 Samspil til andre virkemidler 113
178 Usikkerheder 113
179 Hyppig udslusning af gylle fra stalde og opsamling af gas i gyllelagre og afbrænding 114
180 Anvendelse 114
181 Relevans og potentiale 114
182 Effekt på drivhusgasudledning 114
183 Samspil til andre virkemidler 115
184 Usikkerheder 115
185 Hyppig udslusning af gylle og lavdosis forsuring i lageret 116
186 Anvendelse 116
187 Relevans og potentiale 116
188 Effekt på drivhusgasudledning 116
189 Samspil til andre virkemidler 116
190 Usikkerheder 116
191 Køling af svinegylle i stalde og bioforgasning 117
192 Anvendelse 117

193 Relevans og potentiale ... 117
194 Effekt på drivhusgasudledning ... 117
195 Samspil til andre virkemidler ... 117
196 Usikkerheder ... 118

197 **7 Afgrødeproduktion ... 119**
198 7.1 Efterafgrøder (KVM7.1) ... 119
199 7.1.1 Anvendelse ... 119
200 7.1.2 Relevans og potentiale ... 120
201 7.1.3 Effekt på drivhusgasudledning ... 120
202 7.1.4 Samspil til andre virkemidler ... 123
203 7.1.5 Usikkerheder ... 123
204 7.2 Mellemafgrøder (KVM7.2) ... 125
205 7.2.1 Anvendelse ... 125
206 7.2.2 Relevans og potentiale ... 125
207 7.2.3 Effekt på drivhusgasudledning ... 126
208 7.2.4 Samspil til andre virkemidler ... 126
209 7.2.5 Usikkerheder ... 126
210 7.3 Tidlig såning af vintersæd (KVM7.3) ... 127
211 7.3.1 Anvendelse ... 127
212 7.3.2 Relevans og potentiale ... 127
213 7.3.3 Effekt på drivhusgasudledning ... 128
214 7.3.4 Samspil til andre virkemidler ... 128
215 7.3.5 Usikkerheder ... 128
216 7.4 Nedmuldning af halm før vintersæd (KVM7.4) ... 129
217 7.4.1 Anvendelse ... 129
218 7.4.2 Relevans og potentiale ... 130
219 7.4.3 Effekt på drivhusgasudledning ... 130
220 7.4.4 Samspil til andre virkemidler ... 130
221 7.4.5 Usikkerheder ... 130
222 7.5 Halm til forgasning (pyrolyse) med biochar retur (KVM7.5) ... 131
223 7.5.1 Anvendelse ... 131
224 7.5.2 Relevans og potentiale ... 132
225 7.5.3 Effekt på drivhusgasudledning ... 132
226 7.5.4 Samspil til andre virkemidler ... 134
227 7.5.5 Usikkerheder ... 134
228 7.6 Braklægning i sædskiftet (KVM7.6) ... 136
229 7.6.1 Anvendelse ... 137
230 7.6.2 Relevans og potentiale ... 137
231 7.6.3 Effekt på drivhusgasudledning ... 138
232 7.6.4 Samspil til andre virkemidler ... 139

7.6.5 Usikkerheder ... 139
7.7 Ompløjningstidspunkt for fodergræs og efterfølgende afgrødevalg (KVM7.7) ... 140
7.7.1 Anvendelse ... 141
7.7.2 Relevans og potentiale ... 142
7.7.3 Effekt på drivhusgasudledning ... 142
7.7.4 Samspil til andre virkemidler ... 142
7.7.5 Usikkerheder ... 142
7.8 Flerårige energiafgrøder i sædskiftet (KVM7.8) ... 143
7.8.1 Anvendelse ... 143
7.8.2 Relevans og potentiale ... 144
7.8.3 Effekt på drivhusgasudledning ... 144
7.8.4 Samspil til andre virkemidler ... 145
7.8.5 Usikkerheder ... 145
7.9 Pløjefri dyrkning og forbud mod jordbearbejdning i visse perioder (KVM7.9) ... 147
7.9.1 Anvendelse ... 148
7.9.2 Relevans og potentiale ... 148
7.9.3 Effekt på drivhusgasudledning ... 149
7.9.4 Samspil til andre virkemidler ... 150
7.9.5 Usikkerheder ... 150
7.10 Præcisionsjordbrug (KVM7.10) ... 152
7.10.1 Anvendelse ... 152
7.10.2 Relevans og potentiale ... 153
7.10.3 Effekt på drivhusgasudledning ... 154
7.10.4 Samspil til andre virkemidler ... 158
7.10.5 Usikkerheder ... 159
7.11 Reduceret kvælstofnorm (KVM7.11) ... 162
7.11.1 Anvendelse ... 162
7.11.2 Relevans og potentiale ... 162
7.11.3 Effekt på drivhusgasudledning ... 166
7.11.4 Samspil til andre virkemidler ... 167
7.11.5 Usikkerheder ... 167
7.12 Større opbevaringskapacitet af husdyrgødning og ændringer i forbud mod udbringning af husdyrgødning om efteråret (KVM7.12) ... 169
7.12.1 Anvendelse ... 169
7.12.2 Relevans og potentiale ... 170
7.12.3 Effekt på drivhusgasudledning ... 171
7.12.4 Samspil til andre virkemidler ... 172
7.12.5 Usikkerheder ... 172
7.13 Afgrøder med stort kvælstofoptag (KVM7.13) ... 172
7.13.1 Anvendelse ... 172
7.13.2 Relevans og potentiale ... 173

274 7.13.3 Effekt på drivhusgasudledning ... 173
275 7.13.4 Samspil til andre virkemidler ... 175
276 7.13.5 Usikkerheder ... 175
277 7.14 Skærpet udnyttelseskrav for N i udvalgte typer husdyrgødning (KVM7.14) ... 176
278 7.14.1 Anvendelse ... 176
279 7.14.2 Relevans og potentiale ... 178
280 7.14.3 Effekt på drivhusgasudledning ... 179
281 7.14.4 Samspil til andre virkemidler ... 179
282 7.14.5 Usikkerheder ... 180
283 7.15 Nitrifikationsinhibitorer (KVM7.15) ... 180
284 7.15.1 Anvendelse ... 180
285 7.15.2 Relevans og potentiale ... 181
286 7.15.3 Effekt på drivhusgasudledning ... 181
287 7.15.4 Samspil til andre virkemidler ... 183
288 7.15.5 Usikkerheder ... 183
289 7.15.6 Sideeffekter ... 184
290 7.15.7 Sammenfatning ... 187

291 **8 Arealanvendelse ... 191**
292 8.1 Udtag af omdriftsareal til permanent ugødet brak (KVM8.2) ... 191
293 8.1.1 Anvendelse ... 191
294 8.1.2 Relevans og potentiale ... 191
295 8.1.3 Effekt på drivhusgasudledning ... 192
296 8.1.4 Samspil til andre virkemidler ... 194
297 8.1.5 Usikkerheder ... 194
298 Randzoner på mineraljord (KVM8.2) ... 195
299 8.2.1 Anvendelse ... 195
300 8.1.2 Relevans og potentiale ... 195
301 Effekt på drivhusgasudledning ... 196
302 Samspil til andre virkemidler ... 196
303 Usikkerheder ... 196
304 8.2 Paludikultur (KVM8.4) ... 197
305 8.2.1 Anvendelse ... 197
306 8.2.2 Relevans og potentiale ... 198
307 8.2.3 Effekt på drivhusgasudledning ... 200
308 8.2.4 Samspil til andre virkemidler ... 200
309 8.2.5 Usikkerheder ... 201
310 8.3 Vådområder på mineral jord (KVM8.5) ... 203
311 8.3.1 Anvendelse ... 203
312 8.3.2 Relevans og potentiale ... 203
313 8.3.3 Effekt på drivhusgasemission ... 203

8.3.4 Samspil til andre virkemidler 204
8.3.5 Usikkerheder 205

Konklusioner, igangværende projekter og vidensbehov 207
Husdyrproduktion 209
Forskningsbehov 209
Husdyrgødning 210
Forskningsbehov 210
Afgrødeproduktion 210
Forskningsbehov 212
Igangværende projekter husdyrproduktion 214
Igangværende projekter husdyrgødning 219
Igangværende projekter afgrødeproduktion 232

1 Forord

Udledningerne af drivhusgasser fra landbruget inklusive arealanvendelse forventes at falde til 13,7 mio. ton CO_2-ækv i 2030, men vil ikke desto mindre udgøre henved 40 % og en stigende andel af Danmarks samlede udledninger på grund af større reduktioner i andre sektorer[1]. Som en del af energiaftalen fra 2018, har det danske folketing besluttet at Danmark skal arbejde frem mod en netto-nul udledning af drivhusgasser i EU og Danmark i senest i 2050, dvs. et klimaneutralt samfund. På den kortere bane ønskes udledningen af drivhusgasser reduceret med 70% i 2030 set i forhold til niveauet i 1990 i henhold til Klimaloven af 2020[2] vedtaget af et bredt flertal i folketinget. Som en del af EU's klima- og energipolitik har EU-kommissionen endvidere tildelt Danmark et reduktionsmål på 39 % i forhold til niveauet i 2006 for de ikke-kvotebelagte sektorer, som landbruget udgør en del af. Endeligt har et bredt flertal af folketingets partier i 2021 indgået en Aftale om grøn omstilling af dansk landbrug[3], der fastsætter et bindende reduktionsmål for land- og skovbrugssektorens drivhusgasudledninger på 55-65 %. ift. 1990-udledningen svarende til, at land- og skovbrugssektorens drivhusgasudledninger skal nedbringes med ca. 6,1-8,0 mio. t. CO_2-ækv i 2030. I aftalen vurderes, at der pt. er for få virkemidler til rådighed og at paletten derfor skal udvides med inddragelse af nye teknologier og løsninger. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri har derfor bedt DCA om en oversigt og vurdering af mulige virkemidler til reduktion af drivhusgasudledningerne inden for landbruget.

I nærværende rapport gives en oversigt over en række potentielle tiltag til reduktion af landbrugets udledninger, og effekter, potentialer og barrierer beskrives og vurderes. Der er en lang række af mulige virkemidler inden for landbruget. Disse er kendetegnet ved alle at indeholde et større eller mindre element af biologiske processer, som typisk er vanskeligere at kvantificere og styre og har større usikkerhed forbundet med udfaldet end rent tekniske løsninger. Denne usikkerhed forsøges beskrevet sammen med teknologiernes udviklingsstade og fremtidige muligheder for forbedringer. Det er intentionen, at nærværende rapport skal være dynamisk og opdateres årligt. Der er derfor inkluderet en oversigt over mulige nye virkemidler i bilag 3 til rapporten.

Foulum, oktober 2022

Mathias Neumann Andersen

Professor, Aarhus Universitet, Institut for Agroøkologi

[1] https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Basisfremskrivning/kf22_-_samlet_rapport.pdf

[2] https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2020/965

[3] https://fm.dk/media/25215/aftale-om-groen-omstilling-af-dansk-landbrug.pdf

2 Sammendrag

I forbindelse med EU's 2030 målsætning om reduktion af klimagasudslip og aftalen om grøn omstilling af dansk landbrug ønskes et opdateret vidensgrundlag over mulige virkemidler til reduktion af drivhusgasudledninger inden for landbruget. Rapporten giver en oversigt over effekter, potentiale, usikkerhed og barrierer af en række virkemidler, der kan bidrage til dette. Rapporten bygger på tidligere opgørelser (Olesen et al., 2018; Hutchings et al., 2020).

Der er mange forskellige kilder til drivhusgasser fra landbruget. De største bidrag kommer fra metan og lattergas, bl.a. fordi disse drivhusgasser har hhv. 25 og 298 gange kraftigere drivhuseffekt end kuldioxid. For at lette sammenligningen af udledningen af alle typer drivhusgasser, omregner man mængden af andre drivhusgasser til den mængde af CO_2, som over 100 år ville give samme drivhuseffekt – den såkaldte CO_2-ækvivalent (CO_2-ækv). I tillæg er lavet en særskilt opgørelse af ændringer i jordens indhold af kulstof, hvor øget kulstoflagring eller mindskede udslip vil reducere CO_2-belastningen. En øget kulstoflagring vil ikke umiddelbart bidrage til opfyldelse af Danmarks reduktionsforpligtigelse, da der er et loft over brugen af LULUCF-kreditter, hvorunder kulstoflagring i landbrugsjord indgår. Endvidere indregnes brændstofbesparelser i landbruget eller i transportsektoren (fra øget brug af biogas) som reduktion af CO_2-udledninger.

Virkemidlerne til reduktion af landbrugets drivhusgasudledning er i rapporten opdelt på tiltag omkring 1) Husdyrproduktion, 2) Husdyrgødning, 3) Afgrødeproduktion, og 4) Arealanvendelse. Effekterne af tiltagene er som udgangspunkt beregnet for hvert enkelt tiltag alene, uden hensyntagen til eventuelle samspil med andre effekter. Dog er der beskrevet kædeeffekter ved samtidig eller sekventiel anvendelse af en række teknologier til håndtering af husdyrgødning. Generelt kan de angivne værdier for drivhusgasreduktion imidlertid ikke umiddelbart summeres.

De tiltag, der er nævnt i rapporten, varierer betydeligt i deres effekter og sideeffekter. Desuden vil der være stor variation i deres omkostningseffektivitet. For at et virkemiddel skal være relevant, skal det have en betydende effekt på de samlede udledninger, det skal kunne implementeres i praksis uden væsentlige negative sideeffekter og være økonomisk konkurrencedygtigt. Endelig skal effekten være veldokumenteret, så det kan inkluderes i den nationale emissionsopgørelse (Olesen et al, 2018).

I tabel 2.1 er reduktionen ved implementering af de mest effektive virkemidler inden for de fire kategorier beregnet ud fra aktivitetsdata fra basisfremskrivningen 2020 (Energistyrelsen, 2020) og Feilberg et (2022). Disse kilder indeholder den forventede udvikling i arealanvendelse, husdyrhold og virkemidler. Effekterne afhænger af hvordan de enkelte tiltag sammensættes; således fås den største effekt af biogas, hvis det kombineres med hyppig udslusning.

Tabel 2.1 Reduktionspotentialet for drivhusgasser ved brug af udvalgte virkemidler opgjort i kt CO_2-ækv/år i 2030 for tiltag opgjort ud fra basisfremskrivningen (2020) og Feilberg et al. (2022). Nogle af virkemidlerne er opgjort for forskellige grupper af dyr eller typer af husdyrgødning. Reduktion i udledningerne er beregnet som den samlede effekt af reduktion i lattergas og metan, øget kulstoflagring og reduktion af fossil energi i landbrug og transport. Desuden er det anført om virkemidlet umiddelbart kan indgå i den nationale emissionsopgørelse, samt om der er væsentlige tekniske, miljømæssige og sundhedsmæssige barrierer for implementeringen.

Virkemiddel	Reduktion i alt	Emissions-opgørelse	Væsentlige barrierer
Husdyrproduktion			
Anvendelse af metanreducerende tilsætningsstoffer i foder til kvæg	724	Ja	Nej
Generelle ændringer i foderrationen	165	Ja	Nej
Øget fodring med fedt til kvæg	155	Ja	Nej
Husdyrgødning			
Forsuring af gylle i stalden	1.470	Nej	Nej
Bioforgasning af gylle	1.864[2]	Ja	Nej
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og bioforgasning	1.847[2]	Nej	Ja
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og lavdosis forsuring i gyllelagre	1.410	Nej	Ja
Afgrødeproduktion			
Efterafgrøder (1 mio. ha)	900	Ja	Nej
Halm til forgasning (pyrolyse) med biochar retur (100.000 ha)	200	Ja	Ja
Afgrøder med høj N-optagelse (500.000 ha)	350	Ja	Ja
Nitrifikationshæmmere til husdyrgødning+handelsgødning	568	Ja	Nej[1]
Arealanvendelse			
Randzoner på mineraljord (100.000 ha)	280	Ja	Nej

[1]Der kan i forbindelse med anvendelse af nitrifikationshæmmere være effekter på økotoksikologi og udvaskning af tilsætnings- og nedbrydningsprodukter til grundvand, som bør afklares inden udbredt anvendelse. Kvælstofindhold i husdyrgødning estimeret fra Børsting et al. (2021). [2]I beregningen af potentialerne antages at alt gylle kan afgasses, hvorimod ikke alt gylle kan udsluses hyppigt før det afgasses – kun i nye stalde. Reduktionen af drivhusgasemissionen pr ton gylle er imidlertid højere ved sidstnævnte kombination (bilag 1: ca. 105 mod ca. 65 kg CO_2-ækv/ton gylle)

Af tabel 2.1 fremgår, at der er et betydeligt potentiale for reduktion af udledningen af drivhusgasser fra landbruget ved implementering af en række af de mest effektive virkemidler. Mange af disse kræver dog investeringer i f.eks. stalde med gyllekøling eller hyppig udslusning, udbygning af bioforgasningskapacitet,

nye teknologier som pyrolyseanlæg og bioraffineringsanlæg, hvor økonomien stadig er usikker. En fuldstændig liste over de i rapporten inkluderede virkemidler og deres potentiale kan findes i afsnit 9.

Det fremgår af tabellen at selvom tiltagene ikke nødvendigvis kan kombineres, er der et potentiale for reducerede udledninger på 4-5 mill. ton CO_2-ækv hvortil kommer de øvrige virkemidler, der er omtalt i rapporten. Altså en betydelig mulig reduktion af de totale udledninger fra landbrugssektoren på 13,7 mill. ton CO_2-ækv, som dog ikke lever op til de tidligere nævnte politiske målsætninger.

De fleste af virkemidlerne vil umiddelbart kunne indgå i den nationale emissionsopgørelse. Der er dog for en del af virkemidlerne behov for yderligere dokumentation af tiltagets effekt på emissionerne. Dette gælder bl.a. for brugen af nitrifikationshæmmere til gødning, nitrat i foderet og forsuring/køling af gyllen. Der vil desuden være behov for bedre indsamling af aktivitetsdata til opgørelse af effekterne i den nationale opgørelse og sidst men ikke mindst i forbindelse med bedriftsregnskaber. Dette gælder for en række tiltag fx brug af hyppig udslusning gylle, forsuring af gylle og overdækning af gyllebeholder, hvor der er brug for oplysninger om hvilke kombinationer af tiltag landbrugene anvender, fx hvorvidt flydelag kombineres med overdækning. Såfremt mere præcise og differentierede emissionsfaktorer kan estimeres, vil kravene til og omfanget af indsamling af aktivitetsdata ofte øges. Dette kunne fx være staldtemperatur, gylletemperatur eller satellitdata og klimaforhold i forbindelse med afgrødevækst og markoperationer. Generelt er der således behov for bedre opgørelse af omfanget samt bedre specifikation af anvendelsen af de forskellige teknologier, hvis en række tiltag retvisende skal kunne indgå i den nationale opgørelse.

Det fremgår, at de største emissionsreduktioner opnås gennem teknologiske løsninger til reduktion af landbrugets udledninger og kombinationer af disse. Disse teknologier skal dog tænkes sammen med de mange andre målsætninger for landbrugets produktion og miljøpåvirkninger. Der er gode eksempler på synergier. Generelt vil virkemidler til reduktion af N-udvaskningen have en positiv effekt via mindsket indirekte udledning af lattergas og ofte mindre behov for N-tilførsel i gødning, og dermed nedsat direkte udledning. Nitrifikationshæmmere kan være med til at reducere nitratudvaskning i forårsperioden og forsuring af gyllen reducerer ammoniakfordampning. Også på disse områder er der dog brug for mere viden og bedre kortlægning.

Analysen understreger at der også fremover være et stort behov for yderligere forskning i reduktion af landbrugets klimagasser. Dette gælder både med hensyn til nye driftsformer og teknologier med lavere udslip, men også i høj grad med hensyn til bedre kvantificering af de aktuelle udslip og dokumentation af effekter af allerede tilgængelige virkemidler. For en række af de virkemidler, der indgår i dette katalog, vil der være brug for yderligere forskning og dokumentation, før de kan indgå som en del af den danske nationale emissionsopgørelse. Det gælder f.eks. for Anvendelse af metanreducerende tilsætningsstoffer i foder til kvæg, forsuring af gylle i stalden til reduktion af metanudledning og anvendelse af nitrifikationshæmmere til reduktion af lattergasudledning. Teknologier som præcisionsjordbrug og anvendelse af biochar er langtfra færdigudviklede og forventes at kunne bidrage væsentlig mere til at nedbringe udledningerne end det

er tilfældet i dag. I kapitel 9 i rapporten er igangværende projekter til at kvantificere effekten af såvel nye som kendte virkemidler kort beskrevet og en række nye forskningsbehov identificeret.

Referencer:

Børsting, C.F. (Red.), Hellwing, A.L.F., Sørensen, M.T., Lund, P., van der Heide, M., Møller, S.H., Kai, P., Nyord, T., Aaes, O., Clausen E., Tybirk, P., Holm, M., Hansen, M.N., Jensen, H.B., Bækgaard, H. (2021) Normtal for husdyrgødning. DCA Rapport 191 • DECEMBER 2021 • RÅDGIVNING

Energistyrelsen, 2020. Basisfremskrivning 2020 – Danmarks Klima- og Energifremskrivning.

Feilberg, A., Adamsen, A. P. S., & Petersen, S. O., (2022). Afrapportering fra opstart seminar vedr. udviklingstiltag til gylle- og gødningshåndtering, No. 2022-0334060, 28 p., Feb 08, 2022. Rådgivningsnotat fra DCA – National Center for Fødevarer og Jordbrug

Hutchings, N., Lærke, P. E., Munkholm, L. J., Elsgaard, L., Kristensen, T., Rasmussen, J., Lund, P., Børsting, C. F., Løvendahl, P., Mikkelsen, M. H., Albrektsen, R., Gyldenkærne, S., Møller, H. B., Hansen, M. J., Feilberg, A., & Adamsen, A. P. S., (2020). Opdatering af effekter og potentialer af klimavirkemidler til anvendelse i landbrug, Nr. 2019-0035910, 23 s., mar. 02, 2020.

Olesen, J.E., Petersen, S.O., Lund, P., Jørgensen, U., Kristensen, T., Elsgaard, L., Sørensen, P., Lassen, J. (2018). Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget. DCA rapport, nr. 130, bind 130, DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, <http://web.agrsci.dk/djfpublikation/index.asp?action=show&id=1273>

3 Summary in English

In connection with the EU's 2030 target for the reduction of greenhouse gas emissions and the agreement on the green transformation of Danish agriculture, an updated knowledge base is desired on possible means of reducing greenhouse gas emissions within agriculture. This report provides an overview of the effects, potentials, uncertainty and barriers of a number of measures that can contribute to this. The report is based on previous assessments (Olesen et al., 2018; Hutchings et al., 2020).

There are many different sources of greenhouse gases from agriculture. The largest contributions come from methane and nitrous oxide, i.a. because these greenhouse gases have respectively 25 and 298 times stronger greenhousegas effects than carbon dioxide. To facilitate the comparison of the emissions of all types of greenhouse gases, the amount of other greenhouse gases is converted to the amount of CO_2 that would produce the same greenhouse effect over 100 years - the so-called CO_2 equivalent (CO_2-eq). In addition, a separate calculation of changes in the soil's carbon content has been made, where increased carbon storage or reduced emissions will reduce the CO_2 load. Increased carbon storage will not immediately contribute to fulfilling Denmark's reduction obligation, as there is a ceiling on the use of LULUCF credits, under which carbon storage in agricultural land is included. Furthermore, fuel savings in agriculture or in the transport sector (from increased use of biogas) are recognized as a reduction in CO_2 emissions.

The means of reducing agriculture's greenhouse gas emissions are divided in the report into initiatives around 1) Livestock production, 2) Livestock manure, 3) Crop production, and 4) Land use. The effects of the measures are basically calculated for each individual measure alone, without taking into account possible interactions with other effects. However, chain effects have been described with the simultaneous or sequential use of a number of technologies for handling livestock manure. In general, however, the stated values for greenhouse gas reductions cannot be simply summed up.

The measures mentioned in the report vary considerably in their effects and side effects. Furthermore, there will be great variation in their cost-effectiveness. For a measure to be relevant, it must have a significant effect on total emissions, it must be able to be implemented in practice without significant negative side effects and be economically competitive. Finally, the effect must be well documented so that it can be included in the national emissions inventory (Olesen et al, 2018).

In table 2.1, the reduction by implementing the most effective measures within the four categories is calculated based on activity data from the base projection 2020 (Energistyrelsen, 2020) and Feilberg et al (2022). These sources contain the expected development in land use, livestock and means of action. The effects depend on how the individual measures are put together; thus, the greatest effect of biogas is obtained if it is combined with frequent venting.

Table 2.1 The reduction potential for greenhouse gases using selected measures calculated in kt CO_2-eq/year in 2030 for measures calculated based on the Basisfemskrivningen (2020) and Feilberg et al. (2022). Some of the measures are calculated for different groups of animals or types of livestock manure. Reduction in emissions is calculated as the total effect of reduction in nitrous oxide and methane, increased carbon storage and reduction of fossil energy in agriculture and transport. In addition, it is stated whether the measure can immediately be included in the national emissions inventory, as well as whether there are significant technical, environmental and health barriers to implementation.

Greenhousegas **Reduction measure**	**Reduction in total**	**Emissions-inventory**	**Significant barriers**
Animal husbandry			
Use of metan-reducing additives in feed to cattle	724	Yes	Noj
General changes in the feed ration	165	Yes	No
Increased feeding of fat to cattle	155	Yes	No
Animal manure			
Acidification of slurry in the stable	1.470	No	No
Biogasification of slurry	1.864[2]	Yes	No
Frequent flushing of slurry from stables and Biogasification	1.847[2]	Nej	Yes
Frequent flushing of slury from stables and low dosis acidification in slurry tanks	1.410	No	Yes
Crop husbandry			
Catch crops (1 mio. ha)	900	Yes	No
Straw for pyrolysis with biochar returned to field (100.000 ha)	200	Yes	Yes
Crops with high N-uptake (500.000 ha)	350	Yes	Yes
Nitrifications inhibitors to slurry and fertilizer	568	Yes	No[1]
Land use			
Randzoner on arable soilsmineraljord (100.000 ha)	280	Yes	No

4 Indledning

Forfatter(e): Nick Hutching, Institut for Agroøkologi; Frederik Rask Dalby, Anders Peter Adamsen, Institut for Bio- og Kemiteknologi

Fagfællebedømmer(e): Mathias Neumann Andersen, Institut for Agroøkologi

Formålet med denne rapport er at beskrive en række virkemidler til reduktion af landbrugets udledning af drivhusgasser og kvantificere effekten. Virkemidlerne er opdelt på tiltag omkring 1) Husdyrproduktion, 2) Husdyrgødning, 3) Afgrødeproduktion, og 4) Arealanvendelse.

I rapporten vurderes potentialet for implementering af en række virkemidler til reduktion af landbrugets drivhusgasudledning frem til 2030. Effekterne af tiltagene er beregnet for hvert enkelt tiltag alene, uden hensyntagen til eventuelle samspil med andre effekter, og de angivne værdier for drivhusgasreduktion kan derfor ikke umiddelbart summeres. For opgørelse af tiltag til behandling af husdyrgødning (gylle) er der dog beskrevet en række kombinationer og kædebetragtninger. Nogle af tiltagene vil kunne summeres, mens andre vil interagere med hinanden. For de øvrige tiltag er effekterne opgjort med og uden kulstof-lagring i jord og vegetation. For en række af tiltagene er energiforbrug og substitution af fossil energi (fra biogas) også indregnet.

De nævnte virkemidler, og deres effekt på drivhusgasemissionen, afspejler et realistisk muligt, men konservativt bud på udbredelsen af de valgte virkemidler, ligesom vurderingerne er baseret på de nuværende rammevilkår omkring landbrugsproduktionen.

4.1 Emissionsfaktorer, referencescenarier og beregningsmetoder

Med mindre andet er angivet, er samtlige beregnede klimagasudledninger anført som årlige værdier. Der er her benyttet de ældre IPCC (2006) AR4 guidelines for emissionsberegninger samt opvarmningseffekter af metan og lattergas svarende til 25 og 298 gange CO_2 over en 100-årig horisont. Disse opvarmningseffekter er under konstant revision i forbindelse med IPCC's vurderingsrapporter fx AR5 (IPCC, 2014) og AR6 (IPCC, 2021), men er i denne rapport fastsat til de samme værdier som der anvendes i den nationale emissionsopgørelse dvs AR4. Beregninger i henhold til både AR4, AR5 og AR6 kan findes i bilag 1. I tabel 4.1 er angivet værdierne af de såkaldte Global Warming Potentials (GWP-100) i 100-årigt perspektiv for de vigtigste landbrugsrelaterede klimagasser i henhold til de seneste tre IPCC assessment reports.

Tabel 4.1 Global warming potentials i 100 årigt perspektiv i henhold til AR4 (IPCC2006), AR5 (IPCC, 2014) og AR6 (IPCC, 2021).

Drivhusgas	AR4	AR5	AR6
CO_2	1	1	1
CH_4	25	28	27
N_2O	298	265	273

De anvendte emissionsfaktorer og beregnede kulstoflagringer dækker over en stor variation i praksis afhængig af bl.a. jordbunds- og vejrforhold. For nogle situationer, hvor fx en lille nettoeffekt fremkommer som en differens mellem to eller flere store bidrag, er der særligt store usikkerheder forbundet med de beregnede udledninger, og hermed også til effekter af tiltag til emissionsreduktioner. Usikkerhederne er kort beskrevet under de enkelte tiltag, hvor dette har betydning for opgørelsen af tiltagets virkning. Beregningsmetoderne er uddybende beskrevet i bilag 2.

Kvantificeringen af klimavirkemidlernes effekt bygger på det omtalte sæt af retningslinjer udarbejdet af IPCC, men er derudover også afhængige af hvilken situation, der tages udgangspunkt i, den såkaldte referencesituation. I det følgende gøres kort rede for hvilken referencesituation, der er anvendt for de forskellige kategorier af virkemidler og hvordan effekterne er beregnet. En mere fyldestgørende beskrivelse kan findes i bilag 2.

4.1.1 Husdyrproduktion og husdyrgødning

Forfatter: Anders Peter Adamsen og Frederik Rask Dalby, Institut for Bio- og Kemiteknologi

Fagfællebedømmer: Anders Feilberg, Institut for Bio- og Kemiteknologi

For hver teknologi (klimavirkemiddel) er der valgt et referencesystem, som klimaeffekten relateres til. For deciderede teknologier, fx gyllekøling eller hyppig udslusning af gylle, er referencesystemerne tilsvarende stalde uden gyllekøling eller med udslusning ved en gyllehøjde på ca. 35 cm. Der er i enkelte tilfælde også sammenlignet staldsystemer f.eks. ved malkekøer, selvom et staldsystem som sådan ikke er en teknologi, der uden videre kan implementeres. Dette er for at vise potentialerne og kan bruges til fremtidige valg af staldsystemer der både har lav emissioner af af ammoniak og klimagasser.

Potentialet af en teknologi er nu vurderet ud fra udbredelsen af teknologien i et given staldsystem eller lager, en vurdering af maksimal udbredelse, samt udbredelsen af det pågældende staldsystem. Den grundlæggende enhed er mængden af udskilt organisk stof (kaldet VS efter flygtig stof, på dansk glødetab, på engelsk Volatile Solids) fra dyrene. Dette benyttes til at estimere metanproduktionen. For at estimere ammoniakemissionen, som er kilde til den såkaldte indirekte lattergasproduktion regnes der også i gylle-

mængder. I den seneste klimavirkemiddeltabel anvendes der en gennemsnitlig svine- og kvæggylle, hvilket var tilstrækkeligt tidligere. I de sidste par år har der været stor fokus på hyppig (ugentlig eller oftere) udslusning af gylle, som er blevet modelleret på staldtypeniveau.

I forbindelse med de mere detaljerede beregninger, så har det været nødvendigt at definere referencesituationer mere præcist. For teknologier som hyppig udslusning er det let, idet referencen er udslusning ved maksimal acceptabel gyllehøjde eller efter afslutning af et hold. Det samme med gyllekøling, hvor referencen er tilsvarende stald uden gyllekøling. For teknologier som omfatter staldtyper, er det mere kompliceret. Et staldsystem til kvæg med spalter og med gylle opbevaret i en ringkanal har en væsentlig højere emission af metan end stalde med fast gulve og hyppig skrabning hen til en tværkanal. Men her er der tale om forskellige staldtyper, som ikke umiddelbart kan ændres.

Det er forsøgt at opgive klimaeffekterne i CO_2-ækv. per ton gylle. I de fleste beregninger er der anvendt ton gylle ab dyr, hvor vandspild og vaskevand ikke indgår. Mængden af gylle varierer mellem ab dyr, ab stald, hvor strøelse, vandspild og vaskevand medregnes, og endelig ab lager, hvor der ved lagre uden vandtæt overdækning også opsamles regnvand og der sker en fordampning.

Ved emissioner af klimagasser fra stalde og lagre er den direkte emission af metan langt den vigtigste klimagas. I nogle af de efterfølgende teknologier er eksempelvis emissioner af indirekte lattergas (dannet fra ammoniak) eller klimagasser til produktion af mineralsk gødning medtaget.

Klimaeffekten er beregnet ud fra IPCC AR4 værdier over en 100-årig periode. Da metan er en gas med en relativ kort levetid i atmosfære (ca. 12 år), så er effekten af at reducere metan på kort sigt langt højere end effekten for lattergas eller CO_2. Det understreger vigtigheden af at fokusere på hurtigt at reducere emission af metan fra stalde og lagre og dermed bidrage til faldende atmosfæriske koncentrationer af metan inden for en kort årrække.

Teknologier er i de følgende afsnit placeret således, at først kommer virkemidler til stalde, derefter virkemidler til lagre, og til sidst kombinationer af virkemidler i både stald og lagre.

4.1.1.1 Beskrivelse af den anvendte model

De efterfølgende emissioner af metan og reduktionseffekter af teknologier (virkemidler) er simuleret i en model i et regneark. Modellen er baseret på Normtal-systemet (Børsting et al., 2021) og en model, der beskriver metanproduktion ud fra omsætning af organisk materiale, kaldet Arrhenius-modellen (Petersen et al., 2016). Denne model er tilsvarende den, der anvendes til de nationale opgørelse af metan.

Ud fra beskrivelse af staldtyper, højder og arealer af gyllekummer, dage mellem udslusninger af gylle og højde af restgylle beregnes gyllen gennemsnitlige opholdstid (Hydraulisk RetentionsTid, HRT) (Adamsen et al., 2021). Der anvendes parameterværdier fra Petersen & Gyldenkærne (2020) og Møller et al. (2022).

4.1.1.2 Usikkerheder på den anvendte model

Der er usikkerheder forbundet med parameterværdierne:

- LnA-værdier
- Gylletemperaturer i stalde og lagre
- Udskilt organisk stof (VS)
- Forhold mellem let-omsætteligt organisk stof (VSd) og tungt-omsætteligt organisk stof (VSnd) i stalde
- Forholdet mellem metan og CO_2 i den dannede gas
- Effekt af restgylle
- Omsætning i biogasanlæg
- Udbringningsmønstre for gylle

4.1.1.3 LnA-værdier

LnA er en præ-eksponentiel faktor, som ikke er direkte relateret til et specifikt fysisk fænomen eller en kemisk reaktion. Dette skyldes, at Arrhenius ligningen beskriver summen af processer, der fører til metanproduktion. Man kan derfor sige at lnA afspejler potentialet for en metanproduktion, som påvirkes af gyllens sammensætning og nedbrydelighed samt mikroorganismernes aktivitet (særligt metanogener, som producerer metan) og tilpasning til miljøet i gyllelageret. Der differentieres mellem lnA og lnA' (lnA mærke). LnA knytter sig til nedbrydning af VS_d og LnA' knytter sig til VS_{tot}. I nærværende model benyttes lnA til simulering af metan-emission fra stalde, da der findes bedre og flere målinger af mængden af letnedbrydeligt organisk materiale (VS_d) fra stalde (Petersen et al., 2016). I lageret benyttes lnA'-værdier, da dokumentation for nedbrydeligt organisk materiale i lagre ikke er veldokumenteret og VS_{tot} og det kun er muligt at estimere VS_{tot}. Desuden skelnes der mellem lnA og lnA' mellem svin og kvæg. I Tabel 4.2 er angivet benyttede værdier til i nærværende model.

Tabel 4.2 LnA værdier fra Petersen et al. (2016) og lnA' værdier fra Møller et al. (2022). Disse værdier benyttes i nærværende model til estimering af metanreduktionspotentialer for klimavirkemidler.

	LnA	**LnA'**
Svinegylle	31,3	30,3
Kvæggylle	31,2	29,2
Afgasset gylle		27,9

4.1.1.4 Gylletemperaturer i stalde og lagre

Der er regnet med en gennemsnitlig temperatur af gylle i svinestalde på 18,6 °C. Nogle stalde har højere rumtemperatur, fx smågrisestalde, men indtil der foreligger bedre data for temperaturer for stalde fastholdes 18,6 °C. For kvæggylle regnes med en gennemsnitlig temperatur på 12,8 °C, der ligger nogle grader over gennemsnitlig udetemperatur.

For gylletanke er der regnet med en gennemsnitlig månedstemperatur, og der er korrigeret for temperatur i gylle som beskrevet i Mikkelsen et al., (2016).

Da metanproduktion inden for relevante temperature i stalde og lagre er en tilnærmelsesvis eksponentiel kurve i forhold til temperatur, så vil varme perioder kunne medføre højere emissioner end beregnet ud fra gennemsnitlige værdier.

4.1.1.5 Udskilt organisk stof (VS)

Organisk stof beregnes ud fra foderindtag, producerede produkter, fx mælk, og tilvækst. Der udregnes en fordøjelighedsfaktor, som i normtallene er baseret på tørstof. Det vil være en fordel, hvis fordøjelighedsfaktor bliver baseret på organisk stof, så vil indholdet af salte være lettere at håndtere.

4.1.1.6 Forholdet mellem let-omsætteligt organisk stof (VS_d) og tungt-omsætteligt organisk stof (VS_{nd}) i stalde

Det er en af de mere komplicerede faktorer. I den såkaldte Arrhenius-modellen (Petersen et al., 2016) er andelen af VS_d estimeret i de udtagne prøver. Dels er den benyttede metode upraktisk at anvende, og dels er de estimerede forhold baseret på prøver udtaget fra stalde, og dermed er en del af det let-omsættelige organisk stof allerede omsat. Den oprindelig VSd er estimeret ved at "fitte" værdier i modellen. Dette er sammenlignet med værdier fra B_0 og B_u som er henholdsvis den potentielle metanproduktion og den teoretiske mulige (Møller et al., 2004), og der er en god overensstemmelse.

Det er foreslået at undersøge, om man kan estimere VS_d ud fra udrådnings-test, der anvendes til at vurdere biogaspotentiale. Fordelen er, at der laves rigtig mange udrådnings-test på gylle til biogasanlæg, så der vil forelægge et større datasæt.

4.1.1.7 Forholdet mellem metan og CO_2 i den dannede gas

Især forholdet mellem metan og CO2 i den dannede gas er kritisk, da det bruges til at beregne hvor meget organisk stof (VS) der er tilgængelig ved næste beregningstrin (følgende døgn). Det er især kritisk for metanproduktionen i lagre. Mikkelsen et al. (2016) har anvendt et CO2/CH4–forhold på 3 (på mol eller volumenbasis). Det stemmer overens med Dinuccio et al. (2008) der fandt et CO2/CH4 forhold på 3 for frisk svinegylle inkuberet ved 25 °C og med et flow af atmosfærisk luft.

For kvæggylle fandt Dinuccio et al. (2008) et CO2/CH4 forhold på 13,6 under tilsvarende forhold.

For gylle opsamlet fra en svinestald og inkuberet under anaerobe (iltfrie) forhold er der fundet CH4/(CH4-CO_2)-forhold fra 21 og op til 40% (Feng et al., 2022). Dalby et al. (upubliceret) har fundet store forskelle mellem svinegylle fra en fortank, der blev inkuberet hhv. med et flow med atmosfærisk luft og et flow med kvælstof, hvilket indikerer en oxidation af metan i overfladen, hvor ilt kan diffundere ned (upubliceret data). Det vil ændre på CO2/CH4 forholdet. Grundet de forskellige biologiske processer, som bidrager til henholdsvis CO2 og CH4 produktion i gylle, vil CO2/CO4 forholdet i realiteten ændre sig over tid, hvilket forklarer hvorfor kraftigt varierende CO2/CH4 forhold er blevet rapporteret.

4.1.1.8 Effekt af restgylle

Mængden af gylle efter udslusning (tømning af gylle) i stalden er i modellen brug som et udtryk (proxy) for hvor meget podningsmateriale der er tilstede. Restgylle indgår i at beregne gyllens gennemsnitlige alder kaldet HRT (Hydraulic Retention Time). I tidligere opgørelse er restgylle ikke medtaget, hvilket kan give en underestimering af metanproduktionen.

4.1.1.9 Omsætning i biogasanlæg

Dette er beregnet ud fra DCA-rapporten Bæredygtig Biogas (Olesen et al., 2020).

4.1.1.10 Udbringningsmønstre for gylle

Det er i Mikkelsen et al. (2016) antaget at gylle udbringes i marts og april og derefter akkumuleres i gylletanke hen over året, samt at der ikke forskel i udbringningsmønstre for kvæg- og svinegylle. Opgørelser viser imidlertid, at der er betydelig forskel på hvornår svinegylle og kvæggylle udbringes. Kvæggylle udbringes i højere grad på græsarealer hen over sommeren, ca. 28 % af den totale gyllemængde, hvorimod svinegylle udbringes i forårsmånederne (Birkmose, 2020). Dette er medregnet i modellen i den nuværende opdatering, men er ikke tidligere medregnet i de nationale opgørelser.

4.1.1.11 Sammenligning med litteraturdata

I en review-artikel af Kupper et al. (2020) fandtes en median-emission fra svinegylle i gylletanke på gårdskala på 0,55 g CH4 · m-3 · h-1 (n = 10), hvilket giver 2,0 kg pr. m^3 for en gennemsnitlig opbevaring på 5 måneder.

I samme review-artikelfandtes en median-værdi på 0,75 g CH4 · m-3 · h-1 (n = 7). Da kvæggylle ofte udbringes hen over sommeren på græsarealer, så er den gennemsnitlige opbevaring sat til 3 måneder. Det giver 1,6 kg pr. m^3. Det skal understreges at disse emissionsværdier stammer fra forskellige lande og under forskellige klimatiske forhold

4.1.1.12 Sammenligning med tidligere opgørelser

Ved den sidste opdatering af klimavirkemiddeltabellen i 2020 (Hutchings et al., 2020) anvendtes DCE's estimater af de gennemsnitlige emissioner for kvæg- og svinegylle, som var på henholdsvis 1,48 kg og 2,39

kg CH4 pr. ton gylle. Fordelingen i emission mellem stald og lager blev ligeledes baseret på DCE's opgørelser. For svinegylle blev det estimeret at ca. 30 % af emissionen kom fra lageret, hvorimod det for kvæg var næsten 50 %. Senere beregninger med modellen, beskrevet ovenfor, viser dels en højere samlet emission, men også at det for svinegylle er en større andel, der kommer fra lageret. Eksperimentelle data for emissioner af metan fra gyllelagre er baseret på få målinger og behæftet med stor usikkerhed. Emission fra lageret er vigtig, idet teknologier som hyppig udslusning og gyllekøling bevirker at mere organisk stof føres til lager, hvor det vil give en merproduktion af metan i lageret i forhold til en standard-situation.

Der er flere projekter i gang med henblik på at måle emissioner fra gyllelagre, og de kommende år vil give et bedre grundlag for opgørelse af emissioner fra lageret, herunder modelvalidering.

Referencer

Adamsen, A.P.S., Hansen, M.J., Møller, H.B., (2021). Effekt af hyppig udslusning af gylle på metanproduktion, Nr. 2020-0166155, 9 s., jan. 12, 2021.

Birkmose, T. (2020). Aktivitetsdata for udbragt husdyrgødning, 2016-2020. Notat fra SEGES.

Børsting, C.F. (red.), Hellwing, A.L.F., Sørensen, M.T., Lund, P., van der Heide, M.E., Møller, S.H., Kai, P., Nyord, T., Aaes, O., Clausen, E., Tybirk, P., Holm, M., Hansen, M.N., Jensen, H.B., Bækgaard, H. (2021). Normtal for husdyrgødning. DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. DCA rapport Nr. 191 https://dcapub.au.dk/djfpublikation/index.asp?action=show&id=1474

Feng, L., Guldberg, L.B., Hansen, M.J., Ma, C., Ohrt, R.V. (2022). Impact of slurry removal frequency on CH4 emission and subsequent biogas production; a one-year case study. Waste Management, 149, 199-206. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.06.024

Kupper, T., Hani, C., Neftel, A., Kincaid, C., Buhler, M., Amon, B., VanderZaag, A. (2020). Ammonia and greenhouse gas emissions from slurry storage - A review. Agriculture Ecosystems & Environment, 300. https://doi.org/ARTN 106963 10.1016/j.agee.2020.106963

Mikkelsen, M.H., Albrektsen, R., Gyldenkærne, S. (2016). Biogasproduktions konsekvenser for drivhusgasudledning i landbruget. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy.

Møller, H. B., Sommer, S.G., Ahring, B. (2004). Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. Biomass & Bioenergy, 26(5), 485-495. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2003.08.008

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., Gyldenkærne, S. (2020). Redegørelse omkring forventede justeringer i beregning af metanemission fra husdyrgødning (Number Journal 2020-0066332).

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

4.1.2 Afgrødeproduktion og arealanvendelse

Forfatter(e): Nicholas J. Hutchings, Institut for Agroøkologi

Fagfællebedømmer(e): Mathias Neumann Andersen, Institut for Agroøkologi

Referencesituationen for virkemidler, som indebærer en ændring i arealanvendelse, antages at være korndyrkning (Mikkelsen et al, 2022). Da det antages at husdyrgødningsproduktionen ikke ændres som følge af en implementering af virkemidler på marker, er det antaget at kun handelsgødning benyttes på referencesituationen. På baggrund af Mikkelsen et al (2022), er N input i handelsgødning i referencesituationen 171 kg/ha/år (kontra 200 kg/ha/år i Eriksen et al, 2020).

Ammoniakemission indgår i klimaberegningen som en indirekte lattergaskilde. Bemærk at ammoniakemissionsfaktor for handelsgødning fra det seneste nationale beregninger er 0,04 kg NH_3-N/kg N, kontra 0,02 i Eriksen et al. (2020). N-udvaskning for det standard kornsædskifte er 60 kg N/ha/år (Mikkelsen et al, 2022), som er ikke væsentlig anderledes end det 64 kg N/ha/år benyttet i Eriksen et al (2020). CO_2 emission fra kalk og urea antages at være 94 kg ækv/ha/år, som i Eriksen et al (2020).

En overblik over klimagasemissionerne fra det anvendte standard kornsædskifte er vist i Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Drivhusgasemissioner fra standard korndyrkning.

		kg N/ha/år	**kg N_2O-N emission/ha/år**	**kg CO_2 ækv/ha/år**
N input		171		
Direkte N_2O emission	Gødning		1,71	801
	Planterester	70	0,70	328
Indirekte N_2O emission	Ammoniak	6,8	0,07	32
	N-udvaskning	60	0,28	129
Fossil energi				361
Kalk m.m.				94
Kulstoflagring				0
			Sum	1.745

Vurderingerne af klimaeffekterne af virkemidler deles i to grupper, afhængig af om implementering betyder eller ikke betyder en ændring i arealanvendelsen og dermed i effekter på jordens kulstofpulje.

Følgende elementer indgår i beregningerne af drivhusgasemissioner relateret til N-virkemidler:

- Den direkte lattergasemission, herunder emissionen fra handels- og husdyrgødning tilførte arealet, planterester og nettomineralisering af organisk stof i jorden.
- Den indirekte lattergasemission fra ammoniakemission og nitratudvaskning.
- Kuldioxid emission fra kalk og urea tilført markerne.
- Fossil energi brugt til markoperationer og tørring af afgrøder.
- Ændring i netto-kulstoflagring i jorden.

Det antages at virkemidlerne ikke påvirker antal husdyr eller husdyrproduktionens sammensætning, og dermed er der heller ikke effekter på emissioner fra husdyr eller husdyrgødningshåndtering. Den udbragte mængde husdyrgødning antages derfor at være uændret, og såfremt et virkemiddel reducerer N-gødskning, sker reduktionen alene i handelsgødning.

I beregningen af klimasideeffekten af N-virkemidler som påvirker arealanvendelse, var referencesituationen (dvs. den nuværende arealanvendelse og driftsledelse) nogle gange et kornsædskifte og nogle gange en gennemsnitlig landbrugsjord. For de sidstnævnte, argumenterede Mikkelsen et al. (2022) at arealanvendelse i praksis også vil være et kornsædskifte. I tilfældet af at et virkemiddel kun påvirker en eller flere tabsposter under den samme arealanvendelse, er det kun nødvendigt at beregne effekten på de relevante tabsposter.

I praksis, vil N-inputtet i planterester, N-tabet via denitrifikation, udvaskning og ammoniakfordampning, samt effekten på kulstoflagring i jorden være afhængig af hvordan og hvor i landet et virkemiddel implementeres. Klimaeffekten af virkemidlerne kan derfor kun beregnes i grove træk.

N input i planterester:

En beregning af N input i planterester er især vanskelig og usikker, fordi mængden er afhængig af afgrøde og udbytte. I Eriksen et al. (2020) er N input i planterester beregnet på baggrund af en relation mellem N i planterester og N input med data fra de den gang seneste nationale beregninger fra DCE (Nielsen et al., 2019). Tankegangen var og er, at der er en sammenhæng mellem gødningsnormen for en afgrøde og N-optagelsen i samme afgrøde. Metoden har den fordel, at den er gennemskuelig og kun har brug for N-gødskning som inputdata men har en ulempe i at det er ikke muligt at skelne mellem afgrødetypen og især mellem et-årige afgrøder og græs eller kløvergræs. Takket forskellene i vækstform og driftsledelser, vil metoden formodentlig underestimere N input i planterester fra græs/kløvergræs og overestimere inputtet fra andre afgrødetyper. DCE beregner N input i planterester efter IPCC (2006), som bruger udbyttedata og

afgrødetype. Disse inputdata henter DCE fra statistisk kilde på regionsniveauet og er afhængig af afgrødeblanding og udbytteniveauer i det pågældende år. Til at udjævne årsvariationer, har vi her benyttet en relation mellem N i planterester og N input som er et gennemsnit over 10 år og ikke kun det seneste år. Endvidere, har DCE for nylig opdateret deres beregningsmetode for N input i planterester. Tilsammen, er effekten at kg N input i planterester pr kg N input som handels- eller husdyrgødning øges fra 0,21 i Eriksen et al (2020) til 0,41 her.

Kulstoflagring, mineralisering, kalk og urea:

I nogle tilfælde, vil et virkemiddel påvirke kulstoflagringen i jorden, fordi der vil være en ændring i kulstofinputtet enten i planterester eller i husdyrgødning. Over tid vil jordens kulstofpuljer tilpasse sig ændringer i kulstofinputtet, og et virkemiddels effekt på kulstoflagring vil dermed aftage med tiden. I den danske afrapportering under UNFCCC, er det estimeret at 12 % af kulstof input i organisk forbindelse er langtidslagret i jorden (Mikkelsen et al, 2022). En undtagelse er kulstof i biokul, som håndteres separat. Hvis et virkemiddel resulterer i en ændring i mængden af kulstof input til jorden, regnes derfor ændringen i kulstoflagring (plus eller minus) som 12 % af de pågældende mængder. I tilfældet at ændringen i kulstofmængden er negativ, er der antaget en N-mineralisering svarende til ændringen i kulstofmængden/10 (d.v.s. at C:N i det mineraliseret organiske stof er 10:1, som anbefalet af IPCC, 2006). Sådan N-mineralisering ganges med EF Direkte N_2O til at beregne den efterfølgende N_2O emission.

Emissioner af CO_2 fra tilførsel af kalk og ureabaserede handelsgødninger er i gennemsnit 94 kg CO_2 ækv/ha/år og er beregnet som de afrapporterede 244 kt CO_2 emission på landsplan (Nielsen et al., 2020), fordelt over det samlede dyrkningsareal. Da ingen virkemidler inkluderer øget forsuring af gylle, er det her antaget at der ikke er ændring i emissioner, når et virkemiddel ikke påvirker udtag af landbrugsjord og der er ingen eller meget mindre emission fra jorden som er udtaget. Det antages heller ikke at der vil være væsentlige ændringer i anvendelsen af ureabaserede gødninger eller i kalkanvendelse som følge af forsuring forårsaget af ændret gødningsanvendelse.

Forbrug af fossil energi:

Tabel 4.3 viser estimater for fossilenergiforbrug i forbindelsen med korn, græs og roer produktion, fra Mogensen et al. (2018), med de konverteringsfaktorer der er angivet i Tabel 4.4.

Tabel 4.3 Forbrug af fossil energi i forbindelsen markoperationer, vanding og tørring til produktion af korn, græs og roer produktion (Mogensen et al., 2018).

		Byg	Hvede	Kløvergræs	Græs	Roer	Sukkerroer
El, vanding	kWh/ha	34	47	161	161	64	60
El, tørring	kWh/ha	98	138	0	0	0	0
Diesel, tørring	liter/ha	8	11	0	0	0	0
Diesel, mark	liter/ha	78	96	89	101	91	91
Nettoudbytte	Mg TS/ha	4,4	6,2	8,1	9,1	12,1	13,2

TS: tørstof

Tabel 4.4. Konverteringsfaktorer (fra Mogensen et al, 2018)

		kg CO_2 ækv/enhed
Diesel	liter	2.82
El	kWh	0.56

På baggrund af Tabel 4.3 og 4.4 estimeres forbruget af fossil energi til at variere mellem 340 CO_2 ækv/ha/år for en kornsædskift til 445 CO_2 ækv/ha/år for græs med et højt udbytte. Det bemærkes at disse tal er betydelig lavere end det 1.100 kg CO_2/ha/år antaget af Eriksen et al. (2014).

4.2 Potentiale og muligheder for reduktion af drivhusgasser

Forfatter(e): Mathias Neumann Andersen, Institut for agroøkologi; Frederik Rask Dalby, Institut for Bio- og Kemiteknologi

Fagfællebedømmer(e): Anders Peter Adamsen, Institut for Bio- og Kemiteknologi

Potentialerne for at reducere drivhusgasemmisionerne er generelt beregnet udfra skøn over teknologiernes udbredelse i 2030. Udbredelse, som kan være opgjort som antal dyr, mængde gødning eller antal ha. ganges derefter med den forventede effekt af klimavirkemidlet, der angives i reduktion i udledning i CO_2-ækv (pr. dyr, pr. mængde gødning eller pr ha), som beskrevet ovenfor. Herved nås et nationalt estimat for reduktionen af udledningerne i 2030, såfremt virkemidlet udbredes som forventet.

4.2.1 Husdyrproduktion

Ved beregning af potentiale for virkemidler er der taget udgangspunkt i en fremskrivning af landbruget og dets drivhusgasudledninger frem til 2040 i basisfremskrivningen (Energistyrelsen, 2020) samt Nielsen et al., (2017).

I fremskrivningen forventes bestanden af malkekvæg at stige (tabel 4.5), hvorimod svineholdet er stort set uændret. Dette medfører nogen ændring i mængden af produceret husdyrgødning. Tallet for pelsdyr i 2030 er estimeret inden coronakrisen og kan derfor ikke forventes at være retvisende.

Tabel 4.5. Fremskrivning af husdyrbestanden (antal dyr) til 2030 (Energistyrelsen, 2020; Nielsen et al., 2017).

Kategori	2015	2020	2030
Malkekvæg	561.000	572.000	603.000
Øvrigt kvæg	1.197.000	1.181.000	1.217.000
Søer	1.030.000	1.020.000	860.000
Smågrise	31.500.000	33.600.000	33.830.000
Slagtesvin	19.860.000	18.960.000	18.340.000
Fjerkræ	124.652.636	134.230.231	132.232.025
Pelsdyr	3.400.420	3.633.613	4.100.000
Øvrige	3.665.896	3.896.419	4.362.579

For økologisk produktion er der en række af virkemidlerne, der ikke er relevante. Dette gælder bl.a. for nitrifikationshæmmere, visse fodringstiltag for malkekvæg og forsuring af husdyrgødning, da nogle af de anvendte stoffer (fx urea og svovlsyre) ikke er tilladt i økologisk jordbrugsproduktion. Der er lagt til grund, at økologiske malkekvæg og ammekvæg vil udgøre omkring 25 % af malkekobestanden i 2030. Tilsvarende forudsættes at 25 % af kvæggyllen i 2030 vil være økologisk.

4.2.2 Husdyrgødning

I foråret 2022 afholdtes et seminar med Miljøministeriet med forslag til AU's prioritering af de mest lovende teknologier (Feilberg et al., 2022). Udbredelsen af disse teknologier vil afhænge meget af økonomi og komende regulering af drivhusgas. Endvidere vil udbredelsen også også afhænge af, hvor hurtigt de enkelte teknologier rent praktisk kan implementes. Eksempelvis vil teknologier i stalden kombineret med biogas afhænge af udbygning af biogassektoren. Dette er ikke forsøgt udredt i denne rapport.

4.2.3 Afgrødeproduktion

Kvælstofanvendelsen i fremskrivningen tager udgangspunkt i notatet om Revurdering af Baseline (Jensen et al., 2015). SEGES har vurderet handelsgødningsforbruget i 2017 til at være 260 kt N (Leif Knudsen, SEGES, personlig meddelelse), hvilket svarer til 10 % under Baseline-estimatet. Dette skyldes især en vurdering af, at mange landmænd af en række årsager ikke fuldt ud vil udnytte den N-mængde, der er til rådighed op til den optimale N-tilførsel, og at de øvrige landmænd ikke kan overstige bedriftens N-kvote. Med indførsel af målrettet regulering vil der yderligere blive et incitament til ikke at gå op til den fulde økonomisk optimale N-mængde i de oplande, som vil blive påvirket af denne regulering. Her forekommer et niveau på 7 % under norm at svare til et omkostningseffektivt niveau for reduktion af gødningsniveauet på landsplan. I

praksis vil dette kunne variere mellem vandoplande afhængig af krav til reduktion i kvælstofudledning. Det antages derfor, at N tilførslen vil ligge 7 % lavere end i baseline-estimatet i perioden 2018-2021. Forbruget fastholdes på samme niveau fra 2022-2035, dvs. på 275 kt N pr. år (kt: kiloton = 1000 ton). Det antages således, at den økonomisk optimale norm ikke udnyttes fuldt ud (tabel 4.6).

Tabel 4.6. Antaget kvælstofanvendelse i handelsgødning (kt N/år) i scenarieperioden (Olesen et al., 2018).

2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022-2035
194	187	203	230	260	269	271	273	275	275

Nitrifikationshæmmere anvendes til reduktion af lattergasudledninger, og forudsættes at kunne tilsættes hele mængden af handelsgødning samt den konventionelle flydende husdyrgødning. Brugen af nitrifikationshæmmere vil i visse situationer også kunne reducere kvælstofudvaskningen.

4.2.4 Arealanvendelse

Arealet med dyrkede humusrige og organiske jorder er i 2021 opgjort til i alt 170.000 ha, heraf 74.000 ha med mere en 12 % organisk kulstof (Greve et al., 2021). Kortlægningen af arealet med kulstofrig organisk jord (OC > 12 %) viser, at ca. halvdelen ligger i sammenhængende områder, typisk i tidligere højmosearealer, mens den øvrige halvdel ligger spredt, typisk i ådalene. Udtagning af disse jorde fra omdrift og efterfølgende vådlægning har et meget stort potentiale for at reducere drivhusgasudledningerne fra arealanvendelse (Olesen et al., 2018). Dette er mere detaljeret beskrevet i et særskilt kapitel i vidensyntesean af Greve et al. (2021) og indgår derfor ikke i nærværende rapport bortset fra en beregning på paludikultur, der reflekterer dette potentiale.

For de øvrige arealrelaterede virkemidler, som især finder anvendelse på mineraljord, er det sværere at angive et specifikt potentiale, da disse i høj grad afhænger af udviklingen i afgrødevalg og sædskifte. Der er således for virkemidler som braklægning til ugødet græs, energiafgrøder og efterafgrøder i højere grad tale om et skønsmæssigt potentiale, som er betinget af sædskifte- og afgrødevalg. For både braklægning og energiafgrøder opereres med et arealeksempel på 100.000 ha, mens arealet for efterafgrøder tager udgangspunkt i et beregnet potentiale på 1.000.000 ha som beskrevet i afsnit 7.1.

Referencer

Bastami, M.S.B., Jones, D.L., Chadwick, D.R. (2016). Reduction of methane emission during slurry storage by the addition of effective microorganisms and excessive carbon source from brewing sugar. J. Environ. Qual. 45, 2016-2022.

Dubgaard, A., Ståhl, L. (2018). Omkostninger ved virkemidler til reduktion af landbrugets drivhusgasemissioner: Opgjort i relation til EU's 2030-målsætning for det ikke-kvotebelagte område. Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet. IFRO Rapport Nr. 271,

Energistyrelsen (2020). Basisfremskrivning 2020 – Danmarks Klima- og Energifremskrivning. https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/basisfremskrivninger

Eriksen, J., Thomsen, I. K., Hoffmann, C. C., Hasler, B., Jacobsen, B. H. (2020). Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 452 s. – DCA rapport nr. 174 https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport174.pdf

Feilberg, A., Adamsen, A. P. S., & Petersen, S. O., (2022). Afrapportering fra opstart seminar vedr. udviklingstiltag til gylle- og gødningshåndtering, Nr. 2022-0334060, 28 s., feb. 08, 2022. Rådgivningsnotat fra DCA – National Center for Fødevarer og Jordbrug

Greve, M.H., Greve, M.B., Peng, Y., Pedersen, B.F., Møller, A.B., Lærke, P.E., Elsgaard, L., Børgesen, C.D., Bak, J.L., Axelsen, J.A., Gyldenkærne, S., Heckrath, G.J., Zak, D.H., Strandberg, M.T., Krogh, P.H., Iversen, B.V., Sørensen, E.M., Hoffmann, C.C. (2021). Vidensyntese om kulstofrig lavbundsjord. DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 137 sider.

IPCC (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html

IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896.

Jensen, P.N., Blicher-Mathiesen, G., Rolighed, J., Børgesen, C.D., Olesen, J.E., Thomsen, I.K., Kristensen, T., Sørensen, P., Vinther, F.P., 2015. Revurdering af baseline. Teknisk rapport fra DCE nr. 67. https://dce2.au.dk/pub/TR67.pdf

Landbrugsstyrelsen (2022). Vejledning om gødsknings- og harmoniregler. Planperioden 1. august 2022 til 31. juli 2023.

Mikkelsen, M.H., Albrektsen, R., Gyldenkærne, S. (2022). Sammenligning af klimaeffekter - Emissionsopgørelse, emissionsfremskrivning og Klimaeffekttabel. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 166 s. - Videnskabelig rapport nr. 50.1 http://dce2.au.dk/pub/SR501.pdf

Mogensen, L., Knudsen, M.T., Dorca-Preda, T., Nielsen, N.I., Kristensen, I.S., Kristensen, T. (2018). Bæredygtighedsparametre for konventionelle fodermidler til kvæg - metode og tabelværdier. DCA rapport nr. 116. Aarhus Universitet

Nielsen, O.K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Hjelgaard, K.., Nielsen, M., Fauser, P., Mikkelsen, M.H., Albrektsen, R., Gyldenkærne, S., Thomsen, M. (2017). Projection of greenhouse gases 2016-2035. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 244

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., Callesen, I., Caspersen, O.H., Scott-Bentsen, N., Rasmussen, E., Petersen, S.B., Olsen, T. M., Hansen, M.G. (2020). Denmark's National Inventory Report 2020. Emission Inventories 1990-2018 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 900 pp. Scientific Report No. 372 http://dce2.au.dk/pub/SR372.pdf

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., Callesen, I., Caspersen, O.H., Scott-Bentsen, N., Rasmussen, E., Petersen, S.B., Olsen, T. M.,Hansen, M.G. 2019. Denmark's National Inventory Report 2019. Emission Inventories 1990-2017 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 886 pp. Scientific Report No. 318. http://dce2.au.dk/pub/SR318.pdf

Olesen, JE, Petersen, SO, Lund, P, Jørgensen, U, Kristensen, T, Elsgaard, L, Sørensen, P & Lassen, J 2018, Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget. DCA rapport, nr. 130, bind 130, DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug,. http://web.agrsci.dk/djfpublikation/index.asp?action=show&id=1273

5 Husdyrproduktion

Drøvtyggere (kvæg) er i langt højere grad end enmavede dyr (grise), afhængige af mikroorganismer i mavetarmkanalen for at omsætte og udnytte deres foder. Hos voksende grise udskilles der af denne årsag kun små mængder af metan, mens udskillelsen er større hos søer, fordi de får et mere fiberrigt foder, men dog langt mindre end hos drøvtyggere. Vommen fungerer således som en bioreaktor, hvor mikroorganismerne nedbryder svært tilgængelige, strukturelle kulhydrater (fibre) og mere let nedbrydelig stivelse til mindre sukkerenheder, der efterfølgende forgæres til organiske syrer – især eddikesyre, propionsyre og smørsyre. Disse kortkædede fedtsyrer optages over vomvæggen og indgår i koens stofskifte. Ved forgæringsprocesserne dannes der også kuldioxid (CO_2) og brint (H_2). Ved dannelsen af propionsyre forbruges brint, mens der ved dannelsen af eddikesyre og smørsyre dannes både kuldioxid og brint. Hvis den dannede brint ophobes i vommen kan den, pga. termodynamiske forhold, hæmme visse forgæringsprocesser og dermed koens foderudnyttelse. En særlig gruppe bakterielignende mikroorganismer, såkaldte metan-dannende arkæer eller blot metanogener, kan imidlertid omdanne kuldioxid og brint til metan (CH_4).

5.1 Generelle ændringer i foderrationen (KVM5.1)

Forfatter: Christian F. Børsting, Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab.

Fagfællebedømmer: Martin Riis Weisbjerg, Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab

Metan fra drøvtyggernes fordøjelsesprocesser (enterisk metan) kan reduceres via sammensætningen af foderrationen. Metan er ikke relateret til fodermidlerne som sådan, men til deres indhold af næringsstoffer, og næringsstoffernes omsætning i vommen. Nogle næringsstoffer kan reducere udledningen af metan pr. kg tørstof (TS), men der er grænser for, hvor meget rationen kan ændres, før det kan påvirke dyrenes sundhed, produktivitet og i nogle tilfælde også produktkvaliteten. Der skal typisk ændres på indholdet af flere fodermidler, hvis der f.eks. anvendes mere kraftfoder, for at alle relevante krav til foderratioen er opfyldt, hvilket delvis udjævner de forskelle i næringsstofsammensætning, som er årsag til reduktionen i metan emissionen. Kvægbrugere sammensætter foderrationen ud fra et økonomisk optimum under hensyn til dyrenes forsyning med næringsstoffer, mælkeydelse og sundhed. Det er derfor også sandsynligt, at tilpasning af foderrationen for at opnå en reduktion af den enteriske metan produktion vil begrænse kvægbrugerens muligheder i forhold til en økonomisk optimering af rationen.

Malkekøer

Øget andel af kraftfoder til malkekøer

Der er i de senere år gennemført en række forsøg ved AU for bl.a. at undersøge effekten på metan emissionen af stigende andel af kraftfoder i rationen. Børsting et al. (2020) fandt på tværs af disse forsøg,

at der var et lineært fald i liter metan pr. kg tørstofoptagelse med stigende andel af kraftfoder. Der var en tydelig race effekt. For Jersey faldt metan pr. kg tørstof med ca. 0,17 liter for hver procent ekstra kraftfoder i tørstof. For Holstein var tallet helt oppe på 0,33 eller næsten det dobbelte. Hvis en Jersey besætning anvender 35 % kraftfoder og 65 % grovfoder og øger kraftfoderandelen til 70 %, så vil der være et fald i metan pr. kg tørstof på 6 liter, hvorimod der for Holstein vil være et fald på 12 liter. Ved 35 % kraftfoder var metan emissionen i disse forsøg 32 liter pr. kg tørstof for begge racer, og dermed var der et fald på ca. 19 % for Jersey, og hele 36 % for Holstein ved at øge andelen af kraftfoder til 70 %. Hvis andelen af kraftfoder i udgangspunktet er 40 % (som er det maksimalt tilladte til økologiske køer), hvilket der blev anvendt i gennemsnit for alle besætninger i praksis i 2018 (Børsting et al., 2020) blev øget til 50 %, ville det give en reduktion i metan på ca. 5 % for Jersey og ca. 10 % for Holstein.

Stor øgning af kraftfoderandelen er således et potent virkemiddel til reduktion af enterisk metan. Forsøg rapporteret af (Oliejhoek et al., 2022 og Børsting et al., 2019) viste, at ydelsen af energikorrigeret mælk blev øget lidt ved et niveau på 70 % kraftfoder i forhold til 50 % kraftfoder. Men vomprøver viste, at der var risiko for vomacidose især hos Holstein, så dette niveau er ikke realistisk at anvende i praksis, i hvert fald ikke til Holstein. Øget andel af kraftfoder følges af et højere niveau af stivelse, typisk fra modne kornarter, men ud fra data fra resultater fra Olijhoek et al. (2022) vil det dog være realistisk i forhold til ydelse og sundhed at fodre med op til 60 % kraftfoder, hvorved ovennævnte reduktioner i metan på 11 % og 21 % for henholdsvis Jersey og Holstein burde kunne opnås i forhold til fodring med 40 % kraftfoder. Til gengæld vil det som regel være væsentligt dyrere at fodre med en så høj andel af kraftfoder i forhold til fodring med mere grovfoder.

Børsting et al. (2019) øgede andelen af kraftfoder fra 50 til 90 %, hvilket førte til en reduktion i metan emissionen på 48 % for Holsten og 23 % for Jersey. Til gengæld var klimabelastningen ved dyrkningen af de to rationer større ved rationen med 90 % kraftfoder, når belastningen blev beregnet ved en livscyklusanalyse, der inddrager alle forhold ved dyrkning af foderet baseret på gennemsnitsudbytter i Danmark. Når den samlede klimaeffekt blev beregnet pr. kg energikorrigeret mælk var effekten 0 % hos Holstein og en øgning på 11 % for Jersey til trods for den store reduktion i metanemissionen. Det skal bemærkes, at der ved sammensætningen af kraftfoderet, der erstattede grovfoderet, ikke var taget hensyn til at vælge fodermidler med en lav belastning ved dyrkning og forarbejdning, f.eks. indgik der ved 90 % kraftfoder større mængder af roepiller og tørret bærme, der begge kræver klimabelastende energi til tørring.

Til trods for at kraftfoder til erstatning af grovfoder kan sammensættes på mange måder viser eksemplet, at det er vigtigt at se på den samlede klimaeffekt og ikke bare på den reducerende effekt på metan, når metan ønskes reduceret ved brug af mere kraftfoder.

Anvendelse af større andel af majsensilage på bekostning af græsensilage.

Børsting et al. (2022a) og Brask-Pedersen et al. (ikke publiceret manuskript) har undersøgt effekten af at ændre på forholdet mellem kløvergræs- og majsensilage, når de to grovfodertyper udgjorde 70 % af TS i rationen. Andelen af grovfoder fra kløvergræsensilage udgjorde 100 %, 67 %, 33 % og 0 % i 4 rationer, mens majsensilage udgjorde resten af grovfoderet. Øgning af andelen af majsensilage gav et lineært fald fra 30,7 liter metan pr. kg TS ved 100 % kløvergræsensilage til 26,2 liter ved 100 % majsensilage, hvilket var et fald på 15 %. Til gengæld var klimabelastningen ved dyrkningen af de to rationer 10 % større ved majsrationen end ved kløvergræsrationen pga. en stor kulstofaflejring i jorden ved dyrkning af kløvergræsset. Disse tal blev beregnet ved en livscyklusanalyse baseret på gennemsnitsudbytter i Danmark. I denne analyse blev desuden inddraget klimaeffekten af emission fra husdyrgødning, samt energiforbrug til kvægproduktionen (excl. energi til foderdyrkning). Det betød, at den samlede drivhusgasudledning kun var 4 % lavere ved brug af 100 % af grovfoderet fra majsensilage. Det blev desuden vist, at nettoudbyttet i marken har stor betydning for den samlede klimaeffekt. Hvis udbyttet af majs på en bedrift er større end det gennemsnitlige udbytte i Danmark, så giver det en større fordel til brug af majsensilage, mens kløvergræsensilage kan blive mest fordelagtig på bedrifter med højere udbytte af kløvergræs end gennemsnittet.

Brask et al. (2013) fodrede med 65 % af TS fra kløvergræsensilage med tidlig udviklingstrin, kløvergræsensilage med sen udviklingstrin eller majsensilage. Fordøjeligheden af organisk stof for de 3 rationer med disse grovfodertyper var 76, 72 og 71 %. Metanproduktionen var 29,0 liter pr. kg TS ved fodring med kløvergræsensilage med høj fordøjelighed, 31,8 liter ved kløvergræsensilage med lav fordøjelighed og 26,5 liter med majsensilage. Dermed var metanproduktionen ved majsfodring 17 % lavere sammenlignet med græsensilage fra sen slæt, og 9 % lavere end ved kløvergræsensilage fra tidlig slæt.

Hellwing et al. (2014) sammenlignede to rationer med 61 % af TS fra henholdsvis kløvergræs- og majsensilage. Metanproduktionen var henholdsvis 35,8 og 30,6 liter pr.kg TS, dvs. 15 % lavere ved fodring med majsensilage.

I disse to studier blev der ikke lavet en LCA analyse af den samlede klimabelastning incl. effekt af dyrkning af de forskellige grovfodertyper.

Højere fordøjelighed af græsmarksprodukter

Brask et al. (2013) fandt en metanproduktion på 29,0 liter pr. kg tørstof ved fodring med 65 % af TS fra kløvergræsensilage med høj fordøjelighed (76 % af organisk stof for hele rationen) i forhold til 31,8 liter ved anvendelse af samme andel kløvergræsensilage med lav fordøjelighed (72 % af organisk stof for hele rationen), dvs. 9 % lavere metanproduktion med ensilage med høj fordøjelighed. Øget fordøjelighed af kløvergræsensilage kan altså reducere metanproduktionen.

Slagtekalve og opdræt af malkeracer samt kødkvæg

Under danske forhold bliver en stor del af slagtekalvene fodret med en stor andel af kraftfoder samt en lille mængde halm. I nogle tilfælde erstattes en del af dette med ensilage af hele majs, majskolber eller majskerner. I sjældne tilfælde anvendes græsensilage. Selvom både kraftfoder og de forskellige majsensilager giver rationer med meget højt indhold af stivelse og lavt indhold af fibre, så har danske forsøg vist store forskelle i metan emissionen mellem disse typer af foder. Hellwing et al. (2018) fandt, at udskiftning af 10 % halm og ca. 44 % kraftfoder på TS-basis fra en typisk kraftfoderbaseret ration med 40 % kolbemajs og 14 % roepiller førte til, at enterisk metan blev øget med ca. 25 %. Når 10 % halm og 50 % kraftfoder blev udskiftet med 60 % græsensilage steg enterisk metan med hele 75 %.

I et andet forsøg fandt Hellwing et al. (2011), at ombytning af 40 % kraftfoder med 35 % kernemajs og 5 % halm øgede enterisk metan med hele 70 %. Ombytning af 68 % kraftfoder med 61 % kernemajsensilage og 7 % halm øgede også enterisk metan med ca. 70 %,

Der findes ikke tilstrækkelig viden om effekt på enterisk metan ved fodring af kvier af malkeracer samt kødkvæg med øget mængde stivelse eller større andel af kraftfoder.

Tyrekalvene fra kødkvæg fodres efter fravænning ved 5-6 måneders alderen typisk på samme måde som slagtekalve af malkeracer.

Anvendelse

Den maksimale anvendelse af fodersammensætninger, der kan reducere enterisk metan, defineres for alle dyrekategorier som et niveau, hvor der ikke forventes direkte afledte negative effekter på dyrenes sundhed eller produkternes ernæringsværdi i kombination med de praktiske muligheder.

Øget andel af kraftfoder kan som udgangspunkt anvendes til alt kvæg, som fodres på stald, mens det ikke kan anvendes til kvæg, der går ude hele døgnet, dvs. kødkvæg og en del af kvierne af malkerace. Hos slagtekalve, der i forvejen fodres med størstedelen af foderet i form af kraftfoder, kan der ikke opnås yderligere reduktion, mens effekten er ukendt hos kvier og kødkvæg.

Ombytning af kløvergræsensilage med majsensilage kan anvendes til malkekøer og kvier (dog med risiko for at kvierne bliver for fede) og kødkvæg, der i de fleste besætninger får en relativ stor andel af grovfoder i form af græsprodukter.

Øget fordøjelighed af græsensilage vil især være brugbar hos malkekøer, da der også er mulighed for positiv effekt på ydelse (fx Johansen et al., 2017). Mindre relevant til kvier og kødkvæg, der ikke har ekstra tilvækst, der kan kompensere for ekstra udgifter til at opnå højere fordøjelighed. Ikke relevant til slagtekalve, fordi de i de fleste besætninger ikke får ret meget græsensilage.

Relevans og potentiale

Økologiske bedrifter kan ikke generelt øge græssets fordøjelighed under afgræsning uden konsekvens for køernes sundhed, da der typisk allerede er en høj fordøjelighed i græsset, der afgræsses

For slagtekalve forventes det ikke muligt at opnå en effekt af ændret fodermiddelsammensætning pga. risikoen for forringet sundhed hos kalvene, da fodringen her allerede er baseret på letfordøjeligt, stivelsesrigt foder. Til trods for at kraftfoder kan føre til mindre metanudskillelse end brugen af forskellige typer af majsensilage, kan det ikke anbefales kun at anvende kraftfoder og halm, da det øger risikoen for sygdom, og desuden vil det ofte være dyrere udelukkende at anvende kraftfoder. Tyrekalvene og en del af kvierne fra kødkvæg fodres efter fravænning ved 5-6 måneders alderen typisk på samme måde- som slagtekalve af malkekvægsracer.

Kødkvæg og malkeracekvier, der går på græs, får normalt ikke tilskudsfoder, så med mindre der afholdes ekstra udgifter til kraftfoder og arbejde vil det ikke være muligt at reducere deres metan emission med ændret fodring i sommerhalvåret. I staldperioden, vil det være muligt at give køer og kvier rationer med mindre fibre og mere stivelse, men som beskrevet ovenfor kendes effekten ikke.

Det er ikke muligt at beregne det samlede potentiale af alle de forskellige metanreducerende fodermiddelsammensætninger, der kan anvendes til alle kategorier af kvæg.

Effekt på drivhusgasudledning og sideeffekter

Effekten af ændret fodring mht. ændringer i typen og fordøjeligheden af grovfoder er svær at estimere. Men generelt vil en ændret fodring med mere stivelse i rationen på bekostning af NDF reducere emission af enterisk metan fra malkekøer, uanset om dette opnås ved ændringer i grovfoderet eller ved ændret forhold mellem grovfoder og kraftfoder. Som beskrevet ovenfor vil en øgning fra 40 % til 50 % kraftfoder give en reduktion i metan på ca. 5 % for Jersey og ca. 10 % for Holstein. Dette virkemiddel kan ikke anvendes af økologer, da de har krav om at anvende maks. 40% kraftfoder.

Antages det, at emissionen af enterisk metan er 165 kg pr. årsko (Albrektsen et al., 2021) så svarer det til 4.125 kg CO_2-ækv. Pr. årsko ved brug af en omregningfaktor på 25 kg CO_2-ækv. pr. kg metan. Ved at øge kraftfoderandelen 10 %-enheder vil det give en reduktion på henholdsvis ca. 400 og ca. 200 kg CO_2-ækv. pr årsko for henholdsvis Holstein og Jersey.

Som beskrevet ovenfor kan der være samspil mellem virkemidler og afledte effekter. For de fodringsmæssige tiltag skal det således ved vurderingen af effekten indregnes, at der kan være en større emission af drivhusgasser knyttet til produktionen af foderet. Skift i sædskifter mellem græs og kornafgrøder,

herunder majs giver også andre miljøpåvirkninger med en generelt større kvælstofudledning via nitratudvaskning fra korndominerede sædskifter.

Samspil til andre virkemidler

I afsnit 5.2.4 er samspillet med fedt beskrevet.

Effekten af Bovaer på enterisk metanproduktion ser ud til at være afhængig af rationens sammensætning og særligt rationens fiberniveau og –type og stivelsesniveau og –type, hvilket er beskrevet i afsnit 5.3.4. Generelt ses en større metanreducerende effekt af Bovaer i majsbaserede rationer end i græsbaserede.

Reduceret enterisk metan kan som beskrevet ovenfor bl.a. ske ved at reducere andelen af kløvergræs i foderrationen, og den maksimale reduktion af græsmarksprodukter vil desuden kræve, at dyrene fodres på stald året rundt i et konventionelt system. En mindre anvendelse af græs vil føre til lavere kulstoflagring i jorden som følge af opbygning af mindre kulstoflager i andre foderafgrøder sammenlignet med græsmarker.

Usikkerheder

De angivne effekter for ændret fodermiddelsammensætning er baseret på et beskedent antal forsøg, som derfor ikke kan repræsentere alle de forskelle, der kan være i praksis mht. kombinationer af fodermidler og deres kvaliteter. Det forventes dog, at de beskrevne effekter giver en god rettesnor for, hvad der som gennemsnit kan opnås. Det er ikke muligt at skønne den potentielle udbredelse af disse virkemidler.

Øget fodring med fedt til kvæg (KVM5.2)

Forfatter: Christian F. Børsting, Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab.

Fagfællebedømmer: Martin Riis Weisbjerg, Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab.

Fodring med en øget andel af fedt i rationen kan reducere dannelse af metan i vommen og dermed udledningen af metan pr. kg fodertørstof fra dyrenes fordøjelse af foderet. Fedtsyrer forgæres ikke i vommen, og ombytning af fermenterbart organisk stof (f.eks. stivelse eller fiber) med fedt, vil derfor reducere produktionen af enterisk metan. Under danske forhold kommer en væsentlig del af tilskudsfedtet fra rapsolie, der binder brint ved biohydrogenering i vommen, og dermed sænkes metanproduktionen. Desuden har fedt en inhiberende effekt på særligt de fibernedbrydende og metanogene mikroorganismer i vommen, hvilket forårsager en stor del af resten af effekten af fedt. Da fermentering af fiber hovedsageligt er koblet til produktionen af eddikesyre vil denne inhibering, som beskrevet ovenfor, medføre et fald i produktionen af brint og kuldioxid og dermed mindre substrat for metanproduktion.

På tværs af en række danske rationer er det beregnet, at 10 g/kg TS ekstra fedtsyrer i rationen kan reducere produktionen af enterisk metan med ca. 4% baseret på beregninger i NorFor (Børsting et al., 2020). Dette

svarer godt til de 3,4 – 4,1 % som Niu et al. (2018) fandt i en metaanalyse med forsøg fra mange steder i verden.

Børsting et al. (2021) skaffede fra SEGES data for rationernes fedtindhold i ca. 1.600 besætninger med stor race og ca. 250 jerseybesætninger fra hvert af årene 2017- 2019. I opgørelserne var besætningerne desuden opdelt i økologiske og konventionelle. De malkende Jerseykøer fik i konventionelle besætninger 37 g fedtsyrer/kg TS og i økologiske 30 g fedtsyrer/kg TS. De malkende køer af stor race fik i konventionelle besætninger 33 g fedtsyrer/kg TS og i økologiske 26 g fedtsyrer/kg TS. Det vil sige, at Jersey får et højere indhold af fedtsyrer i foderet end Stor race, og for begge racer anvendes 6-7 g mindre fedtsyrer/ kg TS ved økologisk produktion. Jersey får typisk et højere fedtniveau for at understøtte deres evne til at producere mælk med en højere fedtprocent. Det lavere indhold af fedtsyrer i de økologiske rationer skyldes typisk, at den økologiske produktion er mere begrænset i udvalget af tilladte råvarer og fedtkilder. Goldkøer af Jerseyracen fik 23 g fedtsyrer/kg TS, mens de hos stor race fik 20 g. Det forventes, at ekstra fedtsyrer til goldkøer vil have ca. samme reducerende effekt pr. kg. TS som fundet for malkekøer. Dette er dog ikke undersøgt, ligesom det er uvist, om der vil være negative effekter for sundhed og produktion efter kælvning.

Laskari et al. (2022) og Børsting et al. (2022b) har i en metaanalyse vist, at tilskudsfedt i tidlig laktation ikke øger risikoen for stofskifteproblemer, selvom køerne i denne periode også mobiliserer meget fedt fra kroppen. Derfor vurderes det, at være muligt at fodre med samme mængde tilskudsfedt i tidlig laktation som i resten af laktationen.

Om dette fedtniveau er økonomisk optimalt, afhænger af forholdet mellem prisen for ekstra fedt og prisen for mælk. I Danmark anvendes bl.a. palmefedt og danskavlede rapsfrø og -kager. Klimaaftrykket af palmefedt er ca. det tredobbelte af rapskager, hvis den direkte effekt af regnskovsrydningen regnes ind. Ved brug af importeret palmefedt i stedet for dansk producerede rapsprodukter vil den nationale emission reduceres væsentligt, mens den globale emission kun vil blive reduceret lidt eller evt. være uforandret, da reduktionen i enterisk metan helt eller delvist modsvares af en øget emission ved dyrkning af palmefedt.

Der findes ikke studier af effekt af tilskudsfedt til slagtekalve fodret med en meget stor andel af kraftfoder. Fordi fodring med en høj andel af kraftfoder, og dermed et højt indhold af stivelse, giver meget mindre metanemission, end når en stor del af kraftfoderet udskiftes med ensilage af græs, helsædsmajs, kolbemajs eller kernemajs (som beskrevet i afsnit 5.1), må det formodes, at emissionen ikke kan reduceres væsentligt, hvis der også tilsættes fedt. Hvis de fleste slagtekalve, derimod fodres med større andele af en af de majsensilagetyper, som er beskrevet i afsnit 5.1, er det uvist om fedt vil have en effekt. Alt i alt, regnes der ikke med at fedt kan reducere emissionen af metan fra slagtekalve (Tabel 5.2)

Der mangler studier af effekt af tilskudsfedt til kvier af malkeracer samt kødkvæg. Det er derfor uklart, hvordan effekten vil være hos disse kategorier af kvæg.

Anvendelse

Tiltaget kan som udgangspunkt anvendes til alt kvæg, som fodres på stald, mens kvæg der går på græs hele døgnet, dvs. kvier af malkerace samt kødkvæg på græs i sommerhalvåretnormalt ikke får tilskudsfoder, så med mindre der afholdes ekstra udgifter til kraftfoder og arbejde vil det ikke være muligt at reducere deres metan emission med ændret fodring i sommerhalvåret

Til lakterende malkekøer forventes det, at der kan anvendes op til ca. 20 g/kg TS ekstra fedtsyrer i forhold til niveauet i praksis i 2017-2019. Dette vil til konventionelle køer betyde op til ca. 53 g/kg TS og 57 g/kg TS for henholdsvis stor race og Jersey, idet niveauet i praksis var henholdsvis 33 og 37G pr. kg TS for de to racer (Børsting et al., 2021). I de nyeste amerikanske anbefalinger (NRC, 2021) anbefales det generelt, at indholdet af fedtsyrer/kg TS skal være under 70 g/kg TS til malkekøer, mens det i nogle tilfælde i tidlig laktation er uhensigtsmæssigt at gå over 50 g/kg TS. Ud fra metaanalysen af Lashkari et al. (2022b) antages det dog, at det er muligt at anvende ovenstående anbefaling på op til ca. 53 og 57 g fedtsyrer/kg TS i tilfælde, hvor kvægbrugeren ikke ønsker at anvende en særskilt foderblanding med lidt lavere fedtniveau i tidlig laktation.

Da økologiske rationer indeholder en større mængde græsprodukter, som har en større andel af umættede fedtsyrer i fedtet og fordi færre fedtkilder er til rådighed fodres økologiske køer med mindre fedt, nemlig henholdsvis 27 og 30 g fedtsyrer pr. kg TS til henholdsvis Holstein og Jersey (Børsting et al., 2021).Da udgangspunktet er lavere for økologiske køer forventes det, at de også kan fodres med 20 g/kg TS flere fedtsyrer, end det var tilfældet i 2017-2019.

Hellwing et al. (2012) fandt et fald på 6 % i andelen af bruttoenergien, der blev til metan, når der blev givet et tilskud af 27 g fedtsyrer pr. kg TS, men effekten pr. kg TS-optagelse var ikke signifikant. Da der ikke er fundet studier af effekt på metan af tilskudsfedt til slagtekalve og kødkvæg er de angivne effekter i tabel 5.1.1, derfor kun anslåede effekter.

Relevans og potentiale

Da både fedtprodukter og fodermidler med et relativt højt fedtindhold kan anvendes til at øge rationens fedtindhold kan tiltaget straks tages i brug. Det forventes, at reduktion af metanemissionen i første omgang kan tages i anvendelse til malkekøer, og at ekstra fedt kan bruges til både konventielle og økologiske malkekøer, dog kan de økologiske besætninger have sværere ved at skaffe brugbare fedtkilder.

Effekt på drivhusgasudledning

Generelt formodes det, at alle malkekøer kan tildeles yderligere 20 g/kg TS i forhold til niveauet i 2017-2019 (Børsting et al. 2021), dog med forbehold for at hverken effekten eller sideeffekter er undersøgt til bunds hos goldkøer. De økologiske besætninger har i praksis sværere ved at tilsætte yderligere 20 g fedtsyrer pr. kg TS pga., at der er færre økologiske fodermidler med et højt fedtindhold.

Den maksimale udbredelse, defineret som et niveau, hvor der ikke forventes direkte afledte negative effekter på dyrenes sundhed eller produkternes ernæringsværdi i kombination med de praktiske muligheder, er estimeret som angivet i tabel 16 pr. årsdyr.

Tabel 5.1. Estimeret maksimal udbredelse brug af tilskudsfedt i 2030, % pr. årsdyr.

Produktionssystem	**Malkekeøer**	**Opdræt, malk-erace**	**Slagtekalve, malkerace**	**Ammekvæg**
Konventional	100	100	0	40
Økologisk	100	100	0	40

Tabel 5.2. Estimeret effekt af fodringstiltag (% reduktion i metan pr. årsdyr) i 2030 for de dyr, hvor tiltaget implementeres med ekstra 20 g fedtsyrer pr. kg TS.

Produktionssystem*	Malkekøer	Opdræt, malk-erace	Slagtekalve, malkerace	Ammekvæg
Konventional	8	4	0	4
Økologisk	6	3	0	3

*For konventionelle malkekøer er effekten baseret på forsøg, mens det for de øvrige kategorier er skønnede effekter. Der er regnet med lavere effekt for økologiske malkekøer, fordi de i sommerhalvåret er på græs en del af døgnet. For opdræt og ammekvæg er der regnet med mindre effekt end for malkekøer, fordi en del af disse er på græs hele døgnet i en del af året, idet der i denne periode ikke anvendes tilskudsfoder, og dermed heller ikke fedt.

Antages det, at emission af enterisk metan er 165 kg pr årsko (Albrektsen et al., 2021) så svarer det til 4.125 kg CO_2-ækv. pr årsko ved brug af en omregningfaktor på 25 kg CO_2-ækv. pr. kg metan. Med et reduktionspotentiale for 20 g ekstra fedtsyrer pr. kg TS på henholdsvis 8 og 6 % for konventionelle og økokøer vil det svare til en reduktion på henholdsvis 330 og 250 CO_2-ækv. pr årsko, der tildeles denne ekstra fedtmængde.

Samspil til andre virkemidler

Samspil med Bovaer

I afsnit 5.3 er der en omfattende gennemgang af forsøg til at belyse samspillet mellem foderets fedtindhold og tilskud af additivet Bovaer, så her gives kun et resume af disse forsøg. Kjeldsen et al. (2022) undersøgte effekten af at kombinere Bovaer (80 mg/kg tørstof) med tildeling af fedt til malkekøer. En foreløbig opgørelse viser, at der ikke var en vekselvirkning mellem de to tiltag. Et forsøg af Maigaard et al. (2022a)

har vist, at effekten af de to strategier ikke var additiv, dvs. der var ingen ekstra effekt af at øge fedtniveauet, når man også tildelte Bovaer.

Samspil med gyllehåndtering

Fodring med fedtholdige produkter kan i teorien give større udledninger af metan fra gylle i stalden og fra gyllelageret som følge af højere indhold af fedt i gyllen. Et forsøg af Hellwing et al. (2014) tydede dog ikke på, at dette er tilfældet.

Samspil med grovfodertype

Brask et al. (2013) har undersøgt effekten på enterisk metan af fedttilsætning til rationer med 65 % af TS fra henholdsvis tidlig slæt og sen slæt kløvergræsensilage samt majsensilage. Dette gav en reduktion i liter metan pr. kg TS på 3-6 %, uden vekselvirkning til grovfodertypen.

Andet

Tilskudsfedtets fedtsyresammensætning kan i nogen grad påvirke mælkens fedtsyresammensætning, hvilket kan påvirke mælkens effekt på human sundhed i både positiv og negativ retning.

Usikkerheder

De angivne effekter for konventionelle malkekøer er baseret på mange forsøg, så som gennemsnit forventes den anførte reduktion i tabel 5.1.2 at være af den rette størrelsesorden for køer fodret på stald med rationer, der er typiske på nuværende tidspunkt. Til gengæld har der været en del variation imellem effekten på tværs af forsøgene. Effektens størrelse er mere usikker under afgræsning og derfor er de økologiske køer sat til en mindre reduktion. For opdræt, slagtekalve og ammekvæg er værdier anslået ud fra en vurdering i forhold til reduktionen hos malkekøer.

Det er usikkert om den skønnede maksimale udbredelse kan nås i praksis.

Referencer:

Albrektsen, R., Mikkelsen, M.H., Gyldenkærne, S. (2021). Danish emission inventories for agriculture. Inventories 1985 – 2018. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 202 pp. Scientific Report No. 443. http://dce2.au.dk/pub/SR443.pdf.

Brask, M., Lund, P., Hellwing, A.L.H., Poulsen, M., Weisbjerg, M.R. (2013). Enteric methane production, digestibility and rumen fermentation in dairy cows fed different forages with and without rapeseed fat supplementation. Anim. Feed Sci. a. Technol.. 184, 67-79.

Børsting, C.F, Brask-Pedersen, D.N., Mogensen, L., Lamminen, M., Johansen, M., Lund, P. (2020). Græs versus majs – er det grovfoderet eller rationens sammensætning, der påvirker metan emissionen og mælkens klimaaftryk. Indlæg ved Fodringsdagen 9 september 2020. Internship (landbrugsinfo.dk)

Børsting, C.F, Brask-Pedersen, D.N., Mogensen, L., Lund, P. (2022a). Majs reducerer metan fra køerne – og kan reducere den samlede klimaeffekt ved høje majsudbytter. Plantekongressen. Februar 2022. Internship (landbrugsinfo.dk).

Børsting, C.F., Hellwing, A.L., Weisbjerg, M.R., Lund, P., Nielsen, N.I. (2019). Race og grovfoderandel har stor betydning for malkekøernes klimapåvirkning. 2019. Indlæg ved Fodringsdagen september 2019. Internship (landbrugsinfo.dk).

Børsting, C.F., Johansen, M., Lund, P., Møller, H.B. (2020). Notat vedr. optimeret fodring med øget fedt til kvæg og reduktionseffekt på enterisk metan. Notat til Miljø- og Fødevareministeriet. 11 pp.

Børsting, C.F., Weisbjerg, M.R., Lund, P., Kjeldsen, M.H., Johansen, M., Adamsen, A.P. S., Møller, H.B. (2021). Notat vedr. anvendelse af fedt til malkekøer som virkemiddel til reduktion af drivhusgasser. 14 pp. No. 2020-0166156.

Børsting, C.F., Lashkari, S., Weisbjerg, M.R., Foldager, L. (2022b). Notat vedr. tildeling af fedt til malkekøer i tidlig laktation belyst ved en meta-analyse af resultater fra litteraturen samt gennemgang af andre forhold vedr. fodring af malkekøer med tilskudsfedt. Notat til Miljø- og Fødevareministeriet. 9 pp.

Hellwing, A.L.F, Jørgensen, K.F, Vestergaard, M., Weisbjerg, M.R. (2011). Methane production in bull calves fed rations based on grain or different levels of high-moisture corn kernel silage. Proceedings of the 2nd Nordic Feed Science Conference. Report no. 277 from Swedish University of Agric. Sci.48-52.

Hellwing, A.L.F., Lund, P, Mogensen, L., Vestergaard, M. (2018). Growth, feed intake, methane emissions and carbon foot print from Holstein bull calves fed four different rations. Livestock Science. 214, 51-61.

Hellwing, A.L.F., Sørensen, M.T., Weisbjerg, M.R., Vestergaard, M., Lund, P. (2012). Can crushed rapeseed lower methane emission from heifers? DOI:10.1080/09064702.2013.788203. Acta Agric. Scand., Sect. A., Anim. Sci. 62, 259-262.

Hellwing, A.L.F, Weisbjerg, M.R., Møller, H.B. (2014). Enteric and manure-derived methane emissions and biogas yield of slurry from dairy cows fed grass silage or maize silage with and without supplementation of rapeseed. Livestock Science. 165, 189-199.

Johansen, M., Søegaard, K., Lund, P., Weisbjerg, M. R. (2017). Digestibility and clover proportion determine milk production when silages of different grass and clover species are fed to dairy cows. https://doi.org/10.3168/jds.2017-13401. J. Dairy Sci. 100, 8861-8880.

Kjeldsen, M. ., Weisbjerg, M.R., Walker, N., Hellwing, A.L.F., Lund, P. (2022). Gas exchanges and dry matter intake when lactating cows are fed 3-NOP and fat. Proceedings of the 8th International Greenhouse Gas & Animal Agriculture Conference (GGAA), 146.

Lashkari, S., Weisbjerg, M. ., Foldager, L., Børsting, C.F. (2022b). Fat supplement for dairy cows during early lactation – potentials, challenges, and risks – a meta-analysis. 2022. Submitted to J. Dairy Sci.

Maigaard, M. Weisbjerg, M.R., Johansen, M., Lund, P. (2022a). Combined effects of dietary fat, nitrate amd 3-NOP in dairy cow´enteric methane emission. Proceedings of the 8th International Greenhouse Gas & Animal Agriculture Conference (GGAA), 187.

Niu, M., E. Kebreab A.N. Hristov, J. C. Arndt, A. Bannink, A.R. Bayat, A.F. Brito, T. Boland, D. Casper, L. A. Crompton, J. Dijkstra, M.A. Eugène, P.C. Garnsworthy, M.N. Haque, A.L.F. Hellwing, P. Huhtanen, M. Kreuzer, B. Kuhla, P. Lund, J. Madsen, C. Martin, S.C. McClelland, M. McGee, P. J. Moate, S. Muetzel, C. Muñoz, P. O'Kiely, N. Peiren, C. K. Reynolds, A. Schwarm, K.J. Shingfield, T. M. Storlien, M.R. Weisbjerg, D. R. Yáñez-Ruiz, & Z. Yu. (2018). Prediction of enteric methane production, yield, and intensity in dairy cattle using an intercontinental database. Glob. Change Biol., 1-22

NRC. Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Eights Revised Edition. (2021). Washington, DC: The National Academies Press. https://doi.org./10.17226/25806

Olijhoek, D.W., Hellwing, A.L.F., Noel, S.J., Lund, P., Larsen, M., Weisbjerg, M.R., Børsting, C.F. (2021). Feeding up to 91% concentrate to Holstein and Jersey dairy cows: effects on enteric methane emission, rumen volatile fatty acids, nutrient digestibility, production, feeding behavior, and rumen bacterial community structure. Dairy Sci. TBC:1–19 https://doi.org/10.3168/jds.2021-21676

Anvendelse af metanreducerende tilsætningsstoffer i foder til kvæg (KVM5.3)

Forfattere: Peter Lund, Maria Holst Kjeldsen & Morten Maigaard, Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab.

Fagfællebedømmer: Martin Riis Weisbjerg, Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab.

Der findes en række tilsætningsstoffer (foderadditiver) til drøvtyggere som f.eks. nitrat, sulfat, 3-nitrooxypropanol (3-NOP), forskellige tangarter og essentielle olier, tanniner og saponiner som alle har haft en reducerende effekt på enteriske metan i in vitro forsøg og/eller dyreforsøg (Almeida et al., 2021; Arndt et al., 2022). For at et tiltag til reduktion af metan kan vurderes som validt, forventes det imidlertid at effekten er konsistent og dokumenteret i en række forsøg udført på forskellige forsøgsinstitutioner og ved brug af den aktuelle dyreart og dyregruppe. I dette tilfælde er dyrearten kvæg, og dyregrupperne er primært malkekøer, men også opdræt og kødkvæg. Endvidere er det ønskeligt, at effekten er målt med de mest præcise og anderkendte målemetoder, hvor GreenFeed målesystemet til måling af individuel emission af metan fra en gruppe af fritgående dyr og respirationskamre (Golden Standard metoden) til måling på få og opbundne dyr, er de foretrukne metoder. Endeligt er det afgørende, at effekten er publiceret i en række peer-reviewede tidsskrifter, som er anderkendte inden for forskningsområdet og gerne i form af meta-analyser, hvor data er samlet fra en række forsøg inden statistisk databehandling på tværs af forsøgene. 3-nitrooxypropanol er det eneste foderadditiv, hvor effekten er verificeret af EFSA (EFSA, 2021) og godkendt

i EU under tilsætningsstofkategorien "»zootekniske tilsætningsstoffer"« og den funktionelle gruppe "»stoffer, der har en gavnlig indvirkning på miljøet"« og "som tilsætningsstof til foder til malkekøer og avlskøer" (EU, 2022). Det er dog ikke umiddelbart klart, hvad "avlskøer" her dækker over. Dette kapitel vil derfor alene omhandle 3-nitrooxypropanol. Handelsnavnet for 3-nitrooxypropanol er Bovaer, og dette vil blive brugt i den resterende del af kapitlet, med mindre der direkte henvises til det aktive stof som sådan.

Anvendelse

Formålet med brug af Bovaer er at opnå en reduktion i produktionen af enterisk metan fra den mikrobielle fermentering i vommen hos kvæg. DSM, som producerer tilsætningsstoffet, fortolker ovenstående EU godkendelse som, at Bovaer må bruges til kvier efter første inseminering og til køer uanset om det er malkende køer, goldkøer eller kødkvæg (Christer Ohlsson, pers. med. 2022). Godkendelsen omfatter en dosering på 53-80 mg/kg fuldfoder med 12% vand (EU, 2022) svarende til 60 til 91 mg 3-nitrooxypropanol/kg fodertørstof. Virkningsmekanismen er, at det aktive stof, 3-nitrooxypropanol, hæmmer et særligt enzymsystem, methyl-coenzym M reduktase (MCR), som er unikt for metanogenerne. Både 3-nitrooxypropanol og nedbrydningsproduktet nitrit binder til dette enzymsystem, hvorved nikkel oxideres fra Ni^{+} til Ni^{2+} og enzymsystemet inaktiveres. Under inaktiveringen af MCR enzymet nedbrydes 3-nitrooxypropanol til nitrat og nitrit (Duin et al., 2016). Nitrat kan være tilstede i den normale foderration og særligt ved fodring med meget græsrige rationer, mens nitrit kan dannes ved den naturlige omsætning af nitrat i vommen, og derfor ikke forventes at have en negativ effekt ved den foreslåede dosering (Olijhoek et al., 2016), en dosering som er meget lav i forhold til hvad der naturligt kan forekomme af nitrat i foderet.

Relevans og potentiale

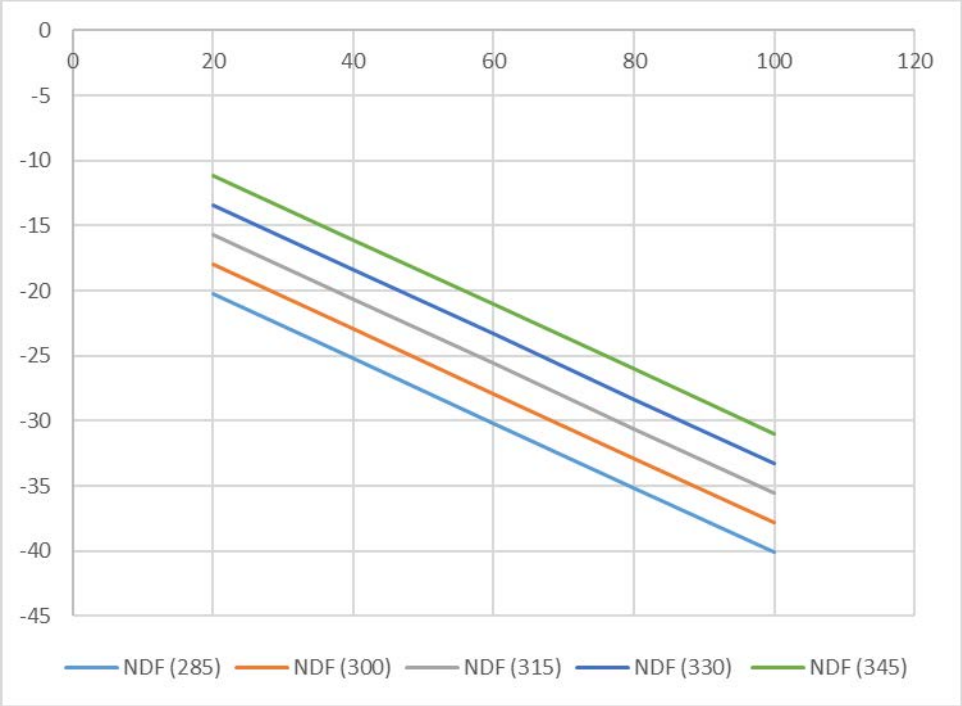
Da produktet er godkendt i EU kan det allerede tages i brug som tilsætningsstof. Det forventes, at Bovaer i første omgang vil blive taget i anvendelse til malkekøer og at Bovaer kan bruges til alle konventielle malkekøer, men ikke til økologiske køer for nærværende.

Effekt på drivhusgasudledning

Dijkstra et al. (2018) har samlet den daværende litteratur baseret på data fra malkekøer og kødkvæg, og hvor metan er kvantificeret ved hjælp af en af ovennævnte metoder. Der indgår data fra 9 artikler, 11 forsøg og i alt 38 forskellige behandlinger. Analysen viste at produktionen af metan (g/d) faldt med gennemsnitligt 39 % for malkekøer og med 22 % for kødkvæg, mens metan udtrykt som g/kg fodertørstof faldt med gennemsnitligt 39 % for malkekøer og med 17 % for kødkvæg, hvilket indikerer at niveauet af 3-nitrooxypropanol skal være højere i foder til kødkvæg sammenlignet med malkekøer for at opnå en tilsvarende reduktion i metan. Den højere effekt af 3-nitrooxypropanol i malkekøer i forhold til kødkvæg kan eventuelt skyldes forskelle i rationens sammensætning samt forskelle i foderniveau. På tværs af dyregrupper og ved den gennemsnitlige dosis af 3-nitrooxypropanol (123 mg/kg fodertørstof) var reduktionen i metan produktion (g/d) 33 % og var 29 % når den blev sat i relation til foderoptagelse, og

udtrykt i g/kg fodertørstof. Endvidere viste analysen, at en øgning af indhold af 3-nitrooxypropanol i rationen med yderligere 10 mg/kg fodertørstof i forhold til gennemsnittet på 123 mg/kg fodertørstof reducerede produktionen af metan med yderligere 2,6 % og metan udtrykt som g/kg fodertørstof faldt med 2,5 % for hver ekstra 10 mg/kg fodertørstof. En tilsvarende mindre reduktion i enterisk metan ses hvis dosis sænkes tilsvarende. Et øget indhold af NDF i rationen vil som udgangspunkt medføre en højere produktion af metan, da fiber fremmer produktionen af eddikesyre i vommen, og dermed produktionen af brint som indgår i metanogenesen. Meta-analysen viste i overensstemmelse med dette, at en øgning af indholdet af NDF (fiber) i rationen på 10 g per kg fodertørstof i forhold til gennemsnittet på 331 g NDF/kg fodertørstof, reducerede effekten af 3-nitrooxypropanol på produktionen af metan med 1,6 % og metan udtrykt som g/kg fodertørstof med 1,5 % for hver ekstra 10 g NDF/kg fodertørstof. Et tilsvarende øget respons i enterisk metan ses hvis indholdet af NDF sænkes tilsvarende. van Gastelen et al. (2019) har også samlet den relevante litteratur og konkluderer, at tilsætning af 3-nitrooxypropanol reducerede metan med 25-41 % hos malkekøer. Nedenstående Figur 5.1 viser effekt på enterisk metan (% reduktion, y-akse) ved forskellige koncentrationer af Bovaer i rationen (mg/kg tørstof, x-akse) og ved forskellige indhold af NDF i rationen, baseret på modellen af Dijkstra et al. (2018).

På baggrund af en række danske og hollandske forsøg (se nedenfor) forventes dosis af Bovaer under danske forhold at være 60 mg/kg tørstof baseret på en afvejning af reduktionspotentiale og risiko for reduktion i foderoptagelse. Samtidig er indholdet af NDF i danske rationer i gennemsnit 315 g/kg tørstof (Martinussen & Kjeldsen, 2021). Dette svarer ifølge Figur 5.1 til et reduktionspotentiale på ca. 25 % under danske forhold.



Figur 5.1. Effekt på enterisk metan (g/kg fodertørstof) udtrykt i % (y-akse) ved forskellige koncentrationer af Bovaer i rationen (mg/kg tørstof, x-akse) og ved forskellige indhold af NDF i rationen (285-345 g/kg tørstof), baseret på modellen af Dijkstra et al. (2018): Effekt (%) = -38,8 - 0,248x([3-NOP]-[3-NOP]middel) + 0,152x([NDF]-[NDF]middel), hvor [3-NOP]middel er 123 mg/kg tørstof og [NDF]middel er 331 g/kg tørstof.

Efter meta-analysen af Dijkstra et al. (2018) er der gennemført en række forsøg under nordeuropæiske forhold, dvs. primært i Danmark og i Holland.

I et dansk intensivt forsøg med 4 vom- og tarmfistulerede malkekøer fodret med kombinationer af Bovaer (0 eller 80 mg/kg tørstof) og forskellige fedtniveauer fandt Kjeldsen et al. (2022), at tildeling af Bovaer i en dosis på 80 mg/kg tørstof reducerede enterisk (L/kg tørstof) med 21-28 % (gennemsnit 25 %).

I et dansk produktionsforsøg med 48 malkekøer, som blev fodret kombinationer af Bovaer, nitrat og fedt fandt Maigaard et al. (2022a), at tildeling af Bovaer i en dosis på 80 mg/kg tørstof reducerede enterisk metan (g/kg tørstof) med 27 % når tildeling alene af Bovaer blev sammenlignet med kontrol. Tildeling af en kombination af Bovaer, nitrat og mere fedt reducerede enterisk metan (g/kg tørstof) med 23 %.

I et dansk produktionsforsøg med 72 malkekøer, som blev fodret kombinationer af Bovaer (0, 60 og 80 mg/kg tørstof) og forskellige forhold mellem græsensilage og majsensilage i rationen fandt Maigaard et al. (2022b) at tildeling af Bovaer i en dosis på 60 mg/kg tørstof reducerede enterisk metan (g/kg tørstof) med 30 % i en græsbaseret ration og 38 % i en majsbaseret ration. Derudover viste forsøget, at tildeling af Bovaer i en dosis på 80 mg/kg tørstof reducerede enterisk metan (g/kg tørstof) med 27 % og 35 % i henholdsvis en græs- og en majsbaseret ration. De opnåede reduktioner i dette forsøg var henholdsvis 4 og 12 procent-

point højere, end hvad modellen af Dijkstra et al. (2018) prædikterede ved en dosis på 60 mg/kg tørstof, og henholdsvis 5 procent-point lavere og 5 procent-point højere end hvad modellen prædikterede ved en dosis på 80 mg/kg tørstof. Dette indikerer, at modellen af Dijkstra et al. (2018) måske underestimerer effekten af Bovaer i typiske danske rationer, når det tildeles i en dosis på 60 mg/kg tørstof, mens effekten er mindre entydig ved en dosis på 80 mg/kg tørstof.

I et tilsvarende hollandsk produktionsforsøg fandt van Gastelen et al. (2022) en reduktion i enterisk metan (g/kg tørstof) på ca. 27 % i en græsbaseret ration og ca. 35 % i en majsbaseret ration ved en dosis på 60 mg/kg tørstof. Ved 80 mg var de tilsvarende reduktioner henholdsvis ca. 29 % og 42 %. Her var den opnåede effekt 4-11 procent-point højere end prædikteret ved en dosis på 60 mg/kg tørstof og 0-13 procent-point højere ved en dosis på 80 mg/kg tørstof. Tilsvarende det danske forsøg synes den i praksis opnåede effekt især at være højere end den prædikterede effekt i majsrige foderrationer, hvilket indikerer at andre faktorer end dosis og NDF niveau, som f.eks. stivelsesindhold, påvirker effekten af Bovaer i praksis.

I et hollandsk studie med malkekøer i tidlig laktation fandt van Gastelen et al. (2020) at en dosis på 51 mg/kg tørstof reducerede enterisk metan (g/kg tørstof) med 16 %.

Antages det, at emission af enterisk metan er 165 kg pr årsko (Albrektsen et al., 2021) så svarer det til 4117 kg CO_2-ækv. pr årsko ved brug af en omregningfaktor på 25 for at gå fra kg metan til kg CO_2-ækv. Baseret på ovenstående vurderes det, at Bovaer ikke kan anvendes i en højere dosis end 60 mg/kg tørstof under nord-europæiske forhold, og at dette svarer til et reduktionspotentiale på 25-30 %. Det skal hertil bemærkes, at reduktionspotentialet er meget afhængigt af rationens sammensætning – særligt i forhold til valg af grovfodertype og sandsynligvis også grovfoderkvalitet. Et reduktionspotentiale for Bovaer på 25-30 % vil derfor svare til en reduktion på 1029-1235 kg CO_2-ækv. pr årsko.

Samspil til andre virkemidler

Kjeldsen et al. (2022) undersøgte effekten af at kombinere Bovaer (80 mg/kg tørstof) med tildeling af fedt i et intensivt forsøg med vom- og tarmfistulerede malkekøer. En foreløbig opgørelse viser, at der ikke var en vekselvirkning mellem tildeling af Bovaer og øget fedtniveau i rationen.

Maigaard et al. (2022a) undersøgte i et dansk produktionsforsøg med 48 malkekøer effekten af Bovaer (80 mg/kg tørstof) når det blev brugt alene eller sammen med tildeling af fedt og/eller nitrat, som værende de 3 mest lovende strategier til reduktion af enterisk metan hos malkekøer. Forsøget viste, at effekten af de 3 strategier på enterisk metan ikke var additiv, dvs. der var ingen ekstra effekt af at tildele nitrat eller øge fedtniveauet i rationen, når man tildelte Bovaer.

Valg af grovfoder kan påvirke det samlede klimaaftryk i både positiv og negativ retning både pga. forskelle i aftryk fra dyrkning af foderet og som følge af forskelle i enterisk metan, når f.eks. græsensilage udskiftes med majsensilage. Effekten af Bovaer på enterisk metan-produktion synes at være afhængig af rationens

sammensætning og særligt rationens fiberniveau og –type og stivelsesniveau og –type. Der er således set forskelle i repons afhængig af type af grovfoder (Van Gastelen et al., 2022; Maigaard et al., 2022b). Van Gastelen et al. (2022) fandt, at udskiftning af græsensilage med majsensilage medførte en øget reduktion i enterisk metan udtrykt i g/dag, g/kg fodertørstof og g/kg EKM, når Bovaer blev tildelt i doser på enten 60 og 80 mg/kg tørstof. Helt tilsvarende fandt Maigaard et al. (2022b) i et dansk forsøg, at reduktionen i enterisk metan (g/kg fodertørstof) var 30 % i en græsbaseret ration og 38 % i en majsbaseret ration, når Bovaer blev tildelt i en dosis på 60 mg/kg tørstof. Når reduktionen i enterisk metan istedet blev udtrykt som g/kg EKM var reduktionen 31 % i den græsbaserede ration og 38 % i den majsbaserede ration. Responset i metan-reduktion ved en dosis på 80 mg for de forskellige foderrationer var helt tilsvarende responset med en dosis på 60 mg.

Brug af Bovaer har især i danske forsøg resulteret i reduktion i foderoptagelse.

I et intensivt forsøg med 4 vom- og tarmfistulerede malkekøer fodret med kombinationer af Bovaer (0 eller 80 mg/kg tørstof) og forskelligt fedtniveau fandt Kjeldsen et al. (2022), at tildeling af Bovaer i en dosis på 80 mg/kg tørstof reducerede foderoptagelsen (kg tørstof/dag) med 13-21 % (gennemsnit 17 %).

I et produktionsforsøg med 48 malkekøer, hvor der blev fodret med kombinationer af Bovaer, nitrat og fedt fandt Maigaard et al. (2022a), at tildeling af Bovaer (80 mg/kg tørstof) reducerede foderoptagelsen (kg tørstof/dag) med 12 % i en direkte sammenligning med køer på kontrolbehandlingen, og køer som alene fik tildelt Bovaer og ikke nitrat eller højt fedtniveau.

Maigaard et al. (2022b) fandt, at foderoptagelsen (kg tørstof pr dag) ved tildeling af Bovaer i en dosis på 80 mg/kg tørstof blev signifikant reduceret med 12 % i en majsbaseret ration, men reduktionen kun var numerisk i græsbaserede rationer (6 %). I rationer med en dosis på 60 mg/kg tørstof var reduktionerne i foderoptagelse kun numeriske og på henholdsvis 3 % og 2 % i græs- og majsbaserede rationer.

Van Gastelen et al. (2022) fandt, at foderoptagelsen (kg tørstof/dag) blev signifiant reduceret både ved en dosis på 60 mg/kg tørstof (3 %) og ved en dosis på 80 mg/tørstof (6 %), og at denne reduktion var uafhængig af rationens indhold af majs- og græsensilage. Det var imidlertid kun ved en dosis på 80 mg/tørstof at også mælkeydelsen var signifikant reduceret.

I et hollandsk studie med malkekøer i tidlig laktation fandt van Gastelen et al. (2020), at en dosis på 51 mg/kg tørstof ikke påvirkede foderoptagelsen (kg tørstof pr dag).

Usikkerheder

Som tidligere nævnt synes den metan-reducerende effekt af Bovaer at være afhængig af dosis og rationens sammensætning, og dette synes at være særligt gældende under nord-europæiske forhold. Der er derfor et akut forskningsbehov for forsøg, som undersøger sammenhængen mellem brugen af Bovaer ved en dosis på de anbefalede 60 mg/kg tørstof og forskellige andre virkemidler/foderadditiver. Endvidere

er der behov for kvantificering af, om den anbefalede dosis på 60 mg/kg tørstof har en potentiel negativ effekt på foderoptagelse og produktion, samt om den metanreducerende effekt er ens på tværs af f.eks. foderrationens sammensætning, race, produktionsniveau, produktionssystem mm. Dette vil sikre, at der er grundlag for en bedriftsspecifik vurdering af effekten på enterisk metanproduktion ved brug af Bovaer, som afhænger af produktionsmæssige forhold på den enkelte bedrift.

Referencer:

Albrektsen, R., Mikkelsen, M.H., Gyldenkærne, S. (2021). Danish emission inventories for agriculture. Inventories 1985 – 2018. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 202 pp. Scientific Report No. 443. http://dce2.au.dk/pub/SR443.pdf

Almeida, A.K., Hegarty, R.S., Cowie, A. (2021). Meta-analysis quantifying the potential of dietary additives and rumen modifiers for methane mitigation in ruminant production systems. Animal Nutrition, 7, 1219-1230. /doi.org/10.1016/j.aninu.2021.09.005.

Arndt, C., Hristov, A.N., Price, W.J., McClelland, S.C., Pelaez, A.M., Cueva, S.F., Oh, J., Dijkstra, J., Bannink, A., Bayat, A.R., Crompton, L.A., Eugene, M.A., Enahoro, D., Kebreab, E., Kreuzer, M., McGee, M., Martin, C., Newbold, C.J., Reynolds, C.K., Schwarm, A., Shingfield, K.J., Veneman, J.B. Yanez-Ruiz, D., Yu, Z. (2022). Full adaptation of the most effective strategies to mitigate methane emissions by ruminants can help meet the 1.5 °C target by 2030 but not 2050. PNAS, 119, 20, 10 sider. doi.org/10.1073/pnas.2111294119.

Dijkstra, J., Bannink, A., France, J., Kebreab, E., van Gastelen, S. (2018) Short communication: Antimethanogenic effects of 3-nitrooxypropanol depend on supplementation dose, dietary fiber content, and cattle type. Journal of Dairy Science, 101, 9041-9047. doi.org/10.3168/jds.2018-14456.

Duin, E.C., Wagner, T., Shima, S., Prakash, D., Cronin, B., Yáñez-Ruiz, D.R., Duval, S., Rümbeli, R., Stemmler, R.T., Thauer, R.K., Kindermann, M. (2016). Mode of action uncovered for the specific reduction of methane emissions from ruminants by the small molecule 3-nitrooxypropanol. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 113, 6172-6177.

EFSA (2021). Safety and efficacy of a feed additive consisting of 3-nitrooxypropanol (Bovaer® 10) for ruminants for milk production and reproduction (DSM Nutritional Products Ltd). EFSA Journal, 19, 6905, 35 sider. doi: 10.2903/j.efsa.2021.6905.

EU (2022). Kommissionens gennemførelsesforordning (EU) 2022/565 af 7. april 2022 om godkendelse af et præparat af 3-nitrooxypropanol som tilsætningsstof til foder til malkekøer og avlskøer (indehaver af godkendelsen: DSM Nutritional Products Ltd, repræsenteret i EU af DSM Nutritional Products Sp. z o.o.). 3 sider.

Kjeldsen, M.H., Weisbjerg, M.R., Walker, N., Hellwing, A.L.F., Lund, P. (2022). Gas exchanges and dry matter intake when lactating cows are fed 3-NOP and fat. Proceedings of the 8th International Greenhouse Gas & Animal Agriculture Conference (GGAA), 146.

Maigaard, M. Weisbjerg, M.R., Johansen, M., Lund, P. (2022a). Combined effects of dietary fat, nitrate amd 3-NOP in dairy cow´enteric methane emission. Proceedings of the 8th International Greenhouse Gas & Animal Agriculture Conference (GGAA), 187.

Maigaard, M., Weisbjerg, M.R., Lund, P., Ohlsson, C., Walker, N. (2022b). Effekten af 3-NOP afhænger af dosis og grovfodertype. Indlæg Fodringsdag 2022. https://www.landbrugsinfo.dk/-/media/landbrugs-info/public/8/e/9/fd22_effekten_3nop_afh_af_dosis_og_grovfoder-type_morten_maigaard.pdf

Martinussen, H., Kjeldsen, A.M. (2021). Indhold af næringsstoffer i foderrationer til malkekøer. Notat, SEGES. 2 s.

Ohlsson, C. (2022). Pers. comm., DSM.

Olijhoek, D.W., Hellwing, A.L.F., Brask, M., Weisbjerg, M.R., Højberg, O., Larsen, M.K., Dijkstra, J., Erlandsen, E.J., Lund, P. (2016). Effect of dietary nitrate level on enteric methane production, hydrogen emission, rumen fermentation, and nutrient digestibility in dairy cows. J. Dairy Sci. 99, 6191-6205.

van Gastelen, S., Bannink, A., Dijkstra, J. (2019). Are dietary strategies to mitigate enteric methane emission equally effective across dairy cattle, beef cattle, and sheep? Journal of Dairy Science, 102, 6109-6130, doi: 10.3168/jds.2018-15785.

van Gastelen, S., Dijkstra, J. , Binnendijk, G., Duval, S.M., Heck, J.M.L., Kindermann, M., Zandstra, T., Bannink, A. (2020). 3-Nitrooxypropanol decreases methane emissions and increases hydrogen emissions of early lactation dairy cows, with associated changes in nutrient digestibility and energy metabolism. Journal of Dairy Science, 103, 8074–8093, doi.org/10.3168/jds.2019-17936.

van Gastelen, S., Dijkstra, J., Heck, J.M.L., Kindermann, M., Klop, A., de Moi, R., Rijnders, D., Walker, N. , Bannink, A. (2022). Methane mitigation potential of 3-nitrooxypropanol in lactating cows is incluenced by basal diet composition. Journal of Dairy Science, 105, 4064-4082, doi.org/10.3168/jds.2021-20782

Genetisk selektion af malkekvæg (KVM5.4)

Forfatter: Trine Michelle Villumsen, Center for Kvantitativ Genetik og Genomforskning.

Fagfællebedømmer: Peter Løvendahl, Center for Kvantitativ Genetik og Genomforskning.

Genetisk selektion af malkekvæg med henblik på lavere klimabelastning har fokus reduktion af malkekøernes metanproduktion pr producerede kg mælk og kød. Der er overordnet set to måder hvor man via genetisk selektion kan påvirke klimabelastningen:

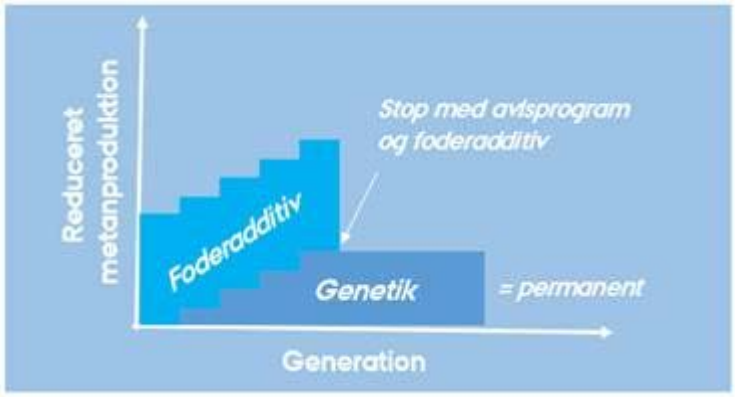
1. Inddragelse af egenskaber i avlsmålet der påvirker metanproduktionen.
2. Strukturelle ændringer af kvægavlen.

Relevante egenskaber i forbindelse med genetisk selektion af malkekvæg efter mindre klimabelastning omfatter både egenskaber hvor der selekteres direkte efter mindre metanproduktion på baggrund af individuelle metanmålinger på køerne, samt egenskaber hvor der sker en indirekte selektion på baggrund af egenskaber som er genetisk korrelerede med metanproduktionen, fx fodereffektivitet.

De strukturelle ændringer er af mere overordnet karakter. De kan bl.a. omfatte et større fokus på produktion af kød fra malkekvæg og deres afkom, frem for kødkvæg, idet produktionen af kød på kødkvæg har et klimaaftryk som er tre gange højere end kød fra malkekvæg og afkom af disse (Mogensen et al., 2016). Dette kan fx ske ved at avle i retning af toformålsracer hvor kødproduktion har en relativt større vægt i avlsmålet. Et andet eksempel på en strukturel ændring er systematisk krydsning af racer for at opnå krydsningsfrodighed på egenskaber såsom sundhed og holdbarhed. Et tredje eksempel er mere systematisk anvendelse af kønssorteret sæd til at producere kvier, og kødkvægssæd på resterende køer til at producere slagtedyr af høj kvalitet. Der må forventes at være synergieffekter ved både at inddrage nye egenskaber og foretage strukturelle ændringer i kvægavlen

I forhold til selektion af malkekvæg for lavere klimabelastning har der rent forskningsmæssigt hidtil været størst fokus på inddragelse af nye egenskaber i avlsmålet, frem for det potentiale der er ved at ændre på strukturen i kvægavlen. I den efterfølgende tekst er der således størst fokus på inddragelse af nye egenskaber, som har relation til malkekøers metanproduktion.

Malkekøers metanproduktion har i mindre studier fra både Danmark og Internationalt vist sig at have en moderat arvbarhed i størrelsesordenen 0,1 til 0,3, men ofte omkring 0,2 afhængig af definitionen af metanfænotypen (fx Hayes et al., (2016), Lassen & Løvendahl (2016), Manzanilla-Pech et al. (2022a)). Arvbarheden er et udtryk for andelen af den variation man observerer mellem køers metanudskillelse, som skyldes deres gener. Der er dermed en begrundet forventning om, at genetisk selektion efter reduceret metanudledning pr kg mælk og kød kan blive en vigtig brik i reduktionen af klimagasser fra kvægproduktionen. Det er vigtigt at være opmærksom på, at avl efter køer der producerer mindre metan pr kg mælk og kød er en langsommere proces end en et managementmæssigt tiltag som fx tilsætning af et foderadditiv, der har en øjeblikkelig effekt, men kun så længe additivet tilsættes. Genetiske ændringer er små for hver generation, men til forskel fra managementmæssige tiltag er ændringerne permanente og kumulative over hver efterfølgende generation. Dette er illustreret skematisk i nedenstående Figur 5.2, med et foderadditiv som eksempel på et managementmæssigt tiltag.



Figur 5.2. Skematisk illustration af forskellen mellem et managementmæssigt tiltag og avlsprogram til reduktion af metanproduktion hos malkekøer.

I dag selekteres malkekøer på baggrund af mange egenskaber såsom mælkeydelse, kælvningsevne og sygdomsforekomst, som sammen indgår i et totaløkonomisk indeks (Nordic Total Merit, NTM). I NTM har hver egenskab en økonomisk vægt der sammen med egenskabernes arvbarheder og genetiske korrelationer, er bestemmende for den genetiske fremgang for hver egenskab. Jo større relativ vægt der lægges på en given egenskab, jo større fremgang for egenskaben kan forventes.

Fælles for egenskaberne i NTM er, at det er de omhyggelige registreringer fra danske kvægbesætninger, og indberetningen til en landsdækkende database, som giver grundlag for den genetisk fremgang.

Indirekte selektion for reduceret metanproduktion på baggrund af egenskaber korreleret til metanproduktionen er en brugbar strategi for at nedbringe metanproduktionen pr kg mælk og kød, men det vil altid være mere effektivt også at selektere direkte for reduceret metanproduktion pr. kg mælk og kød.

De første forudsætninger for at selektere køer direkte for reduceret metanudledning er, at der er gode registreringer af metanproduktionen fra et stort antal malkekøer, der repræsenterer et bredt udsnit af parametre som kan have betydning for metanproduktionen, såsom ydelsesniveau, race, produktionssystem, laktation og laktationsstadie. Der er desuden behov for etablering af en central metandatabase som kan danne grundlag for udvikling af genetiske modeller for metanproduktion.

Over en årerække har Aarhus Universitet (QGG) været involveret i udviklingen af et relativt prisbilligt apparat til måling af metankoncentration som kan anvendes i private malkerobotbesætninger, en såkaldt sniffer som måler metan- og kuldioxidkoncentration i køers udåndingsluft i malkerobottens fodertrug under hver malkning, typisk 2-5 daglige målinger á 4-10 minutters varighed for hver ko.

Sniffermetoden har vist sig at være tilstrækkelig nøjagtig til, at det er muligt at anvende koncentrationerne som grundlag for genetisk selektion. Udviklingen af snifferen har dannet grundlag for, at det er muligt at

opskalere antallet af metanmålinger til at omfatte målinger i mange private besætninger med malkerobotter.

Der er i øjeblikket flere igangværende forskningsprojekter som har fokus på storskala metanmålinger i private besætninger og udvikling af en database som sammen med afstamnings- og DNA information skal danne grundlag for udviklingen af genomiske modeller til avlsværdivurdering der kan rangere malkekøer efter deres metanproduktion. Det vil være muligt at avlsværdivurdere alle danske malkekøer, også dem uden egne metanmålinger, på bagrund af slægtskab og DNA information. Men sikkerheden på avlsværdierne vil blive højere jo mere information (egen/slægtninges) der ligger til grund for avlsværdien.

I NTM indekset selekteres der allerede for lavere klimabelastning, da der selekteres for egenskaber som er korreleret til metanproduktionen, fx mælkeydelse. Når køer selekteres for højere mælkeydelse sker der indirekte også en selektion for lavere metanproduktion pr kg mælk. Dette er bekræftet af et belgisk studie af Kandel et al. (2018) som fandt et korreleret respons mellem mælkeydelse og metan/kg mælk på -0,15 dvs. højere ydelse giver mindre metan/kg mælk, selv når metan ikke indgår i indekset.

Et simuleringsstudie af Haas et al. (2021) baseret på det hollandske totaløkonomiske indeks og sammenhørende genetiske parametre fandt tilsvarende at der kan forventes 13 % mindre metan/kg produceret mælk i 2050 som et udtryk for, at der indgår egenskaber der er korreleret til metanproduktionen i indekset. Når metan/kg mælk blev inkluderet som en selvstændig egenskab i indekset med en økonomisk vægt svarende til CO_2 kvoteprisen i 2021, så kunne der forventes en reduktion i metanudledningen pr kg mælk på 24 % i 2050. I studiet understreges, at for at opnå tilstrækkelig sikkerhed på indekserne (>0,4) for at selektere for reduceret metan pr kg mælk, så kræves der tilstrækkelig med data fra køer i mange besætninger, samt DNA information fra disse køer. Studiet understreger desuden, at direkte selektion er mere effektiv end indirekte selektion.

Et review af Løvendahl et al. (2018) har beskrevet hvordan flere studier har vist en sammenhæng mellem fodereffektivitet og metanproduktion, hvor mere fodereffektive køer producerer mindre metan pr kg mælk.

Manzanilla-Pech et al., (2022a) har beregnet arvbarheder og genetiske korrelationer for forskellige metanfænotyper og forskellige definitioner af fodereffektivitet på baggrund af registreringer fra Danmarks Kvægforskningscenter. De fandt arvbarheder for henholdsvis metan- og fodereffektivitetsfænotyperne på hhv. omkring 0,2 og 0,15. De fandt også moderat gunstige genetiske korrelationer mellem metan/kg mælk og fodereffektivitet. Resultaterne viste at de genetiske parametre og sammenhænge er meget påvirket af hvordan egenskaberne defineres, og det derfor er vigtigt at få fastlagt hvilken definition af hhv. metanfænotype og fodereffektivitet der er den bedste kandidat til fremtidige avlsværdivurderinger med henblik på at reducere klimabelastningen. Dette studie bekræftede også, at den genetiske korrelation mellem egenskaberne bevirker at en selektion for mere fodereffektive køer vil resultere i mindre metan/kg mælk selv om metan ikke indgår i indekset, mens inddragelse af både metan og fodereffektivitet som

selvstændige egenskaber i det totaløkonomiske indeks vil reducere klimabelastningen yderligere ligesom det er tilfældet ved selektion for højere ydelse.

En af forudsætningerne for at beregne fodereffektivitet er kendskabet til individuel foderoptagelse. Individuel foderoptagelse er generelt omkostningstungt og tidskrævende at registrere, men gennem de seneste år har kvægavlsforeningen Viking Genetics har sammen med Teknologisk Institut udviklet en metode til at beregne individuel foderoptagelse for køer i private besætninger, på baggrund af 3D kameraovervågning, hvilket bl.a. har givet mulighed for storskala registrering af denne egenskab. Et igangværende forskningsprojekt, som foreløbigt er baseret på foderoptagelse fra omkring 4.000 køer viser en arvbarhed på omkring 0,15 til 0,19 for residual foderoptagelse som er en indikator for fodereffektivitet (Manzanilla-Pech et al., 2022b).

I er andet forskningsprojekt foretages ligeledes registreringer af metankoncentration og foderoptag på slagtekalve som er krydsninger af kød- og malkekvæg, med henblik på at undersøge om disse krydsninger kan producere kød mere klimavenligt end renracede kalve af malkekvæg. Metanregistreringerne skal anvendes til at udvikle en model til genetisk selektion efter reduceret metanudledning pr kg kød (Johansen et al., 2022)

Anvendelse

Genetisk selektion kan som udgangspunkt anvendes på alle kalve, kvier og køer med kendt afstamning og/eller en DNA-genotypning såfremt der er udviklet en genetisk model til avlsværdivurdering, og der er et tilstrækkeligt datagrundlag. Der vil dog være forskel på, hvor sikkert et individs avlsværdi bestemmes, afhængig af, om der foreligger egne registreringer eller om avlsværditallet baserer sig på registreringer fra beslægtede individer. Strukturelle ændringer af kvægavlen har ligeledes potentiale til at omfatte alle danske malkekøer.

Relevans og potentiale

Genetisk selektion med henblik på lavere klimabelastning kan enten foregå direkte på baggrund af metanmålinger eller indirekte form af egenskaber korreleret til metanudledningen pr kg mælk og kød, fx mælkeydelse og fodereffektivitet eller som en kombination af begge typer, da de idetegge typer af egenskaber er relevante i avlsværdivurderingen hos malkekvæg, med henblik på at opnå en lavere klimabelastning.

Da både danske og internationale studer har vist arvbarheder omkring 20 % for metan, er der et væsentligt potentiale ved at inddrage metan i det totaløkonomiske indeks. Jo højere værdi (vægt) metanudledningen pr kg mælk og kød tillægges, jo større avlsfremgang og dermed lavere klimabelastning kan opnås, men høj vægt på metan vil medføre mindre fremgang for øvrige egenskaber i indekset. Da der i dag kun er udviklet sniffere til brug i malkerobotter, er der pt kun muligt at måle metan hos de 25 % af malkekøerne

som malkes i robotter. Der findes andet udstyr til at måle i fx foderautomater, men dette er væsentligt dyrere end sniffere.

Fodereffektivitet er i flere studier fundet at være genetisk korreleret til metanproduktion pr kg mælk og har samtidig en arvbarhed og genetisk variation af en størrelsesorden som muliggør genetisk fremgang. Det ovenfor nævnte setup med 3D kameraer synes at have potentiale til at registrerer fænotyper for fodereffektivitet som på sigt kan anvendes i en avlsværdivurdering. Systemet har den fordel, at der i den igangværende udvikling er fokus på at understørre daglige managementbeslutninger. Dette kan være med til at sikre, at systemet er relevant for en stor del af de danske kvægbesætninger. Kameraerne har dog bl.a. den begrænsning, at beregning af fodereffektivitet kræver at al foder indtages på foderbordet, hvilke bevirker at systemet ikke kan anvendes til at beregne fodereffektivietet i perioder med afgræsning.

Mælkeydelse indgår allerede i NTM indekset, og der er igangværende forskningsprojekter som sigter mod at få skabt et tilstrækkeligt datagrundlag for metanproduktion og fodereffektivitet som kan sikre udviklingen af genetiske modeller til avlsværdivurdering af egenskaberne.

Der har hidtil ikke været stor forskningsmæssig fokus på hvorledes strukturelle ændringer af kvægavlen kan være med til at reducere klimabelastningen fra produktionen af mælk og oksekød, hvilket kort er beskrevet i indledningen til afsnittet. Da 20 % af oksekødsproduktionen i Danmark foregår på kødkvæg, som er tre gange så klimabelastende som den del der foregår på baggrund af malkekvæg, er der et meget stort reduktionspotentiale ved at ændre det danske avlsmål så der kommer en højere vægtning på kødproduktion, for at få avlsfremgang for denne egenskab. Der er et behov for et større forskningsmæssigt fokus på, hvordan strukturelle ændringer i kvægavlen kan være med til at reducere klimapåvirkningen fra mælk og kød i samspil med nye egenskaber.

Effekt på drivhusgasudledning

Det ovenfor nævnte hollandske simuleringsstudie fandt, at der kan forventes en metanreduktion på omkring 24 % pr. kg mælk i 2050 ved at inddrage en avlsværdivurdering for metan i det totaløkonomiske indeks med en økonomisk vægt for metan, svarede til CO_2 kvoteprisen i 2021. Ved at bevare det nuværende totaløkonomiske indeks i Holland forventedes en metanreduktion på omkring 13 % pr. kg mælk, som følge af den genetiske korrelation mellem metan og de nuværende egenskaberne i avlsmålet. Det forventes, at disse tal stort set kan overføres til danske forhold.

Effekten ved at inddrage metan og korrelerede egenskaber såsom fodereffektivitet i avlsmålet vil blive påvirket af faktorer såsom økonomisk vægt, hvor en højere økonomisk vægt på egenskaberne vil accelerere avlsfremgangen. Kvaliteten af registreringerne og størrelsen af datagrundlaget har en afgørende betydning for, med hvor stor sikkerhed avlsværdierne kan bestemmes, og dermed muligheden for en sikker selektion af de bedste dyr. Overordnet set, synes det ikke urealistisk at forvente en avlsfremgang på 1 % pr. år, i et avlsprogram hvor der fortsat er fokus på egenskaber såsom længere levetid

og øget ydelse, men hvor der også fremadrettet selekteres direkte på metanreduktion og forbedret fodereffektivitet.

En avlsmæssig ændring mod et større fokus på oksekødsproduktion fra malkekvæg men med uændret mælkeproduktion, vil betyde at der kan produceres mere kød fra malkekvæg og deres afkom end tilfældet er i dag. Hvis der reduceres tilsvarende i kød produceret på kødkvæg, vil det reducere klimaaftrykket fra det kød der flyttes fra kødkvægsproduktionen til malkekvægsproduktionen til en trediedel

Samspil til andre virkemidler

I de kommende år forventes at der bliver et større fokus på tilsætning af foderadditiver og udvikling af foderplanter, der resulterer i mindre enterisk metan. Der er væsentligt at få klarlagt om tilsætning af foderadditiver ændrer rangeringen af køer med hensyn til metanproduktion. Hvis dette er tilfældet, synes det også sandsynligt at dette kan blive tilfældet ved fodring med foderplanter som resulterer i mindre enterisk metan. Det er for nuværende ikke kendt, i hvor høj grad der vil forekomme vekselvirkninger mellem køernes gener og en ændring i foderrationen og tilsætning af additiver, som potentielt kan bevirke at der forekommer ændringer i avlsdyrenes indbyrdes rangering med hensyn til metanproduktion.

Der er ligeledes behov for en bedre forståelse for sammenhængen mellem koens genetik og vommens mikroorganismer. Selv om den mikrobielle sammensætning i vommen er ansvarlig for dannelse af metan, er man kun i den indledende fase med at forstå hvordan genetik påvirker denne. I et studie af vomvæske fra 750 køer i kommercielle danske malkekvægsbesætninger er det blevet vist at mens koens genetik forklarer omkring 20 % af variationen i metanproduktionen, så forklarede den mikrobielle sammensætning i vommen 13 % af variationen (Difford et al., 2018). Studiet viste også, at de to komponenter tilsyneladende har en minimal vekselvirkning således at køer med en type af gener stadig vil have høj eller lav metanproduktion uanset hvilke mikrober der findes i vommen. Der er behov for yderligere studier, for endeligt at afklare, hvorvidt det er muligt at selektere for et specifikt vommikrobielt miljø som kan reducere metanproduktionen.

Usikkerheder

Hidtidige genetiske parametre for metan og fodereffektivitet i både danske og udenlandske studier er i de fleste tilfælde baseret på relativt små datasæt. Ved angivelse af effekt på drivhusgasudledning er det forudsat at storskalamålinger i private besætninger vil resultere i tilsvarende genetiske parametre.

Referencer:

Difford G.F., Plichta, D.R., Løvendahl, P., Lassen, J., Noel, S.J., Højberg, O., Wright, A.D.G., Zhu, Z., Kristensen, L., Nielsen, H.B., Guldbrandtsen, B., Sahana, G. (2018) Host genetics and the rumen microbiome jointly associate with methane emissions in dairy cows PLoS genetics 14:10: e1007580

de Haas Y., Veerkamp R.F., de Jong, G., Aldridge, M.N. 2021) Selective breeding as a mitigation tool for methane emissions from dairy cattle. Animal. 15, Suppl 1:100294. doi: 10.1016/j.animal.2021.100294.

Hayes, B.J., Donoghue K.A., Reich C.M., Mason, B.A., Bird-Gardiner, T., Herd RM, Arthur PF. (2016). Genomic heritabilities and genomic estimated breeding values for methane traits in Angus cattle. J Anim Sci. 2016, 94:902-8. doi: 10.2527/jas.2015-0078.

Johansen, K., Kargo, M., Bjerring, M., Løvendahl, P., Buitenhuis, A.J. (2022).Phenotypic differences and genetic parameters for methane concentration in BeefxDairy crossbred slaughter calves.

Lassen, L., Løvendahl, P. WCGALP 2022 proceedings, Wageningen Academic Publishers Heritability estimates for enteric methane emissions from Holstein cattle measured using noninvasive methods J. Dairy Sci., 2016, 99:1959-1967. doi: 10.3168/jds.2015-10012

Kandel, P., Vanderick, S., Vanrobays, M.L., Soyeurt, H., Gengler, N. (2018). Consequences of genetic selection for environmental impact traits on economically important traits in dairy cows. Animal Production Science, 2018, 58, 1779-1787. doi: 10.1016/j.animal.2021.100294

Løvendahl, P., Difford, G.F., Li, B., Chagunda, M.G.G., Huhthnen, P., Lidauer, M.H., Lassen,J., Lund, P. (2018). Animal, 2018, 12:52, 336-349. doi:10.1017/S1751731118002276

Manzanilla-Pech, C.I.V., Stephansen, R., Difford, G.F., Løvendahl, P., Lassen, J. (2022a). Selecting for Feed Efficient Cows will help to reduce methane gas emissions. Front. Genet., doi: 10.3389/fgene.2022.885932/full

Manzanilla-Pech, C.I.V., Stephansen, R., Andersen, T., Lassen, J. (2022b). Genetic parameters for residual feed intake in three dairy cattle breeds in commercial farms using 3D cameras. WCGALP 2022 proceedings, Wageningen Academic Publishers.

Mogensen, L., Nguyen, T.L.T, Madsen, N.T., Pontoppidan, O., Preda, T., Hermansen, J.E. (2016). Environmental impact of beef sourced from different production systems - focus on the slaughtering stage: input and output, Journal of Cleaner Production, 2016, 133, 284-293, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.05.105

Husdyrgødning

Der er i dette kapitel anvendt GWP_100 værdier fra IPCC's Assessment Report 5, men de er omregnet til værdier fra Assessment Report 4 i tabellerne.

Der er i forbindelse med modelleringer benyttet referencestalde til udregning af potentialet for reduktion af drivhusgasudledning. Specifikationer på referencestaldene er angivet i Tabel 1.

Tabel 1. Referencestalde for svin og kvæg brugt til estimering af metanreduktionspotentialet.

Dyre-type	Stald Navn [a]	Stald ID [a]	Produk-tions-areal, m^2 / dyr	Kumme-areal, % af pro-dukti-ons-areal	Udslusnings-interval, dage	Rest-gylle-højde, cm	Hyppig udslusnings potentiale [c]
Små-grise	Toklimastald m. delvis spal-tegulv	20	0,3	100	24	3	Ja
	Drænet gulv + spalter (50/50)	46	0,3	50	48	3	Nej
Slagte-svin	Drænet gulv + spalter (33/67)	47	0,65	100	29	3	Ja
	Delvist spal-tegulv (50-75 % fast gulv)	72	0,65	50	15	3	Ja
	Delvist spal-tegulv (25-49 % fast gulv)	73	0,65	75	22	3	Ja
Søer	Løbe afd., indi-viduel, delvis spalte	60	2,5	39	30	3	Ja
	Løbe afd., løs, delvis spalte	63	2,5	39	30	3	Ja
	Fare afd., kass-esti, delvis spalte	64	4,9	50	41	3	Ja
	Fare afd., kass-esti, fuldspalte	65	4,9	100	41	3	Nej

Kvæg	Sengebåse, spalter, bag-skyl/ringkana-lanlæg	6	7,99	66	28	40	Ja
	Sengebåse, fast gulv, skraberan-læg	5	7,99	6	1	40	Nej
	Sengebåse, spalter, skraberanlæg [b]	7	7,99	-	-	-	Nej
	Sengebåse, fast gulv, 2% hæld, skrab [b]	49	7,99	-	-	-	Nej

[a] Stald navn og stald ID som angivet i DCE aktivitetsdata (Albrektsen et al., 2021).

[b] Mangelfuld viden om kummeareal. I estimater antages derfor at disse stalde har samme CH4 udledning som "Sengebåse, fast gulv, skraberanlæg" med stald ID 5.

[c] Stalde hvor ugentlig udslusning kan praktiseres for svin og daglig udslusning kan praktiseres for kvæg. Daglig udslusning for i stalde med ringkanalsystem eller bagskyl kræver udfyldning af gyllekanaller og montering af nyt gulv. Stalde hvor der allerede udsluses hyppigt, betragtes ikke som stalde potentielle stalde for hyppig udslusning

Mængden af gylle kan opgøres på forskellige måder: ab dyr, ab stald og ab lager. Generelt vil gyllemæng-der stiger ned af kæden, idet der til mængder ab dyr skal tilægges strøelser, vandspild, evetuelt foderspild, og for gyllemængder i lagre vil der komme ektra bidrag fra eventuelle ensilage og gødningslagre og regn, hvis der ikke er en fast overdækning.

Hyppig udslusning af gylle fra stalde

Forfatter(e): Frederik Rask Dalby og Anders Peter Adamsen, Institut for Bio- og Kemiteknologi

Fagfællebedømmer(e): Lise Bonne Guldberg, Institut for Bio- og Kemiteknologi

Hyppig udslusning af gylle dækker i princippet over udslusning, når det sker oftere end nødvendigt som følge af fyldte gyllekummer eller gyllekanaler. Oftest henviser hyppig udslusning dog til gyllesystemer, hvor gylle udsluses ugentligt eller hyppigere. Hyppig udslusning kan anvendes i de fleste gyllebaserede syste-mer og reducerer metanudledning fra gylle i stalden. Strategien ved hyppig udslusning er, at gyllen ønskes opbevaret i udendørslagre, hvor temperaturen typisk er lavere end i stalden. Ved at opbevare gyllen ved

lavere temperatur, reduceres mikroorganismernes omsætningshastighed af det organiske materiale og således reduceres metanproduktionen. Hyppig udslusning kan med fordel benyttes I svinestalde, hvor staldtemperaturen typisk er omkring 20 °C og med gylletemperaturer mellem 18-20 °C (Albrektsen et al., 2021). I kvægstalde med naturlig ventilation følger staldtemperaturen (og gyllens temperatur) udetemperaturen (Albrektsen et al., 2021), men er typisk ca. 3 °C højere, og derfor vil nettoeffekten af hyppig udslusning teoretisk set være lavere. I praksis er der en række andre forskelle, der påvirker metanproduktionen, f.eks. daglig produktion af gylle, højden af restgylle efter udslusning, udslusningshyppighed, foderspild osv. For både svine- og kvægstalde er det af betydning, hvor stor en mængde restgylle, der efterlades i gyllekanalerne eller gyllekummerne efter udslusning, da tilbageværende gylle kan fungere som podningsmateriale for frisk udskilt gylle og dermed fremskynde metanproduktionen (Dalby et al., 2021). Derfor vil installationer, hvor gyllen skrabes væk, reducerer metanudledningen mere end ved standard rørudslusning, hvor der typisk står nogle centimeters restgylle tilbage efter udslusning. Det er helt centralt, at hyppig udslusning bruges i kombination med andre virkemidler i lageret, da en stor del af den opnåede klimagevinst i stalden ellers reduceres af øget metanudledning fra udendørslageret (6.2.4).

Anvendelse

I svinestalde med rørudslusningssystemer (også kaldet vakuumudslusning), kan der normalvis ikke udsluses oftere end ugentligt, da udslusningssystemet kræver en bestemt gyllehøjde i kummerne for at fungere korrekt. Adamsen & Kai (2022) lavede en vurdering af driftmæssige udfordringer ved hyppig udslusning i svinestalde og fandt, at ugentlig udslusning var muligt i slagtesvinesstalde, løbedrægtighedsstalde med delvis spaltegulv og gyllekumme, samt for smågrise i to-klimastalde. Alternative systemer, såsom linespilsanlæg, gylletragte eller gyllerender kan implementeres for at øge udslusningshyppigheden og dermed reducere gyllens opholdstid i stalden, men disse teknologier kan kræve større staldombygninger. I kvægstalde findes flere løsninger, hvor gyllen dagligt eller op til 12 gange i døgnet skrabes ud til en gyllebrønd eller tværkanal. Tværkanalen kan ligge både inde i stalden eller udenfor og har en relativt begrænset gyllekapacitet i forhold til den daglige gylleproduktion fra dyrene, hvorfor gyllen herfra udsluses dagligt. Disse stalde praktiserer derfor allerede en hyppig udslusning og yderligere metanreduktioner vil derfor ikke kunne hentes i disse stalde, i forhold til at reducere gyllens opholdstid i stalden. I kvægstalde med ringkanal, som er mest udbredt i Danmark, opbevares gylle i en ringformet gyllekanal under spalteelementerne, hvor gyllen dagligt cirkuleres for at forhindre sedimentation og lagdeling. Her holdes gyllehøjden som minimum på 40 cm, for at anlægget kan fungere, og der udsluses til eksternt lager, når gyllehøjden når 80 cm. Ringkanalers dybde er omkring 1.2 m. I kvægstalde med ringkanal vil gylle også kunne udsluses ofterere, f.eks. ugentligt.

Relevans og potentiale

For svinestalde er hyppig udslusning nemt at implementere i praksis, hvorfor ugentlig udslusning forventes at blive lovpligtigt i nogle slagtesvinestalde. I nedenstående Tabel 2 er potentialet beregnet ud fra en

vurdering af, hvilke staldsystemer der kan implementere ugentlig udslusning i svinestalde. Således er staldtyper, hvor skrabning allerede er en implementeret teknologi ikke indregnet. I kvægstalde vurderes det, at stalde med ringkanalsystem kan ombygges relativt billigt, ved at udfylde ringkanalen og lægge nyt fast gulv oven på det eksisterende gulv. Dermed vil potentialet udelukkende være for stalde med ringkanalsystemer og dermed ikke indkludere stalde, hvor hyppig udslusning allerede praktiseres

Tabel 2. Total mængde gødning udskilt fra dyr samt andel af gødning, som kan udsluses ugentligt for svin og dagligt for kvæg i Danmark.

Gylletype	Kategori	Gødning ab dyr, kt per år	Gødning ab dyr kompatibel med hyppig udslusning, %
Svinegylle		17.098	92
	Smågrise	2.989	80
	Søer	4.196	89
	Slagtesvin	9.912	98
Kvæggylle		19.445	38

Effekt på drivhusgasudledning

Hyppig udslusning har en relativt stor effekt på metanudledning i svinestalde, men forventes ikke at have en effekt på ammoniakudledning, da emissionsoverfladen vil være uændret. Af samme grund påvirker strategien heller ikke det indirekte bidrag fra ammoniak til lattergas og det følgende afsnit vil udelukkende koncentrere sig om effekter på metanudledning. Metanudledning fra svinestalde med hyppig udslusning er blevet målt flere gange, men ofte med en målemetode, som benytter sig af foto akustisk spektroskopi (PAS). Denne metode har vist sig at være sensitiv overfor flygtige stoffer og vanddamp, når det gælder betemmelse af metankoncentration (Adamsen et al., 2018; Liu et al., 2020). Derfor må mange tidligere estimater betragtes som usikre. Holm et al. (2016) rapporterede en metanreduktion på 55% fra en slagtesvinestald med ugentlig udslusning med PAS metoden (Holm et al., 2016). Der er senere blevet målt en metanreduktion på 35% fra en slagtesvinsstald med ugentlig udslusning og en bedre målemetode (Holm et al., 2022). Hansen et al. (2022) målte en metanreduktion på 36% fra stalden og 50% fra gyllen i en forsøgsstald med slagtesvin og ugentlig udslusning (Hansen et al., 2022). Ved hyppigere udslusning end ugenligt, f.eks. ved at bruge gyllerender eller gylletragte blev der opnået en større metanreduktion på hhv. 78% og 87% fra gyllen (Hansen et al. 2022). Ligeledes er der i drægtighedsstalde med linespilsanlæg målt en metanreduktion fra gyllen på 90%, dog med PAS metoden (Holm et al., 2019). Osada et al. (1998) målte en metanreduktion i den lave ende på 11% fra stalden med ugentlig udslusning og PAS metoden (Osada et al., 1998). Der er rapporteret stor variation i metanudledning fra svinestalde (Vansbreck et al., 2013), og derfor forventes også variation i effekten af hyppig udslusning. For kvæg udgør gyllens bidrag i stald og lager omkring 24% af den samlede metanudledning fra kvæg (Albrektsen et al., 2021). I stalden vil gyllens bidrag til metanudledning, være endnu mindre og nøjagtig kvantificering af dennes størrelse kræver gode

estimater for den enteriske metanproduktion som kan variere med fodersammensætning og dyrenes produktionscycklus. Derudover er metanproduktion fra kvæggylle lavere end for svinegylle grundet et lavere indhold af nedbrydeligt organisk materiale (VS_d) og en gennemsnitlig lavere gylletemperatur i kvægstalden. Der foreligger ikke god dokumentation for effekten af hyppig udslusning i kvægstalde.

Adamsen et al. (2021) udviklede en model baseret på Aarhenius sammenhængen mellem gylletemperatur og metanproduktionsrate (Petersen et al., 2016). I modellen blev der tilføjet en parameter, der delvist tager højde for inokulumeffekter i form af gyllens hydrauliske opholdstid. Med denne model estimeres omkring 60% metanreduktion fra svinegylle fra en slagtesvinsstald med 33% drænet gulv og 67% spaltegulv, hvilket er den mest udbredte slagtesvinestaldtype. I Tabel 3 er denne model benyttet til estimering af metanreduktionen ved hyppig udslusning i svine- og kvægstalde. Modellen er benyttet på de staldtyper, som blev vurderet egnede til hyppigudslusning i Tabel 1. Til beregning af reduktion benyttes referencestalde for forskellige svinestalde, inkl. smågrise, søer og svinestalde, og for kvægstalde med ringkanaler. Det antages at der i svinestalde udsluses når gyllestanden når 35 cm, og efter udslusning er restgyllehøjden 3 cm. I tilfælde hvor gyllestanden ikke når 35 cm ved slutningen af produktionscyklus, udsluses der ved slutningen af produktionscykles. Dette vil være gældende i f.eks. farestalde. I svinestalde med hyppig udslusning udsluses der ugenligt, hvilket resulterer i forskellige gyllehøjder ved udslusningtidspunktet afhængigt af dimensionerne på gyllekummerne samt dyrekategori. Mængden af let nedbrydeligt organisk materiale (VS_d) sættes til 70% af total organisk materiale (VS_{tot}) for svinegylle (Møller et al., 2004a,b). Den udslusede gylle tilføres et gyllelager, som gradvis fyldes op fra april og tømmes igen efter et år. Yderligere detaljer omkring referencestald for de forskellige typer af svin kan findes i Adamsen et al., (2021). I kvægstalde med ringkanal udsluses der når gyllehøjden er 80 cm, og restgyllehøjden efter udslusning er 40 cm, svarende til udslusning hver 28. dag. Ringkanal arealet sættes til 66% af produktionsarealet udfra estimater baseret på sengebåsestalde (Kai & Adamsen, 2017). Ved hyppig udslusning i kvægstalde antages det at stalden er blevet ombygget således at gyllen kan skrabes 12 gange dagligt fra gangarealerne ned i en tværkanal. Denne ombygning kræver at ringkanalen fyldes op, så der ikke kan ligge gylle under gulvet. Tværkanalen udgør 6% af produktionsarealet. Restgyllehøjden i tværkanalen efter udslusning antages at være 40 cm. Med 12 skrab per dag i gangarealerne, kan det antages at gyllen udelukkende opholder sig i tværkanalen. Mængden af VS_d i kvæggylle sættes til 42% af VS_{tot}. Dette estimat er baseret på en middelværdi fra to studier om biogaspotentialer af kvæggylle (Møller et al., 2004a,b). Gylle fra udendørslageret køres ud i april og tømmes månedligt i perioden maj til september. Metanudledning estimeres per ton gødning ab dyr, dvs. eksklusiv strøelse og vaskevand.

Tabel 3. Estimeret metanreduktion i stald, lager og totalt ved ugentlig udslusning af svinegylle og daglig udslusning af kvæggylle. Daglig udslusning af kvæggylle er beregnet som gødning fra stalde med ringkanal system, hvor det antages at staldene kan omlægges til stald med fastdrænet gulv med skraber.

Dyretype		CH4 reduktion stald, %	CH4 reduktion lager, %	CH4 reduktion total, %	CH4 nettoreduktion, kg CO2 cækv. / ton gødning ab dyr
Svinegylle		58	-13	16	17
	Smågrise	56	-11	15	14
	Søer	61	-18	19	21
	Slagtesvin	56	-12	15	16
Kvæggylle[a]		91	-14	58	37

[a] De opnåede reduktionseffekter som følge af hyppig udslusning fra stalden kræver ombygning af stalden

Der fremgår af Tabel 3, at effekten af ugentlig udslusning fra svinestalde, samt daglig udslusning i kvægstalde giver store metanreduktioner i staldene, men øget metanudledning fra lageret. Dette skyldes at en øget mængde omsætteligt organisk materiale og dermed potentialet for metanproduktion tilføres lageret, når det fjernes hyppigere fra stalden. For kvæggylle er reduktionen 37 kg CO2 cækv. / ton gødning af stald, og for svinegylle er det 17 kg CO2 cækv. / ton gødning af stald. Denne forskel skyldes dels at hyppig udslusning i kvægstalden er dagligt og at kummearealet bliver reduceret væsenligt ved ombygning af kvægstalden. Derudover er metanbidraget fra lageret mindre for kvæggylle da det udkøres oftere og dermed ikke når at udlede store mængder CO2 derfra.

Samspil til andre virkemidler

Hyppigudslusning vil generelt være et foretrukket virkemiddel i svinestalde og kan kombineres med alle virkemidler i lageret. Den samlede strategi for at reducere drivhusgasudledning går generelt i retning af hyppig udslusning i stalden kombineret med et lagervirkemiddel. Dette skyldes, at ugentlig udslusning i svinestalde kan praktiseres uden særlige meromkostninger. Afhængigt af udslusningshyppighed vil der måske også være en betydelig gevinst ved at kombinere med forsuring af restgyllen. Denne kombinationsmulighed er dog ikke blevet undersøgt i praksis.

De mest oplagte virkemidler som hyppig udslusning kan kombineres med er:

1. Bioforgasning - da den udslusede gylle vil indeholde en højere mængde omsætteligt organisk materiale (VS_d), som omsættes i biogasanlægget og øger metanudbyttet.

2. Lagerforsuring – for eksempel lavdosis lagerforsuring, hvor et nyt pilotstudie har vist at metanudledningen kan reduceres betydeligt på en kost-effektiv måde (Ma et al., 2022). Strategien kan f.eks. benyttes i sommerperioden, hvor det meste metan udledes fra lageret.

3. Overdækning af gyllelagre kombineret med kontrolleret ventilering.

4. Overdækning af gyllelagre og fakkelafbrænding af metan, når koncentrationen er tilstrækkelig høj.

Sampil med ovennævnte virkemidler er beskrevet i de følgende afsnit og dækkes ikke yderligere her.

Usikkerheder

I afsnit 6.2.3 blev variationen mellem rapporterede effekter af hyppig udslusning belyst. Variationen kan skyldes både usikkerhed i bidraget af enterisk metan fra dyrene og usikkerhed i form af de brugte målemetoder. Dertil kommer forskelle i general staldhygiejne, vaskehyppighed, dyrenes velbefindende, gulvtype og fodersammensætning. Særligt staldhygiejne og vaskeproceduren vurderes at have effekt på gyllens metanudledning, da gammel gylle vil pode den friske udskilte gylle og fremskynde metanproduktionen (Dalby et al., 2021). Ngwabie et al. (2016) undersøgte effekten af mængden af gammel gylle, som står tilbage før frisk gylle blev tilsat i pilot lagertanke med kvæggylle. De fandt en lineær sammenhæng mellem mængden af gammel gylle i tanken til at starte med og den samlede metanudledning i vinterperioden (Ngwabie et al., 2016). Massé et al. (2016) undersøgte effekten af hyppigere tømning i kvæggyllelagre og målte 40-80% metanreduktion ved at tømme tankene 2-4 gange over sommeren (Massé et al., 2016). Dette er i god overensstemmelse med modelleringerne foretaget på kvæggylle her.

Den benyttede model er forbundet med flere usikre modelparameter, heriblandt LnA' som knytter sig til omsætning af total organisk materiale (VS_{tot}) i lageret. Der er benyttet en værdi på 30.3 for svinegylle og 30.2 for kvæggylle, men disse parametre er ikke blevet målt tilstrækkeligt og er estimeret udfra LnA i stalden, som kun knytter sig til det let omsættelige organiske materiale (VS_d). Disse parametre bliver og vil blive nærmere undersøgt i pågående og fremtidige projekter (Petersen & Gyldenkærne, 2020). Ydermere er mængden af VS_d i både svine- og kvæggylle forbundet med usikkerheder (Møller et al., 2004a,b), hvilket påvirker metanudledningsestimaterne i stalden.

Kvægstalde er sjældent dimensioneret ens og både ringkanalarealet, samt areal og volumen af tværkanaler vil variere ganske betydeligt i danske stalde. I ringkanaler udregnes kummearealet i modellen ud fra gangarealet, da dette typisk er målsat på staldtegninger, men kummearealet er højst sandsynligt mindre da gulvelementerne i gangarealerne hviler på kanalvægge. Ligeledes er der usikkerhed omkring arealet og dybden af tværkanaler i kvægstalde. Kai et al. (2015) undersøgte forskellige kvægstaldes kummearealer og estimerede gyllens hydrauliske opholdstid (HRT). Her blev HRT estimeret for 6 kvægstalde til mellem 16 og 85 dage i kvægstalde med ringkanal eller bagskyl og 4 dage i en enkelt stald med drænet gulv (Kai et al., 2015). Til sammenligning er HRT i nærliggende modelleringer af kvægstald med ringkanal og kvægstald med daglig udslusning beregnet til hhv. 42 og 3 dage.

Referencer

Adamsen, A.P. (2018). Measurement of climate gases from livestock barns with infrared photo-acoustic spectrometry (in Danish: Måling af klimagasser fra stalde med infrarød fotoakustisk spektrometri). Intern rapport fra SEGES.

Adamsen, A.P S., Hansen, M.J., Møller, H.B., (2021). Effekt af hyppig udslusning af gylle på metanproduktion, Notat fra DCA Nr. 2020-0166155, 9 s., jan. 12, 2021.

Adamsen, A. P. S., & Kai, P., (2022). Faglig vurdering af tekniske- og driftsmæssige udfordringer ved ugentlig udslusning af gylle og gødning fra eksisterende staldsystemer, DCA. Nr. 2022-0376370, 15 s., jul. 04, 2022.

Albrektsen, R., Mikkelsen, M.H., Gyldenkærne, S. (2021). Danish Emission Inventories for Agriculture (DCE-Number 443).

Børsting, C.F. , Frydendahl, A.L. (2021). Normtal for husdyrgødning 2021.

Dalby, F.R., Hafner, S.D., Petersen, S.O., VanderZaag, A.C., Habtewold, J., Dunfield, K., Chantigny, M.H., Sommer, S.G. (2021). Understanding methane emission from stored animal manure: A review to guide model development. In Journal of Environmental Quality (Vol. 50, Number 4). https://doi.org/10.1002/jeq2.20252

Hansen, M.J., Guldberg, L.B., Feilberg, A. (2022). Frequent removal of slurry reduces methane emission from pig houses. GGAA.

Holm, M. (2016). Klimagas emission fra danske slagtesvinestalde.

Holm, M., Kasper, O.G., Sørensen, B. (2019). Ammoniak- og metanemission fra drægtighedsstalde (Number 1910).

Holm, M., Myllerup, M., Grønborg, S. (2022). Methane reduction from pig units with frequent flushing of manure or daily removal of manure by scraper. Zero Emission Agriculture.

Hutchings, N.J., Lærke, P.E., Munkholm, L., Elsgaard, L., Kristensen, T., Rasmussen, J., Lund, P., Børsting, C., Løvendahl, P., Mikkelsen, M.H., Albrektsen, R., Gyldenkærne, S., Møller, H.B., Hansen, Mi. J., Feilberg, A., Adamsen, A.P. (2020). Opdatering af effekter og potentialer af klimavirkemidler til anvendelse i landbrug.

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

Kai, P., Birkmose, T., Petersen, S. (2015). Slurry volumes and estimated storage time of slurry in Danish livestock buildings.

Kai, P., Tybirk, P., Holm, M., Jensen, H.B., Bækgaard, H. (2022). Kapitel 8 Tab af næringsstoffer fra stalde – Normtal for husdyrgødning 2021 / 2022. https://anis.au.dk/fileadmin/DJF/Anis/dokumenter_anis/normtal/Normtal_lagt_paa_i_2022/Kap_8_Stalde_2021-22_med_datablad.pdf

Liu, D., Rong, L., Kamp, J., Kong, X., Adamsen, A.P., Chowdhury, A., Feilberg, A. (2020). Photoacoustic measurement may significantly overestimate NH3 emissions from cattle 2 houses due to VOC interferences. Atmospheric Measurement Techniques, 13, 259–272. https://doi.org/doi.org/10.5194/amt-13-259-2020

Ma, C., Dalby, F.R., Feilberg, A., Jacobsen, B.H., Petersen, S.O. (2022). Low-Dose Acidification as a Methane Mitigation Strategy for Manure Management. ACS Agricultural Science and Technology, 2(3), 437–442. https://doi.org/10.1021/acsagscitech.2c00034

Massé, D. I., Jarret, G., Hassanat, F., Benchaar, C., Saady, N.M.C. (2016). Effect of increasing levels of corn silage in an alfalfa-based dairy cow diet and of manure management practices on manure fugitive methane emissions. Agriculture, Ecosystems & Environment, 221, 109–114. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.018

Møller, H.B., Sommer, S.G. ,Ahring, B.K. (2004a). Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. Biomass and Bioenergy, 26(5), 485–495. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2003.08.008

Møller, H.B, Sommer, S.G., Ahring, B.K. (2004b). Biological degradation and greenhouse gas emissions during pre-storage of liquid animal manure. Journal of Environmental Quality, 33(1), 27–36. https://doi.org/10.2134/jeq2004.2700

Ngwabie, N.M., Gordon, R.J., VanderZaag, A., Dunfield, K., Sissoko, A., Wagner-Riddle, C. (2016). The extent of manure removal from storages and its impact on gaseous emissions. Journal of Environmental Quality, 45(6), 2023–2029. https://doi.org/10.2134/jeq2016.01.0004

Osada, T., Rom, H.B., Dahl, P. (1998). Continuous measurement of nitrous oxide and methane emission in pig units by infrared photoacoustic detection. Transactions of the ASAE, 41(4), 1109–1114.

Petersen, S.O.,Gyldenkærne, S. (2020). Redegørelse omkring forventede justeringer i beregning af metanemission fra husdyrgødning (Number Journal 2020-0066332).

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

Ransbeeck, N. Van, Langenhove, H. Van, Demeyer, P. (2013). Indoor concentrations and emissions factors of particulate matter, ammonia and greenhouse gases for pig fattening facilities. Biosystems Engineering, 116, 518–528.

Forsuring af gylle i stalden

Forfatter(e): Peter Kai & Anders Peter Adamsen, begge fra Institut for Bio- og Kemiteknologi, og Søren O. Petersen, Institut for Agroøkologi

Fagfællebedømmer: Anders Feilberg, Institut for Bio- og Kemiteknologi

Beskrivelse af teknologien er hovedsagelig fra DCA 130 (Olesen et al., 2018) og Adamsen et al. (2021)

Forsuring af gylle med syre kan ske ved iblanding af mineralske syrer, især svovlsyre, eller ved tilsætning af kulhydratholdige substrat som kan omsættes til carboxylsyrer, især eddikesyre eller mælkesyre. Sidstnævnte kan især være relevante for økologisk husdyrproduktion.

Tilsætning af stærk syre til svinegylle bevirker, at gyllens pH-værdi falder, hvorved gyllens opløste indhold af ammoniak (NH_3) omdannes til ammonium (NH_4^+). Sidstnævnte er en positiv ladet ion som let opløses i vand, hvorimod ammoniak er en gas med lav opløselighed i vand og som derved let afgasses.

Typisk anvendes koncentreret svovlsyre, idet det er forholdsvis billigt og effektivt, men omvendt kan medføre dannelse af svovlbrinte, som er en giftig og ildelugtede gas, og dels er det en stærk ætsende syre, som skal håndteres forsigtigt og efter gældende forskrifter.

Forsuring med svovlsyre kan ske i kvægstalde, hvor gyllesystemet er udformet som ringkanalsystem, og i svinestalde. Svovlsyre kan også tilsættes til gyllelageret for at forhindre emission af ammoniak fra udbringning af gylle. Endelig kan tilsætning af svovlsyre i lavere doser end nødvendigt for at reducere emission af ammoniak ved udbringning, reducere dannelse og emission af metan i både stald og lagre. Dette behandles i kapitel 6.5.

Anvendelse

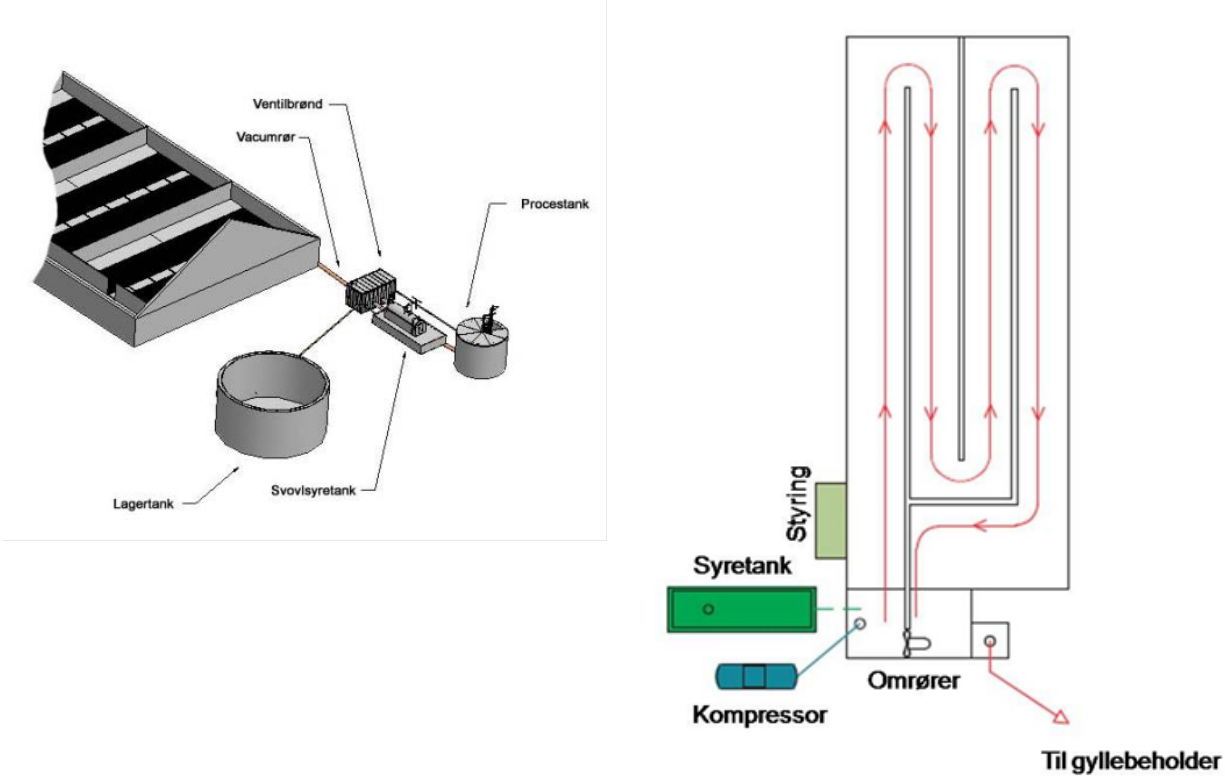
Der findes pt. to fabrikater af forsuringsanlæg i danske svinestalde, henholdsvis INFARMs "NH4+ Staldforsuring" og JH Agros "JH forsuring NH4+", der begges ejes af JH Agro A/S. De to fabrikater fungerer principielt ens, hvorfor der ikke er grund til at tillægge dem forskellige effekt. Det er dog pt. kun JH forsuring NH4+, der forhandles, idet INFARM ikke længere markedsføres, men eksisterende anlæg serviceres af JH AGRO A/S.

JH Agros forsuringsanlæg "JH forsuring NH4+" virker ved, at al gylle i stalden dagligt føres ud til en ekstern procestank, hvor gyllen under omrøring tilsættes syre til en pH-værdi på 5,5. Der anvendes 93-96 % koncentreret svovlsyre. Efter forsuring pumpes en del af gyllen tilbage i stalden, så der er en gyllehøjde på ca. 20 cm i gyllekummerne. Overskydende gylle pumpes til lagertank. Tømning og fyldning af gyllekummerne og procestanken foregår via et ventilarrangement, der er plc-styret (dvs. computerstyret). Ifølge JH Agro, den eneste producent i Danmark, kan forsuringsanlægget behandle gyllen fra 800 – 1500 m^2 gyllekumme per ventil. Procestanken dimensioneres efter den maksimale mængde gylle, der kontrolleres af en given ventil.

Der anvendes 10 – 13 kg syre per ton svinegylle afhængig af tørstofindhold mv. (Riis, 2016; Riis og Jonassen, 2018). Det er undersøgt, om man kunne nøjes med at forsure to gange om ugen. Det medførte ikke et lavere syreforbrug, men til gengæld faldt reduktionseffektiviteten for ammoniak fra 62 % til 38 % (Riis & Jonassen, 2018).

I kvægstalde kan gylleforsuring anvendes i sengebåsestalde, der i køernes motions-/gangarealer har spaltegulv med underliggende gyllekanaler. Gyllekanalerne er opbygget med ringkanalsystem eller med bagskylsanlæg. Der formodes at være langt flere ringkanalstalde end stalde med bagskylsanlæg. Bagskylsanlæg er opbygget, så der fra fortanken kan returpumpes gylle ind i den ene ende af gyllekanalen samtidig med, at gyllen i modsatte ende af gyllekanalen løber ud i fortanken. Forsuringsanlæg til stalde med bagskylsanlæg er principielt opbygget på samme måde som svinestalde.

Ved ringkanalsystemet er gyllekanalerne i stalden forbundne med en omrørebrønd uden for stalden. En pumpe i omrørebrønden bevirker, at gyllen i stalden dagligt omrøres. Der kan dog stadig være døde områder i bl.a. hjørner af gyllekanalerne og ved mellemgange i stalden, hvor gyllen ikke sættes i bevægelse og derved reelt ikke omrøres. Ligeledes kan der opstå problemer med bundfald, når gyllen efter passage gennem smalle tværkanaler ledes over i brede langsgående kanaler, med deraf følgende reduktion i flowhastigheden. Ved gylleforsuring kobles forsuringsanlægget direkte til omrørebrønden, og fungerer derfor som et gennemløbsanlæg med kontinuerlig forsuring i modsætning til svinestalde, hvor en vis portion gylle behandles ad gangen. Forsuringsanlæg i ringkanalstalde kræver derfor ingen særlig procestank, som det er tilfældet med svinestalde. Syreforbruget er i en test i fire kvægstalde opgjort til mellem 5,4 og 6,3 kg/ton – dvs. noget lavere end i svinestalde (Andersen, 2013).



Figur 1. Skitse af forsuringsanlæg. T.v.: svinestald. T.h.: kvægstald med ringkanalsystem.

Relevans og potentiale

Forsøg i pilot-skala gyllebeholdere har vist en reduktion af udledning af metan på ~99% ved staldforsuret gylle lagret over 83 dage og uden tilførsel af ny gylle (Petersen et al., 2014). Et laboratorieforsøg har vist, at udledning af metan fra svovlsyrebehandlet kvæggylle var op til 87 % lavere end fra den ubehandlede kontrolgylle ved lagring over 95 dage (Petersen et al., 2012). Forsøgene peger således entydigt på en reduktion af udledning af metan ved staldforsuring, både i stald og under lagring af gylle, idet det dog er vanskeligt at angive en størrelsesorden med sikkerhed.

I kvægstalde med ringkanalsanlæg kan der installeres forsuringsanlæg på eksisterende bedrifter, idet forsuringsanlægget kan placeres ved en udvendig omrøringsbrønd. Det kræver derfor ikke væsentlig ombygning af staldene.

Eksisterende kvægstalde med bagskyl bør også kunne etablere forsuringsanlæg uden større omkostninger sammenlignet med implementering i nye stalde, men det skal sikres, at svovlbrinten er afgasset, inden den forsurede gylle pumpes tilbage i stalden.

I svinestalde kan der også monteres staldforsuringsanlæg i eksisterende stalde, afhængigt af gyllesystemets opbygning, men det kræver en ombygning, idet der skal laves rørføringer, der kan lede den forsurede gylle tilbage til de enkelte sektioner. Der er en markant størrelsesøkonomi i forsuringsanlæg, så jo større stalde, jo bedre. For beregninger af økonomien, henvises til teknologiblade om svovlsyreforsuring af gylle (Miljøministeriet, 2011). Nye opdaterede Teknologibeskrivelser forventes publiceret af DCA ultimo 2022.

I nye svinestalde vil de nødvendige rørføringer kunne laves i forbindelsen med etablering af forsuringsanlæg, hvilket vil reducere omkostningerne.

Effekt på drivhusgasudledning

Ammoniakdeposition er en indirekte kilde til lattergas, og derfor kan gylleforsuring potentielt reducere emissioner af lattergas ved at begrænse ammoniakfordampningen. På MST's Teknologiliste er ammoniakreduktionen fastsat til 64% for svinestalde og 50% for kvægstalde. En ny undersøgelse har dog dokumenteret, at effekten i kvægstalde kun er 33% (Kasper et al., 2022).

Effekten på ammoniak vil variere med staldtemperaturen og behovet for ventilation; således fandt Petersen et al. (2016), at reduktionen over hele produktionsperioder for slagtesvin var hhv. 66 og 71% forår og efterår, men kun 44% i en sommerperiode med stort behov for ventilation. Årsagen er, at forsuringen kun forhindrer ammoniaktab fra gyllekummer, ikke fra fugtige overflader på gulvniveau, som påvirkes af staldklimaet. Her antages en gennemsnitlig ammoniakreduktion på 60% ved staldforsuring uanset gylletype. Tilsvarende antages en ammoniakreduktion ved udbringning i marken fra staldforsuret gylle på 60% i overensstemmelse med MSTs Teknologiliste. I beregningen af den indirekte lattergasemission, som følge af ammoniakfordampning fra stald og lager, anvendes oplysninger om ammoniaktab i Normtal 2015. Ammoniaktabet efter udbringning er sat til 20%; ifølge Hansen et al. (2008) vil det være lavere ved udlægning i en voksende afgrøde (f.eks. vintersæd). Reduktion af ammoniaktab giver mere kvælstof på ammoniakform i udbragt gylle, som kan fortrænge en tilsvarende mængde N i handelsgødning. Den samlede effekt på direkte og indirekte emissioner af N2O tidligere opgjort til mellem 2 og 3,5 kg CO2-ækv per ton gylle (Olesen et al., 2018).

Danske forsøg med svovlsyre i laboratorieskala med kvæggylle (Petersen et al., 2012) viste reduktioner på 67-87% i metanudledningen over ca. 3 mdr. lagringsperiode. Andre laboratorieforsøg med kvæggylle, samt løbende tilsætning af frisk kvæggylle viste 89% metanreduktion (Fuchs et al., 2021). Forsøg med svinegylle i pilotskala har vist reduktioner på > 90% (Petersen et al., 2014) ved lagring over ca. 3 mdr. og uden tilførsel af ubehandlet gylle. Misselbrook et al. (2016) fandt i pilotskalaforsøg ved 7, 11 og 17 °C en reduktion af metanemissionen fra kvæggylle på hhv. 86, 91 og 63%, i overensstemmelse med de danske resultater.

Ved en undersøgelse i to sengebåsestalde med spaltegulv og ringkanal blev der i gennemsnit målt 16% lavere metanemission i perioder med forsuring sammenlignet med perioder uden (Kasper et al., 2022).

Effekten af gylleforsuring på metanemissionen fra stalde vanskeliggøres af, at drøvtyggeres fordøjelsessystem bidrager med hovedparten af metanemissionen fra stalden, hvilket gør det vanskeligt at fastlægge den specifikke effekt af gylleforsuring i stalden. Effekterne er endnu ikke verificeret under praksisnære forhold, hvor metanemissionen fra gylle ikke kan adskilles fra den emission, som kommer fra dyrenes fordøjelse.

Det vurderes at 70% metanreduktion fra gyllen ved staldforsuring er realistisk for både kvæg- og svinegylle. Dette estimat er konservativt sat og kan vise sig at være højere når yderliere fuldskala dokumentation tilvejebringes. Staldforsuring med svovlsyre forventes også at hæmme metanemission under den efterfølgende lagring uden for stalden og her er vist højere reduktioner (Petersen et al., 2014), men over kortere perioder. Ma et al. (2022) underbygger at selv om pH værdier stiger i lageret over tid, så vil metanemission fortsat være reduceret. Derfor forventes reduktionen i lageret ligeledes at være høj og fastsættes også til 70%. Potentialet for staldforsuring er estimeret i Tabel 4.

Tabel 4. Estimeret metanreduktion i stald, lager og totalt ved staldforsuring og udslusning ved fuld kumme. I lageret antage forsuringseffekten at fortsætte. For kvægstalde er kun medtaget gødning fra stalde med ringkanal eller bagskyl. For svinestalde er medtaget gødning fra stalde hvor rørudslusning kan benyttes.

Dyretype		CH4 reduktion stald, %	CH4 reduktion lager, %	CH4 reduktion total, %	CH4 nettoreduktion, kg CO2 ækv. / ton gødning ab dyr
Svinegylle		70	70	70	74
	Smågrise	70	70	70	69
	Søer	70	70	70	76
	Slagtesvin	70	70	70	74
Kvæggylle		70	70	70	44

Samspil til andre virkemidler

Der kan højst anvendes 20% forsuret gylle i biogasanlæg, og det vil udløse ekstra-omkostninger til svovlrensning (Moset et al., 2012). Aktuelt er omfanget 0 - 20.000 tons forsuret gylle til biogas (Henrik B. Møller, Aarhus Universitet, pers. meddelelse). Hensynet til gasproduktion og udgifter til svovlrensning gør det indtil videre uinteressant at behandle forsuret gylle i biogasanlæg. I stedet bør de to teknologier, forsuring i stald og biogasbehandling, ses som komplementære.

I laboratorieforsøg har AU undersøgt emission af lattergas efter udbringning af forsuret gylle (ikke publicerede data). Der blev ikke fundet nogen effekt af forsuringen af kvæg- og svinegylle efter tilførsel af forsuret kvæg- eller svinegylle til tre forskellige jordtyper.

Overdækning af gyllelagre er allerede i dag et krav, og udbringningsmetoder er tilgængelige, som kan begrænse ammoniaktabet (se afsnit 6.5). Den marginale effekt af gylleforsuring på ammoniaktabet er derfor først og fremmest tabet i stalden. I lyset af udfordringerne med svovloverskud og driftsudgifter til svovlsyre, er det værd at overveje alternative strategier til gyllehåndtering. Et sådant alternativ kunne være gylleforsuring med det formål at opnå en metanreduktion. Hidtidige forsøgsresultater giver anledning til at tro, at effekten på metanemission kan opnås med betydeligt lavere svovlsyremængder end effekten på ammoniak, fordi ikke kun pH er ansvarlig for hæmningen af metanproduktion (Ma et al., 2022). En mulig strategi kunne være at reducere opholdstiden for gylle i stalden kombineret med forsuring i lagertanken. Her vil der være praktiske udfordringer pga. kravet om forsuring ved hver tilførsel af gylle fra stalden; der er et videns- og udviklingsbehov vedrørende strategier til forsuring og omrøring i lagertanken.

Usikkerheder

Gylleforsuring reducerer ammoniaktabet under lagring og udbringning af gylle. Hvis der gødes efter normtal for økonomisk optimal kvælstoftildeling uden at tage højde for øget andel af ammoniakkvælstof i gyllen, så vil det resultere i en øget kvælstoftilførsel til dyrkningsjorden, og dermed øget risiko for nitratudvaskning. Her antages, at øget ammoniakindhold i gyllen substituerer handelsgødning, og dette er indregnet i effekten på lattergasemission. I praksis kan en sådan effekt kræve at udnyttelseskravet øges for kvælstof i forsuret gylle.

Den højere N-tilgængelighed i forsuret gylle kunne tidligere omregnes til et forventet merudbytte i planteproduktionen på grund af relativt lave normer for N-gødskning. Undergødskning kan ikke længere antages i dansk konventionelt landbrug, og dermed forringes økonomien i gylleforsuring.

I beregningen af økonomien i gylleforsuring i stalden kan værdien af svovl fra svovlsyren indgå. Potentialet for besparelse af S-gødning er gennemsnitligt 22 kg S/ha (Eriksen, 2009), men lokalt vil potentialet variere som følge af sædskifte, dyretæthed og jordbundsforhold. Der findes ingen kortlægning af dyrkningsjordens svovlbalance, men tilførslen af svovl i forsuret gylle vil uanset afgrøde svare til, eller overstige, planternes behov. Substitution af svovl kan altså antages på det areal, som gødes med husdyrgødning.

Afgrødens behov kan variere mellem 10 og 50 kg S/ha, mens tilførslen vil være i størrelsesordenen 40-60 kg S/ha ved tilførsel af forsuret kvæggylle, og 50-80 kg S/ha ved tilførsel af svinegylle ved typiske doseringer. Det giver et potentiale for udvaskning af sulfat, som blev diskuteret af Olesen et al. (2018)

I lyset af en forventet fortynding af sulfat på grund af mere regn, og den lavere biologiske aktivitet i vinterhalvåret, vurderes der at være begrænset risiko for, at udvaskning af sulfat fra marker gødet med forsuret gylle fører til fosformobilisering i vandløb og søer. Risikoen kan være større i vådområder, hvor vandet transporteres igennem en matrice med højt indhold af organisk stof, og hvor sulfatreduktion med udfældning af jernsulfid derfor i teorien kan begrænse tilbageholdelsen af fosfat. Der er behov for mere viden om den kvantitative betydning af disse processer, specielt i vådområder med afstrømning fra

landbrugsarealer. Som en del af aftalen om Grøn Omstilling af dansk landbrug igangsættet der ved AU i 2023 et projekt, som skal belyse miljømæssige og eventuelle økologiske effekter af at udbringe forsuret gylle.

Behovet for kalkning vil være større med anvendelse af forsuret gylle. Ammoniakbaseret gødning giver i forvejen en forsuring af dyrkningsjorden i det omfang N-tilførslen er større end den mængde, der optages af planter som nitrat og fjernes ved høst, eller som tabes via nitratudvaskning (Barak et al., 1997). Tilsætning af sulfat til gyllen i form af svovlsyre vil tilsvarende forsure jorden. I Europa svarer anvendelsen af kalk til jordbrugsformål til i gennemsnit 0,7 kg kalk/kg N tilført (Sutton et al., 2011). For eksemplet ville kalkbehovet som følge af N-gødskning alene være 70 kg kalk/ha. Anvendelsen af forsuret gylle kunne forøge kalkbehovet med hhv. 145 og 257 kg/ha/år for kvæg- og svinegylle (Olesen et al., 2018). Den øgede kalkning vil også øge CO2-udledningerne. Dette er dog ikke medregnet her.

Mange reducerede svovlforbindelser er flygtige og med en lav tærskelværdi for lugt. Gylleforsuring med svovlsyre i stalden kan derfor påvirke gyllens lugt. Praktiske erfaringer kan ikke underbygge, at forsuring mindsker eller forøger lugtgener, men at lugten ændrer karakter. Kontrollerede forsøg indikerer, at lugten efter tilsætning af svovlsyre præges relativt mindre af svovlbrinte, og mere af metanthiol (Eriksen et al., 2012).

Referencer:

Andersen, M. (2013): JH-FORSURING NH4+ Jørgen Hyldgård Staldservice A/S Test report version 1-5. Agro-Tech A/S. 55 p.

Barak, P., Jobe, B.O., Krueger, A.R., Peterson, L.A., Laird, D.A., 1997. Effects of long-term soil acidification due to nitrogen fertilizer inputs in Wisconsin. Plant Soil 197, 61-69.

Eriksen, J., 2009. Soil sulfur cycling in temperate agricultural systems. Adv. Agron. 102, 55-89.

Eriksen, J., Andersen, A.J., Poulsen, H.V., Adamsen, A.P.S., Petersen, S.O., 2012. Sulfur turnover and emissions during storage of cattle slurry: Effects of acidification and sulfur addition. J. Environ. Qual. 41, 1633-1641.

Fuchs, A., Dalby, F. R., Liu, D., Kai, P., Feilberg, A. (2021). Improved effect of manure acidification technology for gas emission mitigation by substituting sulfuric acid with acetic acid. Cleaner Engineering and Technology, 4, 100263.

Hansen, M.N., Sommer, S.G., Hutchings, N.J., Sørensen, P., (2008). Emission factors for calculation of ammonia volatilization by storage and application of animal manure. Aarhus University, Aarhus, DK.

Holm, M. (2016): Daglig udslusning af gylle. Notat udarbejdet i forbindelse med GUDP-netværksprojektet "Månegrisen. Partnerskab om fremtidens bæredygtige og effektive svinestalde".

Kasper, P. Dolriis, M.D., Fuchs, A., Kai, P., Riis, A.L. (2022). Svovlsyreforsuring i kvægstalde. Rapport, SEGES Innovation. Udgivet 14. marts 2022, 38 pp.

Ma, C., Dalby, F.R., Feilberg, A., Jacobsen, B.H., Petersen, S.O. (2022). Low-Dose Acidification as a Methane Mitigation Strategy for Manure Management. ACS Agricultural Science and Technology, 2(3), 437–442. https://doi.org/10.1021/acsagscitech.2c00034

Misselbrook, T., Hunt, J., Perazzolo, F., Provolo, G. (2016). Greenhouse Gas and Ammonia Emissions from Slurry Storage: Impacts of Temperature and Potential Mitigation through Covering (Pig Slurry) or Acidification (Cattle Slurry). J. Environ. Qual. 45:1520–1530.

Moset, V., Cerisuelo, A., Sutaryo, S., Møller, H.B. (2012). Process performance of anaerobic co- digestion of raw and acidified pig slurry. Water Research, 46(16), 5019–5027. https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.06.032Pedersen, P. & Albrechtsen, K. (2012): JH forsuringsanlæg i slagtesvinestald med drænet gulv. Meddelelse nr. 932, Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning, 23 pp.

Olesen et al. (2018) Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget. DCA rapport 130

Petersen, S.O., Højberg, O., Poulsen, M., Schwab, C., Eriksen, J. (2014): Methanogenic community changes, and emissions of methane and other gases, during storage of acidified and untreated pig slurry. J. Appl. Microbiology 117, 160-172.

Petersen, S. O., Hutchings, N. J., Hafner, S. D., Sommer, S. G., Hjorth, M., & Jonassen, K. (2016). Ammonia abatement by slurry acidification: A pilot-scale study of three finishing pig production periods. Agriculture, Ecosystems & Environment, 216, 258-268. https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.042

Riis, A.L. (2016): Effekt af JH forsuring NH4+ i slagtesvinestalde med drænet gulv. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning, meddelelse nr. 1078, 22 p.

Riis, A.L., Jonassen, K.E.N. (2018): Test af forsuringshyppighed i svinestalde. SEGES Svineproduktion, Meddelelse nr. 1130, 12 p.

Sommer, S.G., T.J. Clough, N. Balaine, S.D. Hafner, Cameron, K.C. (2017). Transformation of Organic Matter and the Emissions of Methane and Ammonia during Storage of Liquid Manure as Affected by Acidification. J. Environ. Qual. 46:514-521.

Sutton, M.A., Howard, C.M., Erisman, J.W., Billen, G., Bleeker, A., Grennfelt, P., van Grinsven, H., Bruna Grizetti, B., 2011. The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives. Cambridge University Press.

Køling af gylle i grisestalde

Forfatter(e): Peter Kai og Anders Peter Adamsen, begge fra Institut for Bio- og Kemiteknologi

Fagfællebedømmer: Lise Bonne Guldberg, Institut for Bio- og Kemiteknologi

Gyllekøling er en teknologi, som er udviklet til reduktion af ammoniakemission fra gyllekummer og -kanaler under spaltegulvet i grisestalde. Ammoniakemission udgør en indirekte kilde til lattergas, og reduktion af ammoniakemissionen fra stalde vil derfor reducere den indirekte lattergasemission. Desuden øges gyllens kvælstofværdi og kan, trods et formodet marginalt større tab under lagring af gylle i gyllebeholder inden udbringning, substituere handelsgødning svarende til den forøgede netto-ammoniummængde i gyllen på udbringningstidspunktet. Denne substituering er også en forudsætning for, at en reduktion af de indirekte lattergasemissioner er effektiv.

En sænkning af gyllens temperatur hæmmer også den biologiske omsætning i gyllen, og fører blandt andet til lavere metan- og lugtemissioner. Ikke-omsat organisk stof i gyllen overføres med gyllen til gyllebeholderen, hvor det vil give anledning til øget metanproduktion under den efterfølgende lagring. Størst effekt af gyllekøling vil derfor opnås, hvis gyllen efter udslusning afgasses i et biogasanlæg, idet der potentielt opnås både metanreduktion og en øget bioenergiproduktion. Andre virkemidler til at reducere metanemission fra lagre er forsuring, overdækning af gylletanke med ventileret oxidation eller afbrænding i en fakkel.

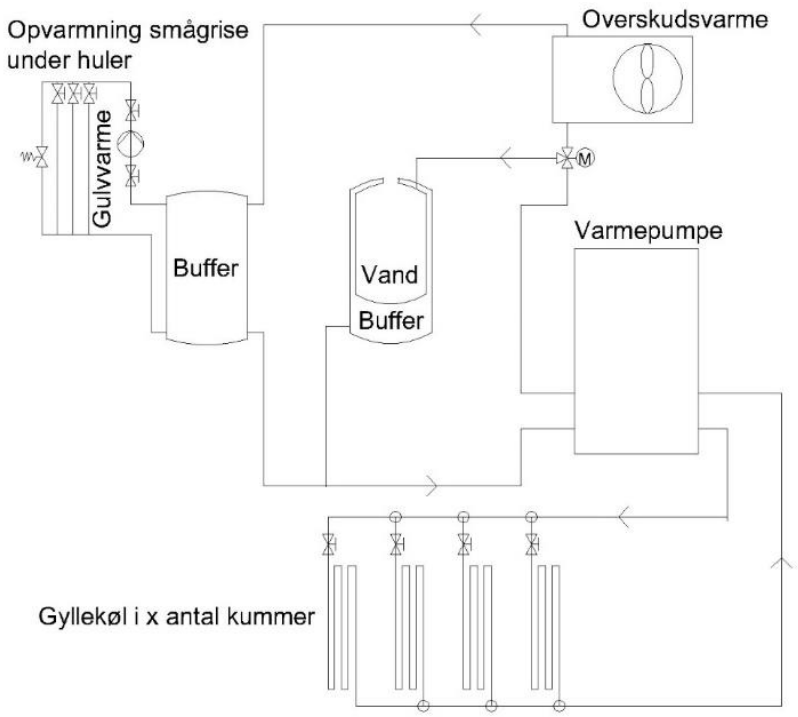
Gyllekøling foretages i reglen ved anvendelse af varmepumpe og er en energikrævende proces. Økonomien afhænger i høj grad af, i hvilket omfang den indvundne varmeenergi kan udnyttes til fx rumopvarmning, hvorfor virkemidlet primært er relevant for bedrifter med smågriseproduktion.

Anvendelse

I Danmark etableres gyllekøling typisk ved nedstøbning af slanger af polyetylen (PE) i bunden af gylle- eller gødningskanalerne i stalden. Typisk udlægges køleslangerne oven på armeringsnettet og overstøbes med beton. Der isoleres normalt ikke under betonlaget. Slangerne udlægges typisk med en afstand på 40 cm. Slangerne kan også udlægges direkte oven på kanalbunden, hvorved der formodentlig kan opnås en større ammoniakreduktion men med risiko for problemer i forbindelse af udslusning af gylle i form af bundfældning og risiko for brud på køleslanger ved mekanisk rengøring af kummerne, selvom Pedersen (1997) bemærker, at "placering af kølerør på bunden i gyllekummens længderetning ikke havde nogen negativ indflydelse på udslusning af gylle". Der er os bekendt ingen erfaringer med denne fremgangsmåde fra andre stalde.

Køleslangerne fyldes med vand tilsat frostvæske og forbindes med en varmepumpe. Varmepumpen overfører energi (varme) fra kølevandskredsløbet (køleslangerne) til en varmtvandsbeholder på varmepumpens varmeside. Det varme vand kan bruges til opvarmning af stalde, servicerum, vådfoder, vaskevand eller boliger. Overskydende varme må fjernes med en luftkølet kondensator eller på andet vis for, at systemet kan fungere.

Det er almindeligt at dimensionere gyllekøling efter varmebehovet andre steder på bedriften, fx smågrisestalde. Det betyder, at der oftest kun køles i den periode, hvor der anvendes varme. Såfremt gyllekølingen skal anvendes ud over det antal timer, der er behov for varme, skal der tilføjes en luftkølet kondensator til at bortskaffe overskydende varme.



Figur 2. Skitse af gyllekølingsanlæg med gyllekøling, varmepumpe og varmeafsætning i smågrisehuler i fare-stalden. Desuden er der vist en luftkølet kondensator til afsætning af overskudsvarme.

Der findes eksempler på kvægstalde, som har nedlagt køleslanger i gyllekanalerne med henblik på indvinding af varmeenergien fra gyllen (alternativ til jordvarme), men der foreligger ingen måledata i forhold til NH_3 og andre gasser fra moderne stalde. Gyllekøling er derfor kun optaget på miljøstyrelsens teknologiliste til brug i svinestalde.

Relevans og potentiale

Kvægstalde er åbne og har en gennemsnitstemperatur i gyllekanalerne, som kun er få grader over udetemperaturen, hvilket begrænser effekten af gyllekøling. Desuden er gyllehøjden i gyllekanalerne i kvægstalde typisk mellem 40 og 80 cm, hvilket vanskeliggør nedkøling via køleslanger nedstøbt i kanalbunden. Gyllekøling er derfor ikke aktuel i kvægstalde.

Griseproduktion foregår typisk i isolerede stalde med mekanisk ventilation, som regulerer staldtemperaturen i forhold til grisenes krav. Dette giver et stort potentiale for ammoniak- og metanfordampning, og her har gyllekøling potentiale til at reducere emissionerne. Gyllekøling kan principielt anvendes i alle typer af

grisestalde, hvor husdyrgødningen håndteres som gylle. I stalde med udeareal til økologisk produktion af grise vurderes effekten dog at være usikker. Der er i det følgende estimeret effekter for alle kategorier af grise i stalde med gyllesystem baseret på rørudslusning.

En opgørelse omfattende danske miljøgodkendelser i perioden 2007-2016 viser, at ca. 1800 miljøgodkendelser eller omkring 20% af alle miljøgodkendelser indeholder en eller anden form for teknologi til at reducere ammoniakemission (Albrechtsen et al., 2021). Af disse indgår gyllekøling i grisestalde i ca. 460 realiserede miljøgodkendelser og med en gennemsnitlig køleeffekt svarende til en beregnet ammoniakreduktion på 19,6%. Dette svarer til en årsmiddel køleeffekt på ca. 26 W/m^2. Baseret på analysen estimeres omfanget af gyllekøling i danske grisestalde i 2017 at være hhv. 3,4% af de producerede slagtegrise, 7,4% af årssøerne og 5,3% af de producerede smågrise.

En endnu ikke publiceret GIS-baseret analyse af anvendelse af gyllekøling i danske grisestalde gennemført af firmaet Conterra viser, at mindst 4,4% af de producerede slagtegrise, mindst 10,2% af årssøerne og mindst 5,1% af de producerede smågrise i 2021 blev produceret i stalde med gyllekøling (Nehmdahl, personlig information). Tallene kan være højere, da det ikke var muligt at verificere, om alle miljøgodkendelser med gyllekøling var blevet realiseret. Undersøgelsen viser endvidere, at der i gennemsnit af godkendelserne blev anvendt en årsmiddel køleeffekt på 16,8 W/m^2.

Principielt kan gyllekøling installeres i de fleste grisestalde med gyllesystemer med rørudslusning og mekanisk udmugning. Ved nyetablering nedstøbes køleslangerne i gyllekanalernes betonbund. Dette vurderes ikke at være muligt i eksisterende stalde. Udlægning af køleslanger oven på bunden af gyllekanalerne er teknisk muligt i stalde med rørudslusning, men kan ikke anvendes i stalde med mekanisk udmugning. Forsøg med gyllekøling i en slagtegrisestald med fuldspaltegulv og rørudslusning viste, at køleslangerne kan udlægges oven på kanalbunden uden væsentlig negativ indvirkning på udslusningsfunktionen, når køleslangerne ligger i stiens længderetning (Pedersen, 1997). Hvor tit gyllen blev udsluset, er ikke angivet, men det formodes, at gyllekummerne blev tømt, når de var ved at være fyldt op, dvs. et par gange i løbet af et hold grise. Hyppig udslusning af gyllen vurderes imidlertid at være problematisk, fordi køleslangerne kan have en negativ indflydelse på udslusningsfunktionen, når der ikke er ret meget gylle i gyllekanalerne.

Eftermontering af gyllekøling i eksisterende grisestalde vurderes at være markant dyrere end ved nyetablering, hvilket vil være en væsentlig hindring for evt. øget udbredelse i eksisterende stalde. For nye stalde er omkostningerne til investering og drift af gyllekøling en barriere for udbredelsen, mens behovet for at opfylde miljøkrav er et væsentligt incitament.

Der arbejdes på at reducere energiforbrug ved bl.a. såkaldt frikøling, hvor den opsamlede varme i kølevandet sænkes ved direkte køling med en luftkondensator, dvs. uden anvendelse af en kompressorkøling. Kravet til frikøling er, at udeluftens temperatur er mindst 2 – 3 °C lavere end fremløbstemperaturen af kølevæsken. Med typiske fremløbstemperaturer på 11 – 13 °C i kølevandet, når det returnerer fra stalden, betyder

at udetemperaturen skal være 9 °C eller lavere (Klimadan, 2020). Klimadan angiver at frikøling kan udføres med et energiforbrug på 10 – 15% af en varmepumpes energiforbrug. Frikøling er kun interessant, hvor varmen ikke kan nyttiggøres.

Effekt på drivhusgasudledning

Gyllekøling er et potentielt klimavirkemiddel, som reducerer ammoniakemissionen og dermed den indirekte emission lattergas samt emissionen af metan fra gylle i stalden. Med den fornødne dokumentation for tiltagets udbredelse kan effekterne umiddelbart inkluderes i den nationale opgørelse. Denne dokumentation skal omfatte mængden af gylle, der køles, samt en dokumentation af effekten for konkrete stald- og kølesystemer, hvor gyllens temperatur har afgørende betydning for effekten.

Metan

Der er en veldokumenteret sammenhæng mellem dannelsen af metan som funktion af gyllens temperatur (fx Petersen et al., 2016). Ved at modellere produktion af og den tilhørende omsætning af organisk stof med gyllens gennemsnitlig opholdstid kan man beregne den akkumulerede metanproduktion i stald og lager, hvilket også er metoden for de nationale opgørelser (Albrechtsen et al., 2016). Men mange stipladser (det behøver ikke at være hele stalden) med gyllekøling er dimensioneret efter varmebehovet på gården, hvilket er størst om vinteren, og dels varierer betragteligt mellem de enkelte bedrifter.

I forhold til metanproduktion er udfordringen med gyllekøling dels at kende temperaturen i gyllesøjlen, at vurdere påvirkning af gylleresten (inokulum) efter udslusning på metanproduktion fra frisk gylle, omsættelighed af udskilt organisk materiale, pH osv. Eksempelvis har forsøg vist, at gyllekøling med en konstant køleeffekt på 26 W/m^2 i slagtegrisestalde med rørudslusning giver et gennemsnitligt temperaturfald i gyllen 10 cm over bunden på 2,4 °C og ved bunden på 4,5 °C i forhold til en nabostaldsektion uden gyllekøling. Den gennemsnitlige gyllehøjde i staldene var 19-20 cm, og køleslangerne var nedstøbt i betonbunden (Holm et al., 2017).

En analyse af miljøgodkendelser og omfang af gyllekøling i danske svinestalde har vist, at der i gennemsnit installeres en kølekapacitet på 20 W/m^2 produktionsareal i miljøgodkendelserne (Nehmdahl et al., 2022). I gennemsnit forudsættes varmepumperne dog kun i drift i 7336 timer om året, hvilket giver en gennemsnitlig køleeffekt over året på 16,8 W/m^2. Samtidig har forsøg vist, at gyllens temperatur i gennemsnit falder med ca. 1,1°C pr. 10 W/m^2 køleeffekt (udledt af Holm et al., 2017). Ved en gennemsnitlig årlig køleeffekt på 16,8 W/m^2 kan det derfor forventes, at gyllens gennemsnitstemperatur falder med 1,8°C ved en gennemsnitlig gyllehøjde på ca. 20 cm. Disse forudsætninger er anvendt som input ved beregning af klimaeffekten af gyllekøling i relevante typer svinestalde. Ved beregningerne er det forudsat, at gyllen efter udslusning fra stalden lagres uden yderligere behandling i gyllebeholder indtil udbringning.

Tabel 5 viser værdier for metanemission fra slagtegrise-, so- og smågrisestalde og metanproduktionen i efterfølgende lagring i gyllebeholder inden udbringning og hhv. uden og med gyllekøling. Metanværdierne for slagtegrisestalde er beregnet som et vægtet gennemsnit af metanproduktionen i stalde og lager for hhv. stalde med drænet gulv og spaltegulv, stalde med 25-49% fast gulv samt stalde med 50-75% fast gulv. For søer er værdierne beregnet som et vægtet gennemsnit af hhv. farestalde med fuldspaltegulv, farestalde med delvist fast gulv og løbe-/drægtighedsstalde med løsdriftsstier med delvist fast gulv. For smågrisestalde er værdier beregnet som et vægtet gennemsnit af hhv. toklimastalde med delvist fast gulv og stalde med drænet gulv og spaltegulv. Vægtningen er baseret på aktivitetsdata fra DCE som vist i Adamsen et al. (2021)

Tabel 5. Metanemission fra grisestalde med rørudslusning uden og med gyllekøling (16,8 W/m^2) (kg CH4/ton gylle ab stald).

Dyretype		**Gyllekøling**	**Stald**	**Lager**	**I alt**
Grise		+	1,63	2,12	3,75
		-	1,30	2,23	3,53
	Slagtegrise	-	1,45	2,23	3,68
		+	1,21	2,31	3,52
	Søer	-	1,88	2,10	3,98
		+	1,58	2,19	3,78
	Smågrise	-	1,85	1,81	3,66
		+	1,20	2,03	3,23

Note: *Slagtegrisestalde: vægtet gns. af CH_4-produktion i hhv. stalde med drænet gulv og spaltegulv, stalde med 25-49% fast gulv og stalde med 50-75% fast gulv. Søer: vægtet gennemsnit af hhv. farestalde med fuldspaltegulv, farestalde med delvist fast gulv og løbe-/drægtighedsstalde, løsdriftsstier med delvist fast gulv. Smågrise: vægtet gennemsnit af hhv. toklimastalde med delvist fast gulv og stalde med drænet gulv og spaltegulv.*

Tabel 6 viser den beregnede effekt på metanproduktionen ved anvendelse af gyllekøling i grisestalde. Som grundlag for beregningerne er anvendt den tidligere nævnte model, der beregner produktionen af metan baseret på Arrhenius-ligningen (Adamsen et al., 2021).

Tabel 6. Metanreduktion I stald, lager og total i grisestalde med gyllekøling ved en årsmiddel køleeffekt på 16,8 W/m^2 i stalde med rørudslusning.

Dyretype		CH_4 reduktion stald (%)	CH_4 reduktion lager (%)	CH_4 reduktion i alt (%)	CH_4 reduktion i alt, kg/ton gylle ab stald	GWP, g CO_2 ækv./g CH_4	Reduktion i CH_4-emission, kg CO_2 ækv. / ton gylle ab stald
Grise		20,2	-5,2	5,9	0,223	25	5,6
	Slagtegrise	16,7	-3,5	4,4	0,163	25	4,1
	Søer	15,9	-4,7	5,1	0,202	25	5,1
	Smågrise	35,1	-11,7	11,9	0,437	25	10,9

Lattergas

Der er ikke fundet dokumentation for, at gyllekøling påvirker den direkte udledning af lattergas fra stalde. Gyllekøling reducerer derimod ammoniakfordampningen fra gyllekummerne i stalden og bidrager dermed til at reducere den indirekte udledning af lattergas.

Gyllekøling er optaget på Miljøstyrelsens teknologiliste for staldindretning. For grisestalde med rørudslusning er følgende sammenhæng mellem køleeffekt (x, W/m^2) og reduktion i ammoniakfordampning op til 30% angivet:

Reduktion (%) = $0{,}85*x - 0{,}004*x^2$

Mekanisk udmugning giver større effekt end rørudslusning, fordi gyllehøjden er lavere end i stalde med rørudslusning. For grisestalde med mekanisk udmugning (linespilsanlæg) angiver Miljøstyrelsens teknologiliste følgende sammenhæng mellem køleeffekt og reduktion i ammoniakfordampning op til 34%:

Reduktion (%) = $1{,}66*x - 0{,}02*x^2$

Ifølge formlerne reducerer en konstant køleeffekt på 16,8 W/m^2 gyllekumme ammoniakemissionen fra stalden med 13,2% i stalde med rørudslusning, mens der i stalde med mekanisk udmugning opnås en reduktion på 22,2%. Ligesom for metan medfører en lavere ammoniakemission fra stalden alt andet lige, at lageret tilføres mere ammonium-N, hvilket fører til en marginalt højere ammoniakemission fra lageret.

Tabel 7 viser den vægtede ammoniakemission pr. ton gylle ab lager for grisestalde med og uden gyllekøling. Værdierne angivet for hver dyrekategori repræsenterer et vægtet gennemsnit af de hyppigst forekommende staldtyper. Værdierne anvendes som grundlag for en beregning af reduktionen i den indirekte lattergasemission som beregnes på grundlag af ammoniakemissionen (Tabel 8).

Tabel 7. Ammoniakemission fra stald, lager og total i grisestalde uden og med gyllekøling (16,8 W/m^2) (kg NH3-N/ton gylle ab stald)

Dyretype		Gyllekøling	Stald	Lager	I alt
Grise		-	0,546	0,067	0,613
		+	0,474	0,069	0,543
	Slagtegrise	-	0,595	0,065	0,660
		+	0,517	0,067	0,583
	Søer	-	0,627	0,084	0,711
		+	0,544	0,086	0,630
	Smågrise	-	0,287	0,053	0,340
		+	0,249	0,054	0,303

Tabel 8. Ammoniakemission og afledt indirekte lattergasproduktion i stald, lager og total i grisestalde med gyllekøling ved en årsmiddel køleeffekt på 16,8 W/m^2 i stalde med rørudslusning.

Dyretype		NH_3-N reduktion stald og lager (%)	NH_3-N reduktion, kg NH3-N/ton gylle ab stald	Reduktion i indirekte lattergas, kg N_2O-N/kg NH_3-N	GWP, g CO_2 ækv./g N_20	Reduktion i indirekte lattergasemission, kg CO_2 ækv. / ton gylle ab stald
Grise		11,3	0,070	0,01	298	0,33
	Slagtegrise	11,6	0,076	0,01	298	0,36
	Søer	11,3	0,080	0,01	298	0,37
	Smågrise	10,8	0,037	0,01	298	0,17

Energiforbrug

Gyllekøling er forbundet med et forbrug af elektrisk energi, som primært går til drift af cirkulationspumper og varmepumpe (kompressor). Typisk er køleeffekten ca. 2,5 gange varmepumpens effektoptag (køleeffektfaktor), og varmeeffekten er ca. 3,5 gange effektoptaget (varmeeffektfaktor). Dette afhænger dog af

lokale forhold som slangelængder, -tykkelser, antal ventiler, og ikke mindst af gylletemperaturen og temperaturen i varmtvandsbeholderen, hvor varmepumpen afleverer den indvundne varmeenergi.

Elforbruget til gyllekøling i er i en BAT-teknologibeskrivelse estimeret for forskellige køleeffekter fra 10 til 40 W/m^2 produktionsareal i grisestalde (Kai et al., 2022). Ud over anlæggets køleeffektfaktor afhænger elforbruget af den årlige gennemsnitlige køleeffekt per m^2 gyllekumme, og dermed afhænger elforbruget af stiernes gulvprofil samt, om der er gyllekanal under inspektionsgangen. Estimerede værdier for elforbrug og deraf følgende CO_2-emission forbundet med gyllekølig i grisestalde ved en årsmiddel køleeffekt på 16,8 W/m^2 produktionsareal i stalden er vist i Tabel 9. For hver dyrekategori er der beregnet et vægtet gennemsnit af de hyppigst forekommende staldtyper.

Tabel 9. Elforbrug ved gyllekøling ved en årsmiddel køleeffekt på16,8 W/m^2 i grisestalde med rørudslusning (mod. e. Kai et al., 2022).

Dyrekategori		**Elforbrug, kWh/ton gylle ab stald**	**CO_2 emission ved el-produktion, kg CO_2 ækv./kWh**	**CO_2 emission ved el-produktion, Kg CO_2 ækv./ton gylle ab stald**
Grise		18,6	0,070	1,3
	Slagtegrise	17,6	0,070	1,2
	Søer	23,6	0,070	1,7
	Smågrise	15,5	0,070	1,1

Ved beregningerne af udledningen af CO_2-ækv. forbundet med elforbrug er der ikke taget hensyn til i hvilket omfang den producerede varmeenergi anvendes til opvarmning af stalde eller lignende Substitution af anden opvarmningskilde med varme indvundet fra gyllekøling reducerer udledningen af CO_2-ækv., men en præcis beregning vanskeliggøres af, at behovet for opvarmning af staldene afhænger af årstiden og af grisenes alder.

Samlet effekt på drivhusgasudledning

Nettoeffekten af gyllekøling på udledningen af CO_2 ækv. fra grisestalde er vist i Tabel 10. Tabellen viser både den overordnede nettoeffekt for grise som helhed og opdelt på hhv. slagtegrise, søer og smågrise.

Tabel 10. Samlet effekt af gyllekøling ved en årsmiddel køleeffekt 16,8 W/m2 produktionsareal i stalde med rørudslusning på drivhusgasemissionen (kg CO2 ækv./ton gylle ab stald).

Dyretype		Reduceret metanemission	Reduceret indirekte lattergasemission	Øget energiforbrug	Samlet effekt
Grise		5,6	0,33	1,3	4,6
	Slagtegrise	4,1	0,36	1,2	3,3
	Søer	5,1	0,37	1,7	3,8
	Smågrise	10,9	0,17	1,1	10

Samspil til andre virkemidler

Hyppig udslusning: Gyllekøling (med nedstøbte køleslanger) kan kombineres med hyppig udslusning i stalde med rørudslusning og mekanisk udmugning, og dette vil øge reduktionseffekterne for både metan og ammoniak. Hovedeffekten vil dog skyldes effekten af hyppig udslusning. Incitamentet for at tilvælge gyllekøling i kombination med hyppig udslusning i stalde med rørudslusning kan være begrundet i opfyldelse af ammoniakreduktionskrav – hyppig udslusning påvirker så vidt vides ikke ammoniakemissionen - samt i at gyllekøling under visse omstændigheder kan levere relativ billig energi til fx opvarmning af bygninger og brugsvand i stalde, boliger og lignende.

Biogas: Gyllekøling medfører en mindre omsætning af organisk stof i stalden, hvilket betyder at mere organisk stof flyttes til lageret eller anvendes på biogasanlæg. Her vil det betyde en øget biogasproduktion.

Forsuring: Gyllekøling vurderes ikke at bidrage med yderligere reduktion af drivhusgasemissionerne i kombination med forsuring af gyllen i stalden. Gyllekøling i stalden i kombination med lav-dosis forsuring i lageret vil derimod øge den samlede reduktionseffekt på udledningen af metan fra stald og lager, fordi gyllekølingen påvirker metandannelsen i stalden, og lagerforsuringen påvirker metandannelsen i lageret.

Opsamling af gas i gyllelagre og afbrænding: Gyllekøling påvirker alene emissionerne metan og ammoniak i stalden. I kombination med opsamling af gas i gyllelagre og afbrænding af metanen vil der kunne opnås en additiv reduktionseffekt på den samlede metanemission fra stald og lager.

Overdækning af gylletanke med ventileret flydelag: Gyllekøling påvirker alene emissionerne metan og ammoniak i stalden. I kombination med overdækning af gylletanke med ventileret flydelag vil der kunne opnås en additiv reduktionseffekt på den samlede metanemission fra stald og lager.

Usikkerheder

Der indsamles ikke systematisk data vedrørende anvendelse af miljøteknologi i danske grisestalde. En miljøgodkendelse af en husdyrproduktion ledsages typisk af krav om anvendelse af ammoniak- eller lugtreducerende teknologi. Erhvervelse af en miljøgodkendelse er dog ingen garanti for at et projekt realiseres,

og derfor kan man ikke bare udarbejde en statistik baseret på miljøgodkendelser, og derfor må flere kriterier nødvendigvis anvendes for at få et retvisende billede af udbredelsen.

I den foreliggende analyse er der taget udgangspunkt i en årsmiddel køleeffektfaktor på 16,8 W/m^2 produktionsareal i staldene. Der er dog stor forskel på årsmiddel køleeffekten i den enkelte stald. Ifølge en analyse foretaget af firmaet ConTerra var den gennemsnitlige kapacitet af gyllekølingsanlæg anført i danske miljøgodkendelser 20 W/m^2. Variationen var dog stor: 3 – 40 W/m^2 (Nehmdahl, 2022). Den faktiske køleeffekt afhænger også af antallet af driftstimer pr. år, og der viste ConTerras undersøgelse, at gyllekølingsanlæggene formodes at være i drift i gennemsnit 7336 timer pr. år. Men også her er der stor variation: 1116 – 8760 timer pr. år (Hehmdahl, 2022).

Effekten af gyllekøling på ammoniakemissionen er hovedsageligt baseret på målinger foretaget i slagtegrisestalde, idet den målte effekt formodes at kunne anvendes i andre typer af grisestalde. Dette er dog forbundet med en øget usikkerhed, da sammensætningen af gylle varierer mellem dyregrupper, ligesom staldenes indretning varierer.

Effekten af gyllekøling på udledningen af metan i de enkelte staldtyper bygger på modelberegninger ved anvendelse af normtal for udskillelse og omsætning af husdyrgødning. Der foreligger imidlertid ikke konkrete staldmålinger, der direkte dokumenterer sammenhængen mellem køleeffekt og metanudledning.

Referencer:

Adamsen, A.P S., Hansen, M.J., Møller, H.B., (2021). Effekt af hyppig udslusning af gylle på metanproduktion, Notat fra DCA Nr. 2020-0166155, 9 s., jan. 12, 2021.

Albrektsen, R., Mikkelsen, M.H., Gyldenkærne, S. 2021. Danish emission inventories for agriculture. Inventories 1985 – 2018. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 202 pp. Scientific Report No. 443. http://dce2.au.dk/pub/SR443.pdf

Byggeri & Teknik (2020). Materiale udleveret på møde om gyllekøling i svinestalde den 29. sept. 2020 mellem Peter Kai og Anders Peter Adamsen, AU, og Svinerådgivningen, Sagro og Byggeri & Teknik.

Energistyrelsen (2021). Basisfremskrivninger. https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-mo-deller/basisfremskrivninger.

Holm, M., K.B. Sørensen, M.B.F. Nielsen (2017). Ammoniak- og lugtreduktion ved gyllekøling i slag-tesvinestalde. Meddelelse nr. 1105, Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

Holm, M., K.B. Sørensen (2019). Ammoniak og metanemission fra drægtighedsstalde. Erfaring nr. 1910. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

Kai, P., A.P. Adamsen (2017). Fra produktionsbaseret til arealbaseret emissionsberegning. Del 2: Emissionsfaktorer. Institut for Ingeniørvidenskab, Aarhus Universitet. Danmark..Technical report BCE –TR-12. 89 pp.

MELT (2017). Gyllekølings reducerende effekt på ammoniak og lugtemission. https://mst.dk/media/169085/indstilling-af-gyllekoeling-mediearkiv.pdf

Miljøministeriet (2010). Forudsætninger for de økonomiske beregninger ved gyllekøling. Søer og smågrise. Udarbejdet af NIRAS.

Nehmdahl, P. (2022). Dokumentation af udbredelse- og aktivitetsdata af gyllekøling i Danmark. Conterra Aps. Rapport under udarbejdelse.

Pedersen, P. (1997). Køling af gylle i slagtesvinestalde med fuldspaltegulv. Landsudvalget for svin, Meddelelse nr. 357, 6 pp.

Pedersen, P. (2005). Linespilsanlæg med køling i drægtighedsstalde. Meddelelse nr. 694, Landsud-valget for Svin og Videncenter for Svineproduktion.

RAV (2019). Regeling ammoniak en veehouderij. D 3 diercategorie vleesvarkens, opfokberen van ca. 25 kg tot 7 maanden, opfokzeugen van ca. 25 kg tot eerste dekking. https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/stalsystemen/emissiefactoren-per/map-stalty-pen/3-diercategorie-0/

Lav-dosis forsuring i gyllelagre

Forfatter: Søren O. Petersen, Institut for Agroøkologi

Fagfællebedømmer: Lise Bonne Guldberg, Institut for Bio- og Kemiteknologi

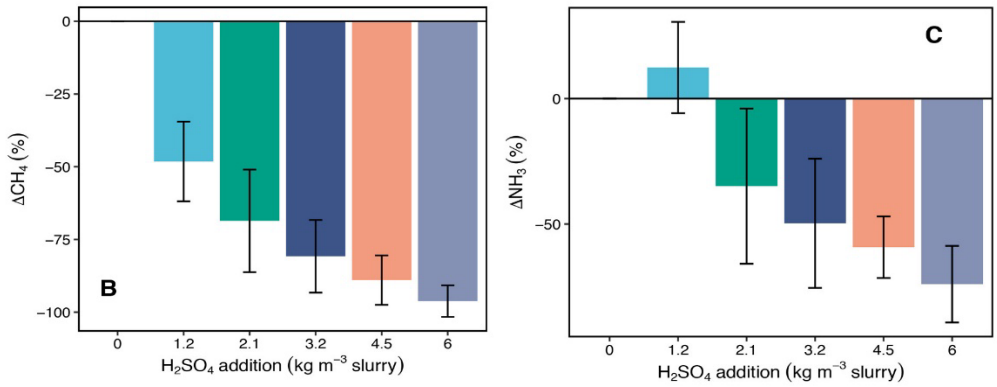
Forsuring af gylle i lagertanken er en velkendt praksis, der anvendes for at begrænse ammoniaktab i forbindelse med den efterfølgende udbringning. Krav til forbruget af 96% koncentreret svovlsyre (se Tabel 11) er beskrevet i den gældende gødningsbekendtgørelse (BEK 1142 af 10. juli 2022).

Tabel 11. Krav til syretilsætning (kg/ton) ved lagerforsuring før udbringning.

	Under udbringning	I lageret, max 72 før udbringning	I lageret, max 4 uger før udbringning
Kvæggylle	3,0	3,0	4,4
Svinegylle	2,9	2,9	5,7
Afgasset kvæg- og svinegylle	11,0	11,0	14,0

Det er velkendt, at gylleforsuring også hæmmer emissionen af metan under opbevaring af gylle (se afsnit 6.3), men det forudsætter forsuring ved lagringens begyndelse, og de aktuelle regler for lagerforsuring er dermed uforenelige med brug af forsuring som klimavirkemiddel.

Et lagringsforsøg i pilotskala blev gennemført i 2021 som led i klimaforskningsprojektet "Integreret reduktion af metanemission fra husdyrgødning" (INTERMET), hvor effekten af at forsure svinegylle med forskellige doser blev undersøgt (Ma et al., 2022). Den højeste dosis var 6 kg/ton svarende til normal forsuring, og derudover omfattede forsøget behandlinger med ubehandlet svinegylle og gylle med ca. 20, 40, 60 og 80% af normal dosis. Metan- og ammoniakemission, såvel som emission af lugtstoffer, blev fulgt i 8 uger; den samlede emission i perioden er vist i Figur 3. Resultaterne viste en gradvist mere effektiv metanreduktion med stigende syredosering, og det samme var tilfældet for ammoniak.



Figur 3. Ændring i emission af metan (t.v.) og ammoniak (t.h.) under otte uges lagring efter forsuring med forskellige doser af 96% svovlsyre.

Anvendelse

Lagerforsuring er en kendt teknologi, og der er allerede i dag maskinstationer, som leverer denne ydelse. Gylleomrøring uden forsuring er ligeledes kendt praksis, som altid finder sted forud for udbringning. Virkemidlet er således tilgængeligt for alle bedrifter, som ikke gør brug af andre metanreducerende virkemidler. Men der er som sagt tale om en alternativ anvendelse af forsuring, som ikke opfylder kravene til at bruge forsuring som ammoniakvirkemiddel.

Relevans og potentiale

Der er omkostninger forbundet med gylleforsuring, dels i form af indkøb af syre, men også omrøring i forbindelse med tilsætning. Forskellige strategier kan tænkes anvendt, såsom forsuring flere gange i lagringsperioden, eller forsuring en enkelt gang og efterfølgende omrøring i løbet af lagringsperioden, som skal sikre at ubehandlet gylle tilført fra stalden blandes op med allerede forsuret gylle. Det sidste scenarie har den fordel, at syrekoncentrationen så vil være relativt høj sommer og efterår, hvor potentialet for metan- og ammoniakemission også er størst. Behovet for omrøring er ukendt.

Effekt på drivhusgasudledning

I ovennævnte undersøgelse (Ma et al., 2022) blev der lavet foreløbige beregninger af omkostningseffektivitet for drivhusgasreduktion, som indikerede at forsuring med 2 kg/ton gav den bedste økonomi. Her viste forsøget en 70% reduktion af metanemissionen, mens reduktionen af ammoniakemission var mindre end 50%. Sammenlignelige resultater er rapporteret fra Canada i et pilotskalaforsøg med fortyndet kvæggylle (Sokolov et al., 2021). Med priser på under 50€ (350-400 kr.) pr. ton CO_2-ækv ved et omrøringsbehov på 1-3 gange i lagringsperioden synes dette at være en omkostningseffektiv strategi.

I beregningen af omkostningseffektivitet blev der taget højde for effekten på tab af ammoniak, som er en indirekte kilde til lattergas, Det blev antaget, at differencen mellem forsøgsbehandlinger vil afspejles i forbruget af handelsgødning.

Reduktion af metan fra lavdosis forsuring i lageret ses i Tabel 12.

Tabel 12. Estimeret metanreduktion i stald, lager og totalt ved udslusning af gylle ved fuld kumme og lavdosis forsuring i lager. For kvægstalde er medtaget gødning fra stalde med ringkanal eller bagskyl, fastdrænet gulv med skraber, spaltegulv med skraber og fast gulv med 2% hæld og skraber. For svinestalde er medtaget gødning fra stalde hvor rørudslusning kan benyttes.

Dyretype		CH4 reduktion stald, %	CH4 reduktion lager, %	CH4 reduktion total, %	CH4 nettoreduktion, kg CO2 ækv. / ton gødning ab dyr
Svinegylle		0	70	41	43
	Smågrise	0	70	40	40
	Søer	0	70	37	40
	Slagtesvin	0	70	43	45
Kvæggylle		0	70	33	15

Samspil til andre virkemidler

Der er en konflikt mellem anvendelsen af gylleforsuring som klimavirkemiddel og som kvælstofvirkemiddel. En effektiv hæmning af metanemissionen kræver en behandling ved lagringens begyndelse, og formentlig kan syreforbruget reduceres væsentligt. I modsætning hertil kræver en effektiv hæmning af ammoniakemissionen ved udbringning, at forsuring sker sent i lagringsperioden, og at syremængderne i Tabel 11 anvendes.

Der er et oplagt potentiale for synergi med hyppig udslusning, således af forsuring af gylle sker så tidligt i lagringsperioden som muligt.

Usikkerheder

Det er uklart, hvilken grad af opblanding det kræver at sikre en effektiv metanreduktion igennem hele lagringsperioden. Skal opblanding af gyllen ske hver gang, der tilføres frisk gylle, eller er færre gange tilstrækkeligt? Kan metoden til udpumpning af gylle fra stalden justeres, så der sikrer en bedre kontakt med den allerede forsurede gylle i lagertanken? Strategier til lavdosis-forsuring vil blive undersøgt i et nyt projekt med finansiering fra "Aftale om grøn omstilling af dansk landbrug" af 4. oktober 2021.

Risici for miljøeffekter ved udbringning af forsuret gylle blev diskuteret af Jensen et al. (2018) i lyset af, at tilførslen af svovl til jorden i form af sulfat er mindst dobbelt så stor som afgrødens behov. Den videre skæbne af sulfat i miljøet er ukendt, men potentielt kan sulfat føre til mobilisering af fosfor i vådområder eller sedimenter (Zak et al., 2006). Med den stigende udbredelse af gylleforsuring ved udbringning er det påtrængende nødvendigt at vurdere risikoen for, at dette sker under danske forhold. Med lavdosis-forsuring vil svovlmængden være langt bedre afstemt med afgrødernes behov, og risikoen for sulfatudvaskning og fosformobilisering tilsvarende mindre. Miljøeffekter af gylleforsuring vil også blive undersøgt i et nyt projekt med finansiering fra "Aftale om grøn omstilling af dansk landbrug".

Referencer:

Jensen, J., Krogh, P.H., Sørensen, P., Petersen, S.O. (2018). Potentielle miljøeffekter ved anvendelse af forsuret gylle på landbrugsjord. Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, nr. 257, bind 257, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi.

Ma, C., Dalby, F.R., Feilberg, A., Jacobsen, B.H., Petersen, S.O. (2022). Low-dose acidification as a methane mitigation strategy for manure management. Agricultural Science and Technology 2, 437-442.

Sokolov, V., Habtewold, J., VanderZaag, A., Dunfield, K., Gregorich, E., Wagner-Riddle, C., Venkiteswaran, J. J., Gordon, R. (2021). Response curves for ammonia and methane emissions from stored liquid manure receiving low rates of sulfuric acid. Frontiers in Sustainable Food Systems 5 (224), 678992.

Zak, D., Kleeberg, A., Hupfer, M. (2006). Sulphate-mediated phosphorus mobilization in riverine sediments at increasing sulphate concentration, River Spree, NE Germany. Biogeochemistry 80, 109-119.

Gylle og bioforgasning (reference for hyppig udslusning af gylle og bioforgasning)

Forfattere: Anders Peter Adamsen og Frederik Rask Dalby, Institut for Bio- og Kemiteknologi

Fagfællebedømmer: Henrik B. Møller, Institut for Bio- og Kemiteknologi

Dette afsnit beskriver almindelig håndtering af gylle som efterfølgende anvendes i et biogasanlæg (biofor-gasses). Emnet er udførligt behandlet i DCA-rapport nr. 175 (Olesen et al., 2020), som også er publiceret som en fagfællebedømt artikel (Møller et al., 2022).

Anvendelse

Bioforgasning af gødning kan anvendes på alle typer gødninger, på nær forsuret gylle, hvor kun en mindre andel kan anvendes uden at hæmme biogasudbyttet og forøge svovlbrinteindholdet i biogassen. Gylle fra kvægstalde med sand i sengebåse kan dog være problematiske at anvende til bioforgasning. Faste gødningstyper, fx hønsemøg med højt kvælstofindhold, kan være ligeledes problematiske, og kan kun tilsættes i mindre andele.

Relevans og potentiale

Bioforgasning er relevant for alle typer husdyrgødning, også dybstrøelse, men det kræver at biogasanlægget er dimensioneret til at håndtere gylle med højere tørstofindhold.

Potentialet er nærmest at alt husdyrgødning kan bioforgasses. Det kræver dog en kraftig udbygning af hele biogassektoren og gasledningsnettet, men potentialet er der.

Effekt på drivhusgasudledning

For svinegylle antages et gennemsnitligt udbytte på 335 liter metan ved standard tryk og temperatur per kg organisk stof (VS) ved opholdstid på 30 dage (Møller et al, 2022). Det svarer til at 24 vægtprocent af organisk stof omsættes til metan.

For kvæggylle antages et gennemsnitligt udbytte på 230 liter metan per kg organisk stof ved en opholdstid på 30 dage (Møller et al., 2022). Det svarer til at 17 vægtprocent af organisk stof omsættes til metan.

Det antages at 1 kg metan i biogas kan fortrænge 1 kg metan i naturgas. Et kg naturgas har en gennemsnitlig udledning på 0,068 kg CO2-ækv. per MJ (BioGrace, 2015). Da et kg metan indeholder 50,4 MJ energi (nedre brændværdi) betyder det, at et kg produceret metan i biogas ved fortrængning af naturgas vil have en negativ emission på 3,4 kg CO2-ækv., da biogas i sig selv ikke bidrager til mer-emission af CO2, udover de emissioner der er forbundet med brug af fossile brændstoffer til proces og transport af biomasse samt lækage af metan fra anlægget.

I DCA-rapporten "Bæredygtig biogas" er der for et anlæg med 40% svinegylle, 40% kvæggylle og resten som dybstrøelse beregnet, at metan i biogas erstatter fossilt metan i naturgas som dermed har en negativ emission på 48,35 kg CO2-ækv per ton biomasse (Olesen et al., 2020, tabel 7.1 M1a). Dertil skal der lægges emissioner af fossilt CO2 til proces, transport og lækage af metan på anlægget, hvilket udgør 9,4 kg CO2-ækv per tons biomasse, hvilket udgør 19% af den negative emission af biogas ved fortrængning af naturgas. Hvis man korrigerer den negative emission på 3,4 kg CO2-kv per kg metan ved fortrængning af naturgas med emissionerne fra proces, transport og lækager, så fås en negativ nettoemission på 2,8 kg CO2-ækv per kg metan i biogas ved anvendelse i naturgasnettet.

For svinegylle tilført biogasanlægget vil der således være en negativ emission på 0,24 kg CH4 per kg VS · 2,8 kg CO2-ækv. per kg VS tilført ved fortrængning af naturgas, hvilket giver 0,67 kg CO2-ækv per kg metan.

For kvæggylle tilført biogasanlægget vil der således være en emission på 0,17 kg CH4 per kg VS · 2,8 kg CO2-ækv. per kg CH4 tilført ved fortrængning af naturgas, hvilket giver 0,48 kg CO2-ækv per kg VS.

Emission af metan fra stalde, afhentningstanke, biogasanlæg og gylletanke nyttiggøres ikke som biogas og har en emission på 28 kg CO2-ækv per kg metan.

Emissioner fra lattergas udgør under 1% af den samlede emission af CO2-ækv. og indregnes derfor ikke.

Det antages at kulstoflagring af afgasset gylle i forhold til ikke-afgasset gylle vil være på samme niveau.

Tabel 13. Estimeret metanreduktion i stald, lager og totalt ved udslusning af gylle ved fuld kumme, ophold i afhentningstank i 2 dage og bioforgasning. For kvægstalde er medtaget gødning fra stalde med ringkanal eller bagskyl, fastdrænet gulv med skraber, spaltegulv med skraber og fast gulv med 2% hæld og skraber. For svinestalde er medtaget gødning fra stalde hvor rørudslusning kan benyttes. For referencestalde er bioforgasning ikke medregnet.

Dyretype		CH4 reduktion stald + fortank, %	CH4 reduktion lager, %	CH4 reduktion total, %	CH4 udbytte biogas, kg CH4 / ton gødning ab dyr	CH4 fortrængt, kg CO2 ækv. / ton gødning ab dyr	CH4 nettoreduktion, kg CO2 ækv. / ton gødning ab dyr
Svinegylle		-10	96	51	12	34	88
	Små grise	-10	96	51	11	31	82
	Søer	-8	96	46	11	31	82
	Slagtesvin	-12	96	54	13	35	92
Kvæggylle		-8	63	25	13	38	49

Samspil til andre virkemidler

Bioforgasning af husdyrgødning har et stort positivt samspil med hyppig udslusning og køling af gylle i stalde. Bioforgasning har negativt samspil med forsuring af gylle i stalden, da forsuring med svovlsyre hæmmer metanproduktionen både i stald, lagre og lagre. Den afgassede gylle kan ved lagring forsures for at reducere emission af ammoniak, hvilket også vil reducere metanemission ved den efterfølgende lagring. Den afgassede gylle kan også opbevares med i lagre med teltoverdækning og ventileret flydelag eller i lagre med teltoverdækning og opsamling af gas med afbrænding i fakkel.

Usikkerheder

Der er en lang række usikkerheder ved bioforgasning af husdyrgylle. Det er især metan-udbytter, indhold af tørstof og organisk stof i gødning, procesforhold, lækager på anlæg, samt anvendelse af biogas.

Reference:

Adamsen, A.P.S., Hafner, S.D. (2021). Emissionsfaktorer for ammoniak fra ALFAM2 for afgasset biomasse. Rådgivningsnotet fra DCA.

BioGrace (2015). BioGrace-1 Excel tool. Version 4d. https://www.biograce.net/content/ghgcalculationtools/recognisedtool/

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. 138 pages. Advisory report from DCA – Danish Centre for Food and Agriculture, Aarhus University, submitted: 23-09-2021

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

Olesen, J.E., Møller, H.B., Petersen, S.O., Sørensen, P., Nyord, T., Sommer, S.G. (2020). Bæredygtig biogas - klima og miljøeffekter af biogasproduktion. DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug,. DCA rapport Nr. 175 https://dcapub.au.dk/djfpublikation/index.asp?action=show&id=1454

Opsamling af gas i gyllelagre og afbrænding

Forfatter: Anders Peter Adamsen, Institut for Bio- og Kemiteknologi

Fagfællebedømmer: Lise Bonne Guldberg, Institut for Bio- og Kemiteknologi

Fakkelafbrænding (på engelsk flaring) er en velkendt teknik til håndtering af gasser fra indvinding af olie- og naturgas. Det anvendes også på lossepladser med lav gasproduktions. Endvidere har de fleste biogas-anlæg også fakler til afbrænding af gas ved driftsstop.

I en undersøgelse i staten New York blev der etableret overdækning, opsamling og direkte afbrænding (flaring) på 3 gårde med kvæg (Wightman & Woodbury, 2016). De tre gårde havde i gennemsnit 800 malkekøer og opbevaringskapacitet til 6 måneder. Langt størstedelen af metan bliver produceret i sommer og efteråret, hvor der også er den højeste andel af metan, og afbrænding derfor er muligt uden støtte-brændsel. Forfatterne beregnede at 80% af den opsamlede metan blev omsat, men aktuel omsætning og eventuelle dannelse af uønskede gasser, fx nitrogenoxider, er blev ikke undersøgt.

I GUDP-projektet LESS vil teknologien blive udviklet de kommende to år samt testet og dokumentet. Der kan være behov for yderligere at dokumentere teknologien på flere end den tank, der bliver opstillet i LESS-projektet. Det foreslås at lave test af 3 tanke med svinegylle og 3 tanke med kvæggylle over et år i 2024-25. Der er behov for at teste gyllelagre fra både kvæg og svin, da der er stor forskel på udbringningsmønstre (fx Birkmose, 2020).

Opsamling af gas fra tætte overdækkede gyllebeholdere vil kræve en ændring af det nuværende praksis for overdækkede gyllebeholdere, som skal sikre, at der ikke kan opbygges koncentrationer af metan over dets nedre eksplosionsgrænse, som er ca. 5 procent ved kontakt med atmosfærisk luft (Landbrugets Byg-geblad 103.04-29 af 02-06-2009). Det kan være. at der skal opstilles ATex-krav til pumper og andre kom-ponenter mellem gyllelagret og afbrændingsenhed.

Det forventes, at teknologien er færdigudviklet og dokumentet i LESS (GUDP) ved udgangen af 2024. En dokumentation på teknologilisteniveau af 4 – 6 gylletanke vil kunne ske i 2024 – 2025.

Anvendelse

Teknologien kan anvendes på forholdsvis tætte gyllelagre, dvs. gylletanke med overdækning og overdæk-kede gyllelaguner.

Relevans og potentiale

Teknologien er relevant for alle type landbrug med gylletanke eller overdækkede laguner. Det er klart mest relevant at opsamle den producerede gas og udnytte den til energiformål, men det vil i mange tilfælde ikke være logistisk muligt og heller ikke lønsomt. Ved at brænde metan (og formentlig også dele af ammo-niak og svovlbrinte) oxideres metan til CO2 med en langt mindre drivhusgasvirkning.

Der er store potentialer ved at opsamle og afbrænde gassen fra overdækkede gyllebeholdere og laguner. I et netop bevilliget GUDP-projekt Low Emission Slurry Storages (LESS) skal AU sammen med Landia og underleverandører videreudvikle og dokumentere teknologien de kommende år.

Effekt på drivhusgasudledning

Det forventes at mindst 80% af den producerede metan kan opsamles fra gyllelagre ved at tætne eksisterende teltoverdækninger. Det forventes at gennemsnitlig 80% af det opsamlede metan kan omsættes (oxideres) i en fakkel. Det giver en samlet effekt på 64%. Estimeret reduktion af metan er angivet i Tabel 14.

Tabel 14. Estimeret metanreduktion i stald, lager og totalt ved udslusning af gylle ved fuld kumme of afbrænding af metan i lager. For kvægstalde er medtaget gødning fra stalde med ringkanal eller bagskyl, fastdrænet gulv med skraber, spaltegulv med skraber og fast gulv med 2% hæld og skraber. For svinestalde er medtaget gødning fra stalde hvor rørudslusning kan benyttes.

Dyretype		CH4 reduktion stald, %	CH4 reduktion lager, %	CH4 reduktion total, %	CH4 nettoreduktion, kg CO2 ækv. / ton gødning ab dyr
Svinegylle		0	64	37	39
	Smågrise	0	64	37	37
	Søer	0	64	34	37
	Slagtesvin	0	64	39	41
Kvæggylle		0	64	30	14

Samspil til andre virkemidler

Positivt samspil med teknologier der hurtigt får flyttet organisk materiale, der er substrat for metan-dannelsen ud i lagre, dvs. hyppig udslusning, gyllekøling og staldforsuring.

Positivt samspil ved afgasset gylle, da fakkelafbrænding forventes at forbrænde ammoniak.

Usikkerheder

Fakkelafbrænding i lille skala er kendt for gamle lossepladser, hvor man ikke kan udnytte metan lønsomt. Disse systemer er forholdsvis dyre.

Der er usikkerhed forbundet med opsamling af gyllegas fra gyllelagre og omsætning af metan (og ammoniak) i gasfakler. Især under vinterhalvåret vil der kunne være problemer med at sikre en tilstrækkelig høj koncentration af metan til at faklen kan brænde effektivt (Wightman & Woodbury, 2016).

Der er risiko for at kvælstof omkring flammen og ammoniak i den tilførte gas kan danne kvælstofoxider. Faklen skal udvikles og dokumenteres i førnævnte LESS-projekt.

Referencer:

Birkmose, T. (2020). Aktivitetsdata for udbragt husgyrgødning, 2016-2020. SEGES. 6 sider.

Wightman, J. L., Woodbury, P.B. (2016). New York Dairy Manure Management Greenhouse Gas Emissions and Mitigation Costs (1992–2022). J. Environ. Qual., 45, 266-275. doi:10.2134/jeq2014.06.0269.

Overdækning af gylletanke med ventileret flydelag

Forfatter: Søren O. Petersen, Institut for Agroøkologi

Fagfællebedømmer: Lise Bonne Guldberg, Institut for Bio- og Kemiteknologi

Mere end 90 % af husdyrgødningen i Danmark håndteres som gylle, og det meste udbringes om foråret. Under opbevaringen kan den biologiske omsætning i gyllen føre til udledning af drivhusgasser, primært i form af metan. Hvor meget metan der udledes fra lagertanke vil afhænge af en række faktorer, bl.a. opholdstid i stalden og eventuel behandling før lagring.

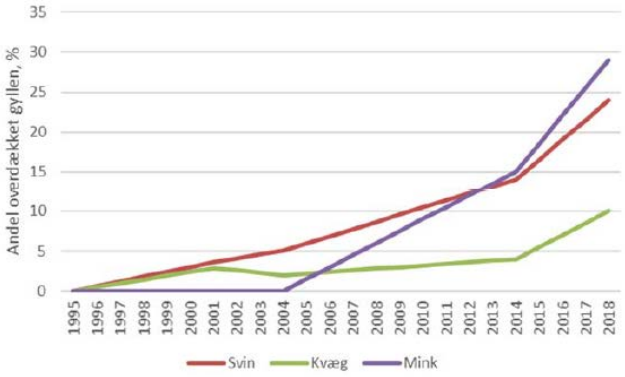
Flydelag kan indeholde metanoxiderende bakterier (Petersen et al., 2005), og da metan har en drivhuseffekt, som er 28 gange større end CO_2 (med 100 års tidshorisont), er metanoxidation i flydelag et potentielt klimavirkemiddel. Det internationale klimapanel, IPCC, har i de gældende guidelines (IPCC, 2006) forudsat, at et naturligt flydelag kan fjerne 40 % af den metan, som produceres i gyllen under lagring. En stor del af metanemissionen sker dog via sprækker i flydelaget og fortyndes hurtigt i atmosfæren, hvad der gør effektiviteten af den mikrobielle metanfjernelse usikker (Duan et al., 2017). En mere effektiv metanfjernelse kræver formentlig en kombination af flydelag og en overdækning, som forlænger opholdstiden for metan i luften over flydelaget og dermed sikrer en bedre forsyning med metan til de metanoxiderende bakterier (Petersen et al., 2013). En opdatering af guidelines (IPCC, 2019) angiver, at fast overdækning kan give en 25-50% metanfjernelse (variationsbredde 0-90%).

En variationsbredde på 0-90% er ikke et godt grundlag for at anvende metanoxidation som klimavirkemiddel, og variationen skyldes muligvis flydelagets egenskaber. Det er baggrunden for en dansk udviklingsindsats indenfor rammerne af klimaforskningsprojektet "Integreret reduktion af metanemission fra husdyrgødning" (INTERMET), som sigter mod at optimere betingelserne for metanoxidation gennem kontrolleret ventilation. Denne indsats bygger på overvejelser, som blev præsenteret i Olesen et al. (2018; afsnit 5.2). En prototype af en ny ventilationsteknologi er blevet afprøvet i pilotskala i 2021. Prototypen, udviklet med bistand fra ventilationsfirmaet SKOV A/S, har en selvregulerende ventilation, som styres med henblik på at optimere tilgængeligheden af metan og ilt for metanoxiderende bakterier. En detaljeret beskrivelse af teknologi og styringsprincipper forventes at blive offentliggjort i løbet af 2023.

Der er via Innovationsfonden (Innomission 3) givet en bevilling til afprøvning af kontrolleret ventilation på et fuldskala-gyllelager i 2023. I det nye projekt skal strategier til stabilisering af flydelaget under omrøring og tømning/fyldning også undersøges, idet udviklingen af flydelagets mikrobiologi er en langsom proces og potentielt kan begrænse omfanget af metanoxidation henover sommeren.

Anvendelse

Andelen af lagre med fast overdækning er i vækst (se Figur 4) og repræsenterede i 2018 omkring 10% af kvæggylle, og 25% af svinegylle Mikkelsen & Albrektsen, 2020). Hvordan en fast overdækning påvirker betingelserne for flydelagsdannelse er endnu dårligt belyst. Hvis det lykkes at dokumentere en væsentlig forbedring af metanfjernelse med kontrolleret ventilation af overdækkede gyllebeholdere, vil det formentlig være en omkostningseffektiv løsning for lagre med eksisterende teltoverdækning, selvom det skal understreges at der kan være behov for modifikation af teltoverdækningen for at begrænse et eksisterende passivt luftskifte.



Figur 4. Estimeret andel af gylle i gyllebeholdere med fast overdækning (gengivet efter Mikkelsen & Albrektsen, 2020).

Relevans og potentiale

Sammenlignet med vurderingen af dette virkemiddel i Olesen et al. (2018) er der sket en afklaring i form af et "proof-of-concept" for en teknisk løsning til dynamisk ventilationskontrol, og der er taget initiativ til afprøvning i fuld skala. Der savnes fortsat viden om forekomst af flydelag i lagre med fast overdækning, og udvikling af metoder til omrøring, import og eksport af gylle til lageret, som ikke destruerer flydelaget.

Tiltaget er ikke relevant for forsuret gylle og afgasset gylle, der er selvstændige virkemidler mod metanemission. Principielt kan virkemidlet anvendes på alle bedrifter med opbevaring af ubehandlet gylle, herunder økologiske brug, hvis teknologiens effektivitet kan dokumenteres under praktiske lagringsforhold. Teknologien forventes, i tilfælde af positiv afprøvning i fuld skala, at kunne kombineres med eksisterende

teltoverdækning, eller den kan implementeres sammen med teltoverdækning på lagre, hvor dette endnu ikke er etableret.

Effekt på drivhusgasudledning

Mængden af gylle, som opbevares i lagertanke, varierer i løbet af året, og afhænger af sædskifte. Tilsvarende vil gyllens temperatur variere med lufttemperaturen over døgnet og i løbet af året, ligesom der også vil være en temperaturgradient med afstanden til gyllens/flydelagets overflade. Tilsammen betyder disse forhold, at der er stor variation i potentialet for metanproduktion i gyllen, og dermed også i betingelserne for metanoxidation i flydelag. Overdækning med ventilationskontrol sigter mod at optimere betingelserne for metanoxidation i dette variable miljø. Pilotskala-forsøg i 2021 fandt, at ventilationskontrollen kunne tilpasse sig metanemissionens døgnvariation, såvel som sæsonvariation. Effektiviteten med hensyn til metanfjernelse voksede henover sommeren, muligvis som følge af stigende lagringstemperatur og metanproduktion, og vækst i antallet af aktive metanoxiderende bakterier.

Måleresultater vedrørende metanreduktion med dynamisk ventilationskontrol er endnu ikke tilgængelige. I en tidligere vurdering af effekten af overdækning af gyllelagre med flydelag blev potentialet angivet til en 40% reduktion (Petersen & Hutchings, 2020); resultaterne med den nye teknologi er konsistente med denne vurdering, og med vurderingen af 25-50% metanreduktion med overdækning fra IPCC (IPCC, 2019).

Reference-situationen i forhold til ammoniakemission er gyllelager med teltoverdækning, og her forventes ingen ændring i emissionen (Olesen et al., 2018). Reference-situationen i forhold til lattergasemission er gyllelager med veludviklet flydelag. Der forventes ingen ændring i potentialet for lattergasemission (IPCC, 2019).

Tabel 15. Estimeret metanreduktion i stald, lager og totalt ved udslusning af gylle ved fuld kumme og overdækning med ventileret flydelag i lager. For kvægstalde er medtaget gødning fra stalde med ringkanal eller bagskyl, fastdrænet gulv med skraber, spaltegulv med skraber og fast gulv med 2% hæld og skraber. For svinestalde er medtaget gødning fra stalde hvor rørudslusning kan benyttes.

Dyretype		CH4 reduktion stald, %	CH4 reduktion lager, %	CH4 reduktion total, %	CH4 nettoreduktion, kg CO2 cækv. / ton gødning ab dyr
Svinegylle		0	40	23	25
	Smågrise	0	40	23	23
	Søer	0	40	21	23
	Slagtesvin	0	40	24	26
Kvæggylle		0	40	19	9

Samspil til andre virkemidler

Overdækning med kontrolleret ventilation er komplementær til andre virkemidler, herunder forsuring i lagertanken (afsnit 6.4) og biogasbehandling før lagring (afsnit 6.5).

Usikkerheder

Der er endnu ikke erfaringer med tætning af eksisterende teltoverdækning med henblik på at kontrollere ventilationen. Ligeledes er der behov for praktiske erfaringer med omrøring, tømning og påfyldning af gylle uden, eller med en begrænset, destruktion af flydelaget. Årsagen hertil er, at flydelagets mikrobiologi udvikler sig langsomt, og metanoxiderende bakterier kræver et delvist udtørret og kvælstoffattigt miljø (Duan et al., 2012; 2017).

Referencer:

Duan, Y.-F., Elsgaard, L., Petersen, S.O. (2012). Inhibition of methane oxidation in slurry surface crust by inorganic nitrogen. J. Environ. Qual. 42, 507-515.

Duan, Y.-F., Reinsch, S., Ambus, P., Elsgaard, L., Petersen, S.O. (2017). Methanotrophic activity in slurry surface crusts as influenced by CH4, O2, and inorganic N. Journal of Environmental Quality 46, 767–775.

IPCC (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Agriculture, Forestry and Other Land Use, vol 4. Intergovernmental Panel on Climate Change, IGES, Hayama, Kanagawa, Japan.

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.

Mikkelsen, M.H.,Albrektsen, R. (2020). Forbedring af datagrundlaget for opgørelse af ammoniakemissionen fra landbruget. Notat af 29. januar 2020. DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. 26 pp.

Olesen, J.E., Petersen, S.O., Lund, P., Jørgensen, U., Kristensen, T., Elsgaard, L., Sørensen, P., Lassen, J. (2018). Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget. DCA rapport, nr. 130, bind 130, DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug,

Petersen, S.O., Amon, B., Gattinger, A. (2005). Methane oxidation in slurry storage surface crusts. J. Environ. Qual. 34: 455-461.

Petersen, S.O., Dorno, N., Lindholst, S., Feilberg, A., Eriksen, J. (2013). Emissions of CH4, N2O, NH3 and odorants from pig slurry during winter and summer storage. Nutr. Cycl. Agroecosys. 95:103-113.

Petersen, S.O., Hutchings, N. (2020). 'Opdatering af klimaeffekter for virkemidler i landbruget bl.a. som følge af nyt kvælstofvirkemiddelkatalog - med tilføjelse', Nr. 2020-0089474, 23 s., aug. 18, 2020.

Afbrænding af husdyrgødning (fiberfraktion efter separering)

Forfatter(e): Peter Sørensen og Nicholas J. Hutchings, Institut for Agroøkologi

Fagfællebedømmer: Henrik B. Møller, Institut for Bio- og Kemiteknologi

En betydelig del af dette afsnit er kopieret fra "Virkemidler til reduktion af kvælstofudvaskningen" (Eriksen et al., 2020, side 256-269) suppleret med nye informationer. Udnyttelseskravene for husdyrgødning er ændret fra 2020-21 og har betydning for effekten på drivhusgasser, og de nye udnyttelseskrav er anvendt her.

Anvendelse

Dette virkemiddel er defineret som afbrænding af fiberfraktion fra separering af biogasgødning eller af fast fjerkrægødning. Afbrænding af husdyrgødning giver muligheder for at reducere kvælstofudvaskningen og fosforoverskuddet i husdyrintensive områder. Det er alene fast husdyrgødning, herunder fiberfraktion efter separering af gylle, der kan komme på tale til afbrænding. Ved afbrænding tabes størstedelen af gødningens kvælstof til luften, til gengæld giver det mulighed for en energiproduktion. Størstedelen af kvælstoftabet sker som uskadelig frit kvælstof (N_2), der i forvejen udgør den største del af atmosfærens indhold af gasmolekyler. Under afbrændingen sker der dog også en emission af NO_x forbindelser og en betydelig del af svovlindholdet tabes som SO_2. Samtidigt vil en del af det tabte kvælstof blive erstattet med kunstgødning, hvortil der er knyttet en emission af drivhusgasser ved produktion af gødningen.

Den langsigtede kvælstofudvaskning fra organisk bundet kvælstof i husdyrgødning er større end ved tilførsel af mineralsk kvælstof (Sørensen & Børgesen, 2015), og ved at fjerne det organiske kvælstof kan udvaskningen derved reduceres. En reduktion af nitratudvaskningen har en indirekte effekt på emissionen af lattergas. Med dette virkemiddel afbrændes fast husdyrgødning, der hovedsageligt indeholder organisk bundet kvælstof, og i stedet anvendes mineralsk kvælstof i handelsgødning.

I fremtiden forventes pyrolyse eller termisk forgasning, og dermed produktion af biokul/biochar, at blive mere udbredt end afbrænding af husdyrgødning. Derved kan opnås en binding af stabilt kulstof i jorden. Ved pyrolyse/forgasning fås de samme effekter som ved afbrænding, men samtidigt en øget kulstofbinding i jorden og et lavere energiudbytte. I det følgende behandles kun afbrænding.

Relevans og potentiale

Afbrænding af husdyrgødning kræver godkendte anlæg til forbrændingen. Det vurderes, at det med de nuværende krav til kontrol med emissioner ved afbrænding kun vil være realistisk at gennemføre afbrænding i større centrale anlæg. Det kræver omfattende investeringer at etablere sådanne anlæg, men i bl.a. Holland og England findes anlæg til afbrænding af fast fjerkrægødning. Der har tidligere været planer om etablering af forbrændingsanlæg i forbindelse med større biogasanlæg i Danmark, og der er i perioder sket afbrænding på større anlæg i Danmark. Fjerkrægødning er mest velegnet til afbrænding pga. et højt tørstofindhold.

De beregnede effekter på nitratudvaskning er bl.a. afhængige af, hvor stor en kvælstof-andel der fjernes med fiberfraktionen og af de gældende udnyttelseskrav til husdyrgødningen. Der er regnet med de nye udnyttelseskrav på 80% for svinegylle, 75% for kvæggylle og 70% for fast fjerkrægødning, gældende fra gødningsåret 2020-21. Ved beregning af effekten af afbrænding af fiberfraktion er der regnet med det gældende udnyttelseskrav for den resterende væskefraktion på 85 %.

I princippet kan stort set al fast husdyrgødning afbrændes, herunder fibre efter gylleseparation. I praksis anvendes det stort set ikke, da økonomien ikke er rentabel i forhold til alternative muligheder. Med de nuværende rammevilkår forventes afbrænding af husdyrgødning ikke at blive udbredt.

Den nuværende lovgivning på området favoriserer afbrænding af fiberfraktionen efter bioforgasning, idet der skal betales affaldsafgift ved afbrænding af ikke-forgassede fibre.

I Tabel 16 er vist de forudsætninger, der er brugt ved beregningen af effekten ved forbrænding af fiberfraktioner, der er baseret på ekspertvurderinger lavet af Henrik B. Møller og Peter Sørensen, Aarhus Universitet. Forudsætningerne for beregning af nitratudvaskning fra mineralsk N og organisk N i fiberfraktion er beskrevet i Eriksen et al (2020).

Tabel 16. Forudsætninger brugt ved beregning af udvaskningseffekt af separering af bio-afgasset svine- og kvæggylle og afbrænding af fiberfraktion, beregnet som % af total N i den ubehandlede gylle med en 3-årig horisont. Forudsætningerne er baseret på ekspertvurderinger (Henrik B. Møller og Peter Sørensen, Aarhus Universitet).

	Svinegylle afgasset	Kvæggylle afgasset
Total kvælstof i fiberfraktion	16,3	25
Organisk kvælstof i fiberfraktion	7,5	18
Ammonium-N i fiber	8,75	7
Udvaskning fra fiberfraktion	3,8	6,5
Udnyttelseskrav af væskefraktion (85 % af væskefraktion)	71,2	63,7
Udnyttelseskrav før separation	80	75
Øget forbrug af handelsgødning ved afbrænding	8,8	11,3
Øget udvaskning fra handelsgødning	1,6	2,0
Nettoudvaskning fra fiberfraktion [1)]	2,2	4,5

[1)] Beregnet som differens mellem udvaskning fra fiberfraktion – udvaskning fra substituerende handelsgødning.

Effekten af afbrænding af fiberfraktion på udvaskningen, der opnås inden for en 3-årig tidshorisont, er beregnet til 2,2 % af total N i ubehandlet gødning for afgasset svinegylle og 4,5 % af total N for afgasset kvæggylle. Der vil være en større effekt på længere sigt.

I Tabel 17 er vist forudsætninger anvendt for beregning af effekter på N udvaskning af afbrænding af fast fjerkrægødning og fjerkrædybstrøelse. Beregningen af nitratudvaskning er nærmere beskrevet i Eriksen et al. 2020. Det antages at der ved afbrænding af 100 kg N i fjerkrægødning erstattes med 70 kg N i handelsgødning, svarende til udnyttelseskravet.

Tabel 17. Forudsætninger og beregning af effekt af afbrænding af fjerkrædybstrøelse på kvælstofudvaskning på 3-årig horisont sammenlignet med tilsvarende tilførsel af handelsgødning (ved 70 % udnyttelseskrav) angivet som % af total N i ubehandlet husdyrgødning. Forudsætninger er baseret på ekspertvurdering (Peter Sørensen, Aarhus Universitet). Det antages at 100 kg N i afbrændt fjerkrægødning erstattes med 70 kg N i handelsgødning.

	Dybstrøelse	Handelsgødning
Mineralsk N + N mineraliseret i 1. vækstsæson, (18 % udvaskes)	60	70
Organisk kvælstof, 29 % udvaskes	30	0
Ammoniaktab	10	0
Total N i gødning	100	70
Nitrat udvaskning	19,5	12,6
Ekstra udvaskning fra dybstrøelse	6,9	

Afbrænding af fjerkrædybstrøelse forventes at reducere kvælstofudvaskningen med 6,9 kg N/100 kg total N i gødningen inden for en 3-årig horisont (Tabel 17).

I Tabel 18 findes beregninger af de potentielle effekter på kvælstofudvaskning ved afbrænding af fiberfraktion, hvis hele produktionen af svine- og kvæggylle separeres og afbrændes efter bioforgasning, og tilsvarende hvis al den producerede fjerkrædybstrøelse afbrændes.

Gylle fra kvæg og svin indberettes i gødningsregnskaber både som blandet gylle, kvæggylle, svinegylle og afgasset biomasse. Fordelingen mellem svinegylle og kvæggylle i Tabel 18 er estimeret ud fra fordelingen mellem kvæggødning og svinegødning i gødningsindberetninger og den samlede mængde kvælstof i gylle.

Tabel 18. Årlig produktion af kvælstof i gylle og fast fjerkrægødning/fjerkrædybstrøelse i 2016-17 og potentielle effekter på kvælstofudvaskningen over en 3-årig tidshorisont hvis hele produktionen af gylle afgasses, separeres og fiberfraktion afbrændes og al fast fjerkrægødning afbrændes. Mængden af fjerkrædybstrøelse er estimeret med antagelse om, at fjerkrægødning, der ikke er indberettet som fjerkrægylle i gødningsregnskaber, findes som fast fjerkrægødning/dybstrøelse (AU udtræk fra gødningsregnskaber, 2019).

Gødningstype	Mængde (tons N/år) [1]	Reduktion i N udvaskning ved afbrænding (% af total N) [2]	Samlet reduktion i N udvaskning ved behandling af al gødning (tons N/år)
Svinegylle	75.000	2,2	1.650
Kvæggylle	99.000	4,5	4.455
Fast fjerkrægødning/fjerkrædybstrøelse	7.800	6,9	540

1. Kvælstof i ubehandlet gylle og dybstrøelse
2. Relateret til kvælstof i ubehandlet gylle

Effekt på drivhusgasudledning

Ud over en reduktion i kvælstofudvaskning, vil afbrænding af fiberfraktion reducere kvælstof og kulstoftilførsel til jorden og reducere ammoniakemission, men øge kvælstofinput i handelsgødning (Tabel 19) og emission af NOx. Reduktionen i kulstofinput beregnes her på baggrund af C:N forholdet i den pågældende husdyrgødning. I Tabel 16 er antaget, at organisk kvælstof i fiberfraktionen fra kvæg- og svinegylle udgør henholdsvis 76 % og 46 % af total kvælstof. Kulstofindholdet i fiberfraktionen beregnes fra et estimeret C/N forhold på 11 for både svine- og kvæggylle, baseret på analyser af afgasset fiberfraktion fra dekantercentrifuge med forskellig oprindelse (Møller et al. 2002; Petersen & Sørensen, 2009). For fast fjerkrægødning/fjerkrædybstrøelse er et C:N forhold på 7,4 (Kristensen, 2006) benyttet i beregningerne. Reduktionen i ammoniakemission beregnes på baggrund af en separeringsprocent for kvælstof på 20 % (andel af gyllekvælstof som bliver i den faste fraktion) (Møller et al., 2002) og en ammoniakemissionsfaktor for udbragt husdyrgødning på 9,1 %, som er faktoren brugt i afrapportering under UNFCCC (DCE, 2020). Det antages, at en afbrænding af fiberfraktion ikke giver anledning til en ændring i ammoniak- og lattergasemission fra lager. I praksis, er et fald i ammoniak- og lattergasemission muligt, hvis fiberfraktionen bliver afbrændt umiddelbart efter separation eller/og de separerede produkter bliver opbevaret uden ilttilgang. Alternativt, er højere emissioner fra lager muligt, hvis opbevaringen foregår under forhold med høj lufttilgang.

Tabel 19. Oversigt over ændringer i N tilførsler og N-udvaskning ved afbrænding af afgasset fiber fra gylle og afbrænding af fast fjerkrægødning. Data delvis fra Tabel 18.

	Gødningstype		
	Svinegylle	Kvæggylle	Fjerkrædybstrøelse
	(% af total N i ubehandlet gødning)		
N input i handelsgødning	8,8	11,3	70
N input i husdyrgødning	-16	-25	-100
N-udvaskning	-2,2	-4,5	-6,9

Beregningsgrundlaget er:

Ændring i direkte lattergasemission = (ændring i husdyrgødning kvælstofinput - øget handelsgødning kvælstofinput) * direkte lattergasemissionsfaktor (N_2O-N)

Ændring i indirekte lattergasemission = (ændring i NH_3 emission fra husdyrgødning - ændring i NH_3 emission fra handelsgødning) * direkte lattergasemissionsfaktor (N_2O-N) + reduktion i kvælstofudvaskning * lattergasemissionsfaktor (N_2O-N) for udvaskning

En oversigt over ændringer i kvælstof- og kulstofinput og emissioner er vist i Tabel 20. Ændringen i kulstoflagring i jorden er beregnet med en antaget andel langtidslagring (20 år) af tilført kulstof til jorden på 12 % (Thomsen et al., 2013; Maillard & Angers, 2014). Bemærk at dette er væsentlig lavere end antaget tidligere af Eriksen et al. (2014). En oversigt over emissioner i CO_2-ækvivalenter er vist i Tabel 21.

Tabel 20. Antagne ændringer i kvælstof- og kulstofinput og emissioner ved afbrænding af fiberfraktion af al svine- og kvæggylle i Danmark (efter afgasning), samt afbrænding af al fast fjerkrægødning. Der er her antaget en fuldstændig forbrænding og ikke produktion af biochar ved termisk forgasning. Der er ikke taget højde for øget behov for transport i forbindelse med afbrænding.

Gødningstype	Ændring i husdyrgødning kvælstofinput	Øget handelsgødning kvælstofinput	Ændring i NH3 emission fra husdyrgødning	Ændring i NH3 emission fra handelsgødning	Kulstof afbrændt	Ændring i kulstoflagring i jorden
	(tons N/år)				(tons C/år)	

Svinegylle	-12.000	6.600	-1.092	264	132.000	-15.840
Kvæggylle	-24.750	11.187	-2.252	447	272.250	-32.670
Fast fjerkrægødning/ fjerkrædybstrøelse	-7.800	5.460	-780	218	57.720	-6.926
Total	-44.550	23.247	-4.124	930	461.970	-55.436

Tabel 21. Drivhusgas opgørelse ved afbrænding af fiberfraktion af al svine- og kvæggylle i Danmark (efter afgasning), samt afbrænding af al fast fjerkrægødning.

Gødningstype	Reduktion i indirekte N2O fra N- udvaskning	Reduktion i direkte N2O emission	Reduktion i indirekte N2O fra NH3 emission	Effekt af ændret kulstoflagring jorden	Total reduktion
	(t CO2 ækv/år)				
Svinegylle	3.554	25.287	3.877	-58.080	-25.361
Kvæggylle	9.597	63.514	8.451	-119.790	-38.228
Fast fjerkrægødning/ fjerkrædybstrøelse	1.159	10.958	2.630	-25.397	-10.650
Total	14.310	99.759	14.959	-203.267	-74.239

Energiproduktionen, der kan erstatte fossile energikilder, er beregnet som fiberens effektive brændværdi, fratrukket energiforbruget til separering (Eriksen et al., 2014). Energiforbruget til separering beregnes på baggrund af mængden af behandlet gylle og energiforbruget pr. tons behandlet gylle. Mængden af behandlet gylle er beregnet fra den total-N koncentration i svinegylle og kvæggylle, som er antaget til at være henholdsvis cirka 4,2 og 3,63 kg N/tons (Kristensen, 2009). Energiforbruget til separation er i FarmTests med repræsentative teknologier (Pedersen, 2009; Frandsen, 2010) målt til 1,3 kWh/ton for svinegylle og 2,0 kWh

ton^{-1} for kvæggylle, svarende til 4,7 og 7,2 MJ/ton behandlet. Der er taget udgangspunkt i separering med dekantercentrifuge.

Den effektive brændværdi (nettobrændværdi) er sat til 8,8 MJ/kg tørstof baseret på målinger af brændværdien ved samforbrænding af fugtig afgasset fiberfraktion sammen med halm (Kristensen et al., 2009). I forsøgene er anvendt en fiberfraktion med 30-35% tørstof. Omregningen fra kulstof til tørstof er baseret på værdien 37,4 % C i tørstof målt for afgasset dekanter-centrifugeret fiber (Petersen & Sørensen, 2008). Det betyder en nettobrændværdi på 23,5 GJ/ton C. Det er usikkert hvad det betyder for drivhusgas balancen hvis fiberfraktion tørres før afbrænding. Der er ikke fundet målinger af effektiv brændværdi af fjerkrægødning og der er anvendt samme effektive brændværdi på 23,5 GJ/tons C, som for afgasset fiber. Mængden af kulstof afbrændt er estimeret i Tabel 20. I Tabel 22 er produktionen af nettoenergi beregnet og værdien af at substituere naturgas sat til 57 kg CO_2-ækv./GJ (Iversen et al., 2005).

Tabel 22. Opgørelse af energiproduktion ved afbrænding af fiberfraktion af al svine- og kvæggylle i Danmark (efter afgasning), samt afbrænding af al fast fjerkrægødning.

Gødningstype	Friskvægt, før separarering	Energi til separering	Nettoenergiproduktion ved afbrænding	Nettoenergi *)	
	(tons/år)	(GJ/år)	(GJ/år)	(GJ/år)	(t CO_2-ækv./år)
Svinegylle	17.857.143	83.929	3.103.720	3.019.791	172.128
Kvæggylle	27.272.727	196.364	6.401.422	6.205.058	353.688
Fast fjerkrægødning/ fjerkrædybstrøelse	296.578	0	1.357.172	1.357.172	77.359
Total	45.426.448	280.292	10.862.314	10.582.021	603.175

*) Nettoenergi = nettoenergi ved afbrænding – energi til separering

I Tabel 23 er drivhusgaseffekten opgjort pr. tons kvælstof i behandlet gødning. For alle tre gødningstyper ses samlet set en reduktion i drivhusgasemissionen. Reduktionen pr. tons behandlet kvælstof (kvælstofmængde i gylle til biogasanlæg) er opgjort til 2,0 tons CO2-ækv. for svinegylle, 4,2 tons CO2-ækv. for kvæggylle og 0,9 tons CO2-ækv. for fjerkrægødning. Nettoeffekten i marken er svagt positiv (øget CO_2) eller tæt på neutral, når der tages hensyn til reduceret kulstofbinding i jord. Effekten per tons behandlet gødning kan omregnes fra Tabel 23 ved at antage 4,2 kg N/ton i svinegylle, 3,63 kg N/ton i kvæggylle og 26,3 kg N/ton i fast fjerkrægødning.

I Tabel 23 er ikke indregnet effekt af emission fra produktionen af den øgede mængde handelsgødning der forventes brugt ved afbrænding, idet denne emission ikke sker i Danmark. Ved en emissionsfaktor ved produktion af N gødning på 5,6 kg CO_2 kg^{-1} N (Chojnacka et al., 2019) fås per tons N i behandlet gødning en øget emission ved produktion af handelsgødning på (88 kg N/tons N * 5,6 kg CO_2 kg^{-1} N) = 0,5 tons CO_2-ækv./tons behandlet N for svinegylle, (113 kg N/tons N * 5,6 kg CO_2 kg^{-1} N) = 0,6 tons CO_2-ækv./tons behandlet N for kvæggylle og (700 kg N/tons N * 5,6 kg CO_2 kg^{-1} N) = 3,9 tons CO_2-ækv./tons behandlet N for fjerkrægødning. Det betyder således for fjerkrægødning at en lille reduktion i drivhusgasudledningen ændres til en øget emission hvis emissionen fra produceret handelsgødning inkluderes. For kvæg- og svinegylle beregnes stadigt en lille reduktion i emissionen.

Tabel 23. Drivhusgaseffekter ved afbrænding af fiberfraktion af svine- og kvæggylle (efter afgasning), samt afbrænding af fast fjerkrægødning opgjort per tons N i ubehandlet gødning (N i gylle før separering). Negative tal indikerer reduceret drivhusgas emission. Energiproduktionen antages at substituere fossil energi. Effekten af øget produktion af handelsgødning ved afbrænding er ikke inkluderet.

Gødningstype	Indirekte N_2O fra N udvaskning	Direkte N_2O emission	Indirekte N_2O fra NH_3 emission	Ændring i kulstoflagring i jorden	Samlet markeffekt	Energiproduktion	Samlet effekt
	(tons CO_2-ækv./tons behandlet N)						
Svinegylle	-0,05	-0,34	-0,05	0,77	0,34	-2,3	-2,0
Kvæggylle	-0,13	-0,85	-0,11	1,60	0,51	-4,7	-4,2
Fast fjerkrægødning/ fjerkrædybstrøelse	-0,02	-0,15	-0,04	0,34	0,14	-1,0	-0,9

Samspil til andre virkemidler

Virkemidlet spiller blandt andet sammen med efterafgrøder, idet effekten af afbrænding bl.a. skyldes en reduktion i mineraliseret N om efteråret, der i højere grad er udsat for udvaskning. Ved etablering af efterafgrøder reduceres især udvaskning fra N mineraliseret om efteråret og dermed vil der være et samspil. Endvidere vil der være et samspil til virkemiddel med ændrede udnyttelseskrav for husdyrgødning.

Usikkerheder

Effekten af afbrænding beregnes som en sum af en række både positive og negative effekter. Det betyder at den relative usikkerhed er stor, idet der er betydelig usikkerhed på de enkelte komponenter. Den samlede usikkerhed vurderes til højere end +/- 100 % af de estimerede værdier.

Vidensbehov

Der er bl.a. behov for bedre viden omkring netto-energiproduktion ved afbrænding af forskellige typer husdyrgødning under praktiske forhold. Energiproduktionen har betydelig indflydelse på den beregnede drivhusgaseffekt.

Referencer:

Chojnacka, K., Kowalski, Z., Kulczycka, J., Dmytryk, A., Górecki, H., Ligas, B., Gramza, M. (2019). Carbon footprint of fertilizer technologies. Environmental Management 231, 962-967.

DCE (2020). National Inventory Submissions 2020; Denmark. https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2020

Eriksen J. et al (2014). Virkemidler til realisering af 2. generations vandplaner og målrettet arealregulering. DCA Rapport nr 52.

Eriksen, J., Thomsen, I.K., Hoffmann, C.C., Hasler, B., Jacobsen, B.H., Baattrup-Pedersen, A., Strandberg, B., Christensen, B.T., Boelt, B., Iversen, B.V., Kronvang, B., Børgesen, C. D., Abalos Rodriguez, D., Zak, D.H., Hansen, E.M., Blicher-Mathiesen, G., Rubæk, G.H., Ørum, J.E., Rasmussen, J., ... Jørgensen, U. (2020). Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet - DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. DCA rapport Nr. 174 https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport174.pdf

Frandsen, T.Q. (2010). Separering af svinegylle med SepKon SK-4. Videncentret for Landbrug. Farm-Test nr. 45 (Bygninger), 17 pp.

Iversen, P.A. et al. (2005). Rapport fra arbejdsgruppen om afbrænding af fraktioner af husdyrgødning. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, 125 pp.

Kristensen, E.F., Kristensen, J.K., Sørensen, P., Hansen, M.N. (2009). Forbrænding af separeret husdyrgødning i mindre fyringsanlæg. Grøn Viden DJF Husdyrbrug nr. 50. 8pp.

Kristensen, I.S. (2006). Næringsstofindhold i 650 husdyrgødningsprøver fra Landsforsøgene. Ikke-publiseret data analyse. Danmarks Jordbrugsforskning. Okt. 2006.

Maillard, E., Angers, D.A., (2014). Animal manure application and soil organic carbon stocks: a meta-analysis. Glob Chang Biol 20, 666-679.

Møller, H.B., Sommer, S.G., Ahring, B.K. (2002). Separation efficiency and particle size distribution in relation to manure type and storage conditions. Bioresource Technology 85, 189-196.

Pedersen, T.R. (2009). Separering af kvæggylle med Kemira 812P. FarmTest nr. 40 (Bygninger), 24 pp.

Petersen, J., Sørensen, P. (2008). Loss of nitrogen and carbon during storage of the fibrous fraction of separated pig slurry and influence on nitrogen availability. Journal of Agricultural Science 146, 403-413.

Sørensen, P., Børgesen, C.D. (2015). Kvælstofudvaskning og gødningsvirkning ved anvendelse af afgasset biomasse. DCA rapport nr 65. 46 s.

Thomsen, I.K., Olesen, J.E., Moller, H.B., Sorensen, P., Christensen, B.T. (2013). Carbon dynamics and retention in soil after anaerobic digestion of dairy cattle feed and faeces. Soil Biology & Biochemistry 58, 82-87.

Hyppig udslusning af gylle fra stalde og bioforgasning

Forfattere: Frederik Rask Dalby og Anders Peter Adamsen, Institut for Bio- og Kemiteknologi

Bioforgasning er oplagt at kombinere med hyppig udslusning da hyppigt udsluset gylle indeholder en højere mængde omsætteligt organisk materiale (VSd), som omsættes i biogasanlægget og øger metanudbyttet. Feng et al. (2022) undersøgte effekten af hyppigt udsluset svinegylle på metanudledning umiddelbart efter udslusning og fandt et langt mindre metantab fra hyppigt udsluset gylle. Dette kan skyldes at inokulum ikke når at tilpasse sig i gyllen og dermed ikke udleder metan umiddelbart efter udslusning. Den mindre metanudledning er relevant da gylle, som skal til et biogasanlæg ofte vil blive opbevaret i en fortank før det kan blive afhentet til et biogasanlæg. Det er derfor vigtigt at logistikken er nøje planlagt mellem gård og biogasanlæg, da det organiske materiale ellers delvist nedbrydes i fortanken, før det udnyttes i biogasanlægget.

Anvendelse

Der henvises til afsnit 6.5 om bioforgasning med standard udslusning af svine-og kvæggylle

Relevans og potentiale

Kombinationen af hyppig udslusning og bioforgasning er yderst relevant og strategisk smart i forhold til at øge energiudbyttet fra gylle. Dette kræver dog udbygning af biogassektoren, samt stiller højere krav til logistiskken end bioforgasning af standard udsluset gylle. Der henvises til afsnit 6.1 og 6.5 for mere information om hyppig udslusning og bioforgasning som separater klimavirkemidler.

Effekt på drivhusgasudledning

Da en mindre del af det let omsættelige organiske materiale bliver omsat i stalde med hyppig udslusning vil den relative andel af organisk materiale som omsættes i biogasanlægget højst sandsynligt stige. Omsætning af organisk materiale i biogasanlægget reducerer mængden af organisk materiale, som er tilgængeligt for metanogener (mikroorganismer som danner metan) ude i efterlageret til biogasanlægget. Adamsen et al. (2021) modellerede effekten af bioforgasning af svinegylle. Det samme princip benyttes i nærværende sektion for både svine- og kvæggylle. Det antages at gyllen i gennemsnit opbevares i en fortank i 2 dage, før det afhentes til biogasanlægget. Omsætningen af VS_{tot} i biogasanlægget omregnes fra den specifikke metanproduktion i fuldskala biogas reaktorer (Møller et al., 2022) og sættes til 73% for svinegylle og 52% for kvæggylle. Fortrængning af naturgasmetan med biogasmetan regnes som tidligere beskrevet (6.5). Samlet reduktionseffekt er angivet i Tabel 24.

Tabel 24. Estimeret metanreduktion i stald, lager og totalt ved hyppig udslusning af gylle i stalden og bioforgasning før lageret. Gylle opbevares 2 dage i fortanke før bioforgasning. For kvægstalde er medtaget gødning fra stalde med ringkanal eller bagskyl. For svinestalde er medtaget gødning fra stalde hvor hyppig udslusning kan praktiseres (Tabel 1).

Dyretype		CH4 reduktion stald + fortank, %	CH4 reduktion lager, %	CH4 reduktion total, %	CH4 udbytte biogas, kg CH4 / ton gødning ab dyr	CH4 fortrængt, kg CO2 ækv. / ton gødning ab dyr	CH4 nettoreduktion, kg CO2 ækv. / ton gødning ab dyr
Svinegylle		45	95	75	14	38	116
	Smågrise	42	95	75	13	36	107
	Søer	51	95	74	13	37	118
	Slagtesvin	43	95	75	14	39	118
Kvæggylle[a]		86	58	77	14	40	89

[a] De opnåede reduktionseffekter som følge af hyppig udslusning fra stalden kræver ombygning af stalden

Samspil til andre virkemidler

Lagervirkemidler vil have en yderligere men dog begrænset effekt på den afgassede gylle. Den begrænsede effekt af yderligere lagervirkemidler skyldes at det meste af det omsættelige organiske materiale allerede er omsat i biogasanlægget. Dermed er potentialet for metanudledning i forvejen lavt fra den afgassede gylle.

Usikkerheder

Der er ikke yderligere usikkerheder at berette om i forhold til de usikkerheder som allerede er beskrevet i afsnit omkring hyppig udslusning og bioforgasning.

Hyppig udslusning af gylle fra stalde og overdækning af gylletanke med ventileret flydelag

Forfattere: Frederik Rask Dalby og Anders Peter Adamsen, Institut for Bio- og Kemiteknologi

Dette er en kombinationsteknologi, hvor hyppig udslusning fra stalde kombineres med overdækning og gylletanke med ventileret flydelag. Hyppig udslusning formindsker emission af metan fra stalden, men udleder mere organisk materiale til gylletanke, hvor det også kan omsættes til metan, men dog med en lavere produktionsrate på grund af en lavere temperatur i gylle. Overdækning af gylletanke med ventileret flydelag reducerer metan dannet i gylletanke.

Anvendelse

Kan anvendes på alle stalde med mulighed for hyppig udslusning og med overdækkede gylletanke.

Relevans og potentiale

Teknologikombinationen er relevant for alle stalde hvor hyppig udslusning kan praktiseres (Tabel 1). Se afsnit 6.1 og 6.7 for mere information om de to virkemidler.

Effekt på drivhusgasudledning

Reference er stalde uden hyppig udslusning og uden gylletanke med overdækning og ventileret flydelag. Reduktionseffekter er angivet i Tabel 25.

Tabel 25. Estimeret metanreduktion i stald, lager og totalt ved hyppig udslusning af gylle i stalden og overdækning med ventileret flydelag i lageret. For kvægstalde er medtaget gødning fra stalde med ringkanal eller bagskyl. For svinestalde er medtaget gødning fra stalde hvor hyppig udslusning kan praktiseres (Tabel 1).

Dyretype		CH4 reduktion stald, %	CH4 reduktion lager, %	CH4 reduktion total, %	CH4 nettoreduktion, kg CO2 cækv. / ton gødning ab dyr
Svinegylle		58	32	43	45
	Smågrise	56	33	42	40
	Søer	61	29	44	48
	Slagtesvin	56	33	42	44
Kvæggylle[a]		91	32	72	46

[a] De opnåede reduktionseffekter som følge af hyppig udslusning fra stalden kræver ombygning af stalden

Samspil til andre virkemidler

Overdækning med kontrolleret ventilation er komplementær til andre virkemidler, herunder lav-dosis forsuring i lagertanken (afsnit 6.4) og biogasbehandling før lagring (afsnit 6.5).

Usikkerheder

Der er endnu ikke erfaringer med tætning af eksisterende teltoverdækning med henblik på at kontrollere ventilationen. Ligeledes er der behov for praktiske erfaringer med omrøring, tømning og påfyldning af gylle uden, eller med en begrænset, destruktion af flydelaget. Årsagen hertil er, at flydelagets mikrobiologi udvikler sig langsomt, og metanoxiderende bakterier kræver et delvist udtørret og kvælstoffattigt miljø (Duan et al., 2012; 2017).

Referencer:

Duan, Y.-F., Elsgaard, L., Petersen, S.O. (2012). Inhibition of methane oxidation in slurry surface crust by inorganic nitrogen. J. Environ. Qual. 42, 507-515.

Duan, Y.-F., Reinsch, S., Ambus, P., Elsgaard, L., Petersen, S.O. (2017). Methanotrophic activity in slurry surface crusts as influenced by CH4, O2, and inorganic N. Journal of Environmental Quality 46, 767–775.

IPCC (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Agriculture, Forestry and Other Land Use, vol 4. Intergovernmental Panel on Climate Change, IGES, Hayama, Kanagawa, Japan.

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.

Mikkelsen, M.H., Albrektsen, R. (2020). Forbedring af datagrundlaget for opgørelse af ammoniakemissionen fra landbruget. Notat af 29. januar 2020. DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. 26 pp.

Olesen, J.E., Petersen, S.O., Lund, P., Jørgensen, U., Kristensen, T., Elsgaard, L., Sørensen, P., Lassen, J. (2018). Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget. DCA rapport, nr. 130, bind 130, DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug,

Petersen, S.O., Amon, B., Gattinger, A. (2005). Methane oxidation in slurry storage surface crusts. J. Environ. Qual. 34: 455-461.

Petersen, S.O., Dorno, N., Lindholst, S., Feilberg, A., Eriksen, J. (2013). Emissions of CH4, N2O, NH3 and odorants from pig slurry during winter and summer storage. Nutr. Cycl. Agroecosys. 95:103-113.

Petersen, S.O., Hutchings, N. (2020). 'Opdatering af klimaeffekter for virkemidler i landbruget bl.a. som følge af nyt kvælstofvirkemiddelkatalog - med tilføjelse', Nr. 2020-0089474, 23 s., aug. 18, 2020.

Hyppig udslusning af gylle fra stalde og opsamling af gas i gyllelagre og afbrænding

Forfattere: Frederik Rask Dalby og Anders Peter Adamsen, Institut for Bio- og Kemiteknologi

Anvendelse

Der henvises til afsnit om hyppig udslusning (6.1) og opsamling af gas i gyllelagre og afbrænding (6.6).

Relevans og potentiale

Relevans og potentiale er beskrevet i tidligere afsnit for virkemidlerne er beskrevet i 6.1 og 6.6

Effekt på drivhusgasudledning

Ved kombination af hyppig udslusning og efterfølgende opsamling af gas i gyllelagre og afbrænding opnås høje reduktionspotentialer. Disse er angivet i Tabel 26.

Tabel 26. Estimeret metanreduktion i stald, lager og totalt ved hyppig udslusning af gylle i stalden og afbrænding af metan i lageret. For kvægstalde er medtaget gødning fra stalde med ringkanal eller bagskyl. For svinestalde er medtaget gødning fra stalde hvor hyppig udslusning kan praktiseres (Tabel 1).

Dyretype		CH4 reduktion stald, %	CH4 reduktion lager, %	CH4 reduktion total, %	CH4 nettoreduktion, kg CO2 ækv. / ton gødning ab dyr
Svinegylle		58	59	59	61
	Smågrise	56	60	59	56
	Søer	61	58	59	64
	Slagtesvin	56	60	58	62
Kvæggylle[a]		91	59	81	51

[a] De opnåede reduktionseffekter som følge af hyppig udslusning fra stalden kræver ombygning af stalden

Samspil til andre virkemidler

Der er mulighed for at kombinere med flere virkemidler i lageret, hvor den yderligere reduktion af metan dog vil være begrænset.

Usikkerheder

Der knytter sig de samme usikkerheder til denne teknologi som tidligere beskrevet for hyppig udslusning (6.1) og gas opsamling med afbrændning (6.6)

Hyppig udslusning af gylle og lavdosis forsuring i lageret

Forfatter(e): Frederik Rask Dalby, Institut for Bio- og Kemiteknologi

Anvendelse

Der henvises til afsnit omkring hyppig udslusning (6.1) og lavdosis forsuring i lageret (6.4)

Relevans og potentiale

Relevans og potentiale er beskrevet i tidligere afsnit for virkemidlerne i 6.1 og 6.4

Effekt på drivhusgasudledning

Tabel 27. Estimeret metanreduktion i stald, lager og totalt ved hyppig udslusning af gylle i stalden og lav-dosis forsuring i lageret. For kvægstalde er medtaget gødning fra stalde med ringkanal eller bagskyl. For svinestalde er medtaget gødning fra stalde hvor hyppig udslusning kan praktiseres (Tabel 1)

Dyretype		CH4 reduktion stald, %	CH4 reduktion lager, %	CH4 reduktion total, %	CH4 nettoreduktion, kg CO2 ækv. / ton gødning ab dyr
Svinegylle		58	66	63	66
	Smågrise	56	67	63	60
	Søer	61	65	63	68
	Slagtesvin	56	66	63	66
Kvæggylle[a]		91	66	83	53

[a] De opnåede reduktionseffekter som følge af hyppig udslusning fra stalden kræver ombygning af stalden

Samspil til andre virkemidler

Der kan kombineres med andre virkemidler i lageret eller, men effekten vil være begrænset.

Usikkerheder

Se afsnit omkring usikkerheder for virkemidlerne hyppig udslusning (6.1) og lav-dosis forsuring (6.4).

Køling af svinegylle i stalde og bioforgasning

Forfatter(e): Frederik Rask Dalby, Institut for Bio- og Kemiteknologi

Anvendelse

Der henvises til afsnit omkring gyllekøling (6.4) og bioforgasning (6.6)

Relevans og potentiale

Køling er relevant i udvalgte svinestalde (jf. 6.4) og bioforgasning vil kunne benyttes for alle svinegyller.

Effekt på drivhusgasudledning

Antagelser: Der er kun regnet med reduktioner ift. reduktion af metanudledninger da effekten på ammoniak og afledt lattergas produktion samt energiforbrug ved køling i stalden er ganske lille, jf. afsnit 6.3 om gyllekøling. Gylletemperaturen sættes til 16.8 °C i stalden. Reduktionseffekter er angivet i Tabel 28

Tabel 28. Estimeret metanreduktion i stald, lager og totalt ved gyllekøling i stalden og bioforgasning før lageret. Gylle opbevares 2 dage i fortanke før bioforgasning. For svinestalde er medtaget gødning fra stalde hvor rørudslusning kan praktiseres. Kvægstalde er ikke beregnet da gyllekøling her ikke er relevant.

Dyretype		CH4 reduktion stald, %	CH4 reduktion lager, %	CH4 reduktion total, %	CH4 udbytte biogas, kg CH4 / ton gødning ab dyr	CH4 fortrængning, kg CO2 ækv. / ton gødning ab dyr	CH4 nettoreduktion, kg CO2 ækv. / ton gødning ab dyr
Svinegylle		7	95	59	12	35	97
	Smågrise	7	95	58	12	32	90
	Søer	9	95	54	12	33	92
	Slagtesvin	6	96	61	13	36	101

Samspil til andre virkemidler

Virkemidler som har en effekt i lageret vil kunne benyttes efter bioforgasning. Effekten på total reduktion vil dog være begrænset da bioforgasningen vil reducere metan potentialet i den afgassede gylle betragteligt.

Usikkerheder

Der er ikke yderligere usikkerheder knyttet til denne teknologikombination i forhold til usikkerheder, som allerede er beskrevet for de to teknologier (gyllekøling og bioforgasning).

7 Afgrødeproduktion

7.1 Efterafgrøder (KVM7.1)

Forfatter(e): Nicholas John Hutchings, Elly Møller Hansen, Ingrid K. Thomsen, alle fra Institut for Agroøkologi.

Fagfællebedømmer: Mathias Neumann Andersen, Institut for Agroøkologi

I dette kapitel tages udgangspunkt i beskrivelsen af de to N-virkemidler: Efterafgrøder og Efterafgrøder indeholdende kvælstoffikserende arter, der fremgår af henholdsvis Hansen et al. (2020a) og Hansen et al. (2020b). Effekt på drivhusgasudledningen er uændret i forhold til Hansen et al. (2020a og 2020b).

7.1.1 Anvendelse

Efterafgrøder er en effektiv måde at reducere udvaskningen af kvælstof i efteråret, da en veletableret afgrøde i perioder med nedbørsoverskud og dermed afstrømning vil kunne optage overskydende kvælstof, der ellers ville kunne udvaskes.

For dyrkning af ikke-kvælstoffikserende pligtige og husdyrefterafgrøder gælder følgende regler (Landbrugsstyrelsen, 2022):

- Følgende efterafgrødetyper kan anvendes: korsblomstrede afgrøder, korn, rent græs uden kløver, honningurt, cikorie, klinte, hjulkrone, morgenfrue samt frøgræs, der efter høst fortsætter som efterafgrøde.
- Efterafgrøderne skal senest være etableret 1. august. Dog må korsblomstrede afgrøder, klinte, hjulkrone, morgenfrue, honningurt, almindelig rug, stauderug, hybridrug, vårbyg og havre etableres til og med 20. august med mulighed for at udskyde etableringstidspunktet til og med 7. september, når der korrigeres i kvælstofkvoten.
- Efterafgrøderne skal sås på arealer med korn eller andre afgrøder med tilsvarende høsttidspunkt og kan desuden etableres som udlæg i majs.
- Efterafgrøderne må ikke destrueres før 20. oktober. Dog må efterafgrøder i majs tidligst destrueres 1. marts.
- Arealer med pligtige efterafgrøder skal efterfølges af en forårssået afgrøde.
- Efter dyrkning af efterafgrøder fratrækkes den samlede kvælstofkvote en eftervirkning på 17 eller 25 kg N/ha hhv. under og over 80 kg N/ha i organisk gødning.

Siden 2021 har det under visse betingelser været muligt at benytte efterafgrødeblandinger indeholdende kvælstoffikserende arter som alternativ til pligtige efterafgrøder (Landbrugsstyrelsen, 2021). For disse blandinger gælder, at et øget input af kvælstof til jorden (pga. de kvælstoffikserende arters fiksering af kvælstof fra luften) øger risikoen for udvaskning i forhold til, hvis der udelukkende blev dyrket ikke-kvælstoffikserende arter som efterafgrøde. Der er derfor opstillet betingelser for dyrkning af efterafgrødeblandinger indeholdende kvælstoffikserende arter, som har til formål at tilstræbe samme udvaskningsreducerende effekt, som ved dyrkning af pligtige efterafgrøder. Af Landbrugsstyrelsen (2022) fremgår gældende betingelser, hvoraf kan nævnes følgende, der har størst dyrkningsmæssig betydning:

- Blandingen må højst indeholde 25 % kvælstoffikserende arter (beregnet ud fra frøantal), mens den resterende del af blandingen skal udgøres af godkendte arter af efterafgrøder.
- Der må kun bruges udvalgte vinterfaste kvælstoffikserende arter.
- Arealet må tidligst nedpløjes, nedvisnes eller på anden vis destrueres 1. februar.
- Arealet skal efterfølges af en forårssået afgrøde.
- Efter dyrkning af efterafgrødeblandinger indeholdende kvælstoffikserende arter fratrækkes den samlede kvælstofkvote en eftervirkning på 50 kg N/ha.

For opgørelsen af efterafgrøders kvælstofreducerende effekt er referencesituationen defineret som jord uden efterafgrøder (Hansen et al., 2020a). Referencesituationen vil være forskellig ved anvendelse af frøgræs som efterafgrøde, men dette har ikke indgået i effektfastsættelsen.

7.1.2 Relevans og potentiale

Efterafgrøder dyrkes før vårsåede afgrøder, men kan ikke dyrkes efter sent høstede afgrøder som f.eks. roer og kartofter (Landbrugsstyrelsen, 2022). Ud fra disse forudsætninger blev det maksimale potentiale baseret på toårige afgrødefølger for 2013-2016 beregnet til på 700.000-850.000 ha for konventionelle og økologiske bedrifter ekskl. frøgræs (Thomsen & Ørum, 2016). For årene 2017-19 var det tilsvarende potentiale for efterafgrøder på 700.000-1.000.000 ha (J.E. Ørum, IFRO, personlig kommunikation). Det skal bemærkes, at der i det angivne maksimale potentiale ikke er foretaget reduktion i henhold til allerede gældende krav til f.eks. pligtige eller husdyrefterafgrøder.

Frøgræs kan i det sidste brugsår fungere som efterafgrøde før omlægning til vårsæd. I 2013-2016 svarede sidste brugsår af frøgræs til 50.000-60.000 ha (Thomsen & Ørum, 2016) og et tilsvarende areal er beregnet for 2017-19 (J.E. Ørum, IFRO, personlig kommunikation). Dette areal kan potentielt bruges som enten mellemafgrøde eller efterafgrøde og indgår derfor som potentiale for begge virkemidler.

7.1.3 Effekt på drivhusgasudledning

Referencesituationen for efterafgrøder er et kornsædskifte uden efterafgrøder.

I N-virkemiddelkataloget (Hansen et al., 2020a) er efterafgrøders udvaskningsreducerende effekt i rodzonen fastlagt som angivet i Tabel 7.1. Effekten er fastlagt på baggrund af revurdering i 2014 (Hansen et al., 2014; Hansen & Thomsen, 2014) og 2020 (Hansen et al., 2020a) og forudsætter, at efterafgrøder på lerjord pløjes eller på anden måde destrueres sent efterår, og at efterafgrøder på sandjord pløjes i det tidlige forår. Med gældende betingelser for dyrkning af efterafgrødeblandinger indeholdende kvælstoffikserende arter som alternativ til pligtige efterafgrøder vurderes samme udvaskningsreducerende effekt som i Tabel 7.1 at kunne opnås ved dyrkning af efterafgrødeblandinger indeholdende kvælstoffikserende arter.

Tabel 7.1. Efterafgrøders udvaskningsreducerende effekt i rodzonen (Hansen et al., 2020a). For ikke-kvælstoffikserende efterafgrøder forudsættes, at efterafgrøder på lerjord pløjes eller på anden måde destrueres sent efterår, og at efterafgrøder på sandjord pløjes i det tidlige forår. For efterafgrødeblandinger indeholdende kvælstoffikserende arter som alternativ til pligtige efterafgrøder forudsættes at efterafgrøderne tidligst nedpløjes, nedvisnes eller på anden vis destrueres 1. februar. Værdier i parentes er estimeret. Effekt af efterafgrøder på humusjord samt svær til meget svær lerjord indgår ikke i estimaterne for lerjord.

	Under 80 kg N/ha i organisk gødning		**Over 80 kg N/ha i organisk gødning [1)]**	
Jordtype	Ler	Sand	Ler	Sand
Udvaskningsreduktion (kg N/ha)	12	32	(24)	45

Efterafgrøder påvirker flere poster i klimaregnskabet, herunder lattergasemission fra planterester, nitratudvaskning, kulstoflagring i jord samt fossilt energiforbrug. I princippet vil efterafgrøder også påvirke ammoniakemission fra planterester, men da effekten sandsynligvis er lille, og der ikke findes anerkendte metoder til at beregne effekten, ses bort fra dette her. Da efterafgrødernes kvælstofoptagelse er meget varierende, er effekten på drivhusgasemissioner tilsvarende varierende.

Planteresterne i beregningerne af drivhusgasemission inkluderer både over- og underjordisk biomasse. Der kan forventes stor variation i kvælstofoptagelsen i efterafgrøder afhængig af klima- og dyrkningsforhold. Ifølge Hansen et al. (2020a) er den gennemsnitlige kvælstofoptagelse for efterafgrøder 28 kg N/ha, og dette tal anvendes i emissionsberegningerne uden differentiering mellem jordtyper og tilførsel af organisk gødning. Til estimering af kvælstofindhold i rødder af ikke-kvælstoffikserende efterafgrøder, er anvendt værdier fra IPCC (2006). Her angives, at kvælstofkoncentrationen i de overjordiske planterester af ikke-kvælstoffikserende grovfoderafgrøder er 15 g N/kg tørstof, rodbiomassen som andel af overjordisk biomasse er 0,54 og kvælstofkoncentrationen i rødderne er 12 g N/kg ts. Kvælstofindholdet i rødder kan således beregnes til 12,1 kg N/ha, og den totale mængde kvælstof i planterester er således 40,1 kg N/ha.

Hansen et al. (2017) vurderede det totale kvælstofindhold i efterafgrøder indeholdende kvælstoffikserende arter til 100 kg N/ha, og ved en eftervirkning på 50 kg N/ha forventedes samme udvaskningsreduktion som

for efterafgrøder uden kvælstoffikserende arter. Det bemærkes, at IPCC (2006) beregner kvælstofindhold i rødder som en funktion af de overjordisk biomasse, mens Hu et al. (2018) fandt, at rodbiomasse for konventionelle og økologiske efterafgrøder bedre kunne beregnes som konstante værdier. Da den danske indberetning under UNFCCC benytter IPCC (2006), er denne metode også benyttet her, men en metodeændring kunne være relevant i lyset af de seneste forskningsresultater.

Kulstoflagring fra en efterafgrøde estimeres til at være 0,27 tons/ha, som i (Olesen et al., 2018). I den nationale opgørelse, hvor der anvendes en dynamisk modellering med C-TOOL, er C-input-parameteren 2,2 ton C/ha/år. Hvis der indføres ekstra hektar med efterafgrøder i den nationale emissionsopgørelse, er det DCE's vurdering, at ca. 12 % af den årligt tilførte mængde C bliver indlejret i jordens kulstofpulje, svarende til 0,26 ton C/ha/år (Mikkelsen et al., 2022). Dermed er der nogenlunde overensstemmelse mellem kulstoflagring i Olesen et al. (2018) og de nationale beregninger.

Der vil være en begrænset merforbrug af fossil energi til såning, her estimeret til at være 1,7 l dieselolie/ha eller 4,7 kg CO_2-ækv./ha. Reduktionen i kvælstofudvaskningen er som i Tabel 7.2 og 7.3. Tilførslen af kvælstof reduceres som følge af eftervirkningen af efterafgrøder med 17 og 25 kg N/ha for ikke-fikserende efterafgrøder med hhv. under og over 80 kg N/ha i organisk gødning, og 50 kg N/ha for fikserende efterafgrøder uanset kvælstoftilførslen (Landbrugsstyrelsen, 2022).

De samlede reduktioner i drivhusgasemissioner for ikke-fikserende og fikserende efterafgrøder er vist i Tabel 7.2 og 7.3. Da der er store usikkerheder tilknyttet de enkelte poster, kan reduktionen for ikke-fikserende efterafgrøder regnes til en gennemsnit på 957 kg CO_2-ækv./ha og for fikserende efterafgrøder til 812 kg CO_2-ækv./ha.

Tabel 7.2. Oversigt over effekt på N-balance og reduktion i drivhusgasemissioner af ikke-kvælstoffikserende efterafgrøder.

	Under 80 kg N/ha i husdyrgødning og anden organisk gødning		**Over 80 kg N/ha i husdyrgødning og anden organisk gødning**	
	Ler	Sand	Ler	Sand
	(kg N/ha)			
Eftervirkning	17	17	25	25
Afgrøderester	-40	-40	-40	-40
Udvaskningsreduktion	12	32	24	45
	(kg CO_2-ækv/ha)			
Handelsgødning	80	80	117	117
Afgrøderester	-187	-187	-187	-187
Udvaskningsreduktion	26	69	52	97
Fossilenergi	-5	-5	-5	-5
Kulstoflagring	990	990	990	990
Nettoeffekt	903	946	967	1012

Tabel 7.3. Oversigt over effekt på N-balance og reduktion i drivhusgasemissioner af efterafgrødeblandinger indeholdende kvælstoffikserende arter.

	Under 80 kg N/ha i husdyrgødning og anden organisk gødning		**Over 80 kg N/ha i husdyrgødning og anden organisk gødning**	
	Ler	Sand	Ler	Sand
	(kg N/ha)			
Eftervirkning	50	50	50	50
Afgrøderester	-100	-100	-100	-100
Udvaskningsreduktion	12	32	24	45
	(kg CO_2-ækv/ha)			
Handelsgødning	234	234	234	234
Afgrøderester	-468	-468	-468	-468
Udvaskningsreduktion	26	69	52	97
Fossilenergi	-5	-5	-5	-5
Kulstoflagring	990	990	990	990
Nettoeffekt	777	820	803	848

7.1.4 Samspil til andre virkemidler

Efterafgrøder kan ikke anvendes sammen med andre fladevirkemidler, der involverer plantedyrkning om efteråret, men kan anvendes samtidigt med fladevirkemidler, der involverer gødskning. I disse tilfælde forventes effekterne ikke at være additive. Reduceret kvælstofudvaskning ved dyrkning af efterafgrøder vil betyde, at der kvantitativt kan fjernes mindre kvælstof ved samtidig anvendelse af dræn- og vandløbsvirkemidler.

7.1.5 Usikkerheder

Effekten af ikke-kvælstoffikserende efterafgrøder er baseret på forholdsvis mange forsøg, men der er betydelig variation i udvaskningsreduktionen. Størst usikkerhed knytter sig til udvaskningsreduktionerne efter majs, hvor det er uvist, i hvor høj grad der kan generaliseres ud fra de gennemsnitlige resultater. De gennemsnitlige værdier for efterafgrøder i korn vurderes som værende relativt sikkert bestemt for de mest almindelige jordtyper. Der savnes dog forsøg med og uden efterafgrøder på arealer med en langvarig dyrkningshistorie med tilførsel af husdyrgødning og dyrkning af kløvergræs. Desuden savnes der forsøg på svær lerjord samt silt- og humusjord.

Effekten af efterafgrødeblandinger indeholdende kvælstoffikserende arter er baseret på relativt få forsøg, og der er mange mulige arter af kvælstoffikserende efterafgrøder, hvis vinterfasthed er mangelfuldt dokumenteret. Ligeledes savnes der viden om konkurrenceforhold mellem kvælstoffikserende og ikke-kvælstoffikserende arter under forskellige jordfrugtbarhed, klimaforhold mm. Endelig savnes der mere viden om, hvad bælgplanteblandingers lavere C/N forhold betyder både for evt. udvaskning i løbet af vinteren og det tidlige forår samt for evt. øget kvælstofoptagelse i den efterfølgende afgrøde.

Referencer:

Hansen, E.M., Thomsen, I.K. (2014). Bilag 3. Efterafgrøder: Revurdering af udvaskningsreducerende effekt. I: Eriksen, J., Jensen, P.N. og Jacobsen, B.H. (redaktører), Virkemidler til realisering af 2. generations vandplaner og målrettet arealregulering, side 241-254.

Hansen, E.M., Thomsen, I.K., Rubæk, G.H., Kudsk, P., Jørgensen, L.N., Schelde, K., Olesen, J.E., Strandberg, M.T., Jacobsen, B.H., Eberhardt, J.M. (2014). Efterafgrøder. I: Eriksen, J., Jensen, P.N. og Jacobsen, B.H. (redaktører), Virkemidler til realisering af 2. generations vandplaner og målrettet arealregulering, side 21-35.

Hansen, E.M., Sørensen, P., Thomsen, I.K., Olesen, J.E., Rasmussen, J., Eriksen, J. (2017). Vurdering af kriterier for anvendelse af kvælstoffikserende arter som pligtige efterafgrøder. Notat til NaturErhvervstyrelsen 16. januar 2017. https://pure.au.dk/portal/files/108760403/f_lgebrev_notat_16_01_2017_NAER.PDF.

Hansen, E.M., Thomsen, I.K., Kudsk, P., Strandberg, B., Bruus, M., Rubæk, G.H., Hutchings, N.J., Pedersen, M.F. (2020a). Efterafgrøder. I: Eriksen, J., Thomsen, I.K., Hoffmann. C. C., Hasler, B., Jacobsen, B.H. (redaktører). Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. DCA rapport nr. 174, side 33-58. https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArap-port174.pdf

Hansen, E.M., Thomsen, I.K., Sørensen, P., Rasmussen, J., Eriksen, J., Olesen, J.E., Kudsk, P., Jørgensen, L.N., Strandberg, B., Bruus, M., Rubæk, G.H., Hutchings, N.J., Pedersen, M.F. (2020b). Efterafgrøder indeholdende kvælstoffikserende arter. I: Eriksen, J., Thomsen, I.K., Hoffmann. C. C., Hasler, B., Jacobsen, B.H. (redaktører). Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. DCA rapport nr. 174, side 59-73. https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArap-port174.pdf

Hu, T., Sørensen, P., Olesen, J.E. (2018). Soil carbon varies between different organic and conventional management schemes in arable agriculture. European Journal of Agronomy 94, 79–88.

IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. In: Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Nagara, T., Tanabe, K. (Eds.), Japan.

Landbrugsstyrelsen (2021). Vejledning om pligtige og husdyrefterafgrøder og dyrkningsrelaterede tiltag. Planperioden 1. august 2021 til 31. juli 2022. Version 2, juni 2021. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, Landbrugsstyrelsen. file:///C:/Data/myndighed/20211005_Afpudsning%20af%20MFO-gr%C3%A6s/Artikler/Vejledning_efterafgroeder_og_dyrkningsrelaterede_tiltag_2version_juni_2021.pdf

Landbrugsstyrelsen (2022). Vejledning om pligtige og husdyrefterafgrøder og dyrkningsrelaterede tiltag Planperioden 1. august 2022 til 31. juli 2023. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, Landbrugsstyrelsen. ISBN 978-87-7120-410-0

Mikkelsen, M.H., Albrektsen, R., Gyldenkærne, S. (2022). Sammenligning af klimaeffekter - Emissionsopgørelse, emissionsfremskrivning og Klimaeffekttabel. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 166 s. – Videnskabelig rapport nr. 501. http://dce2.au.dk/pub/SR501.pdf

Olesen, J.E., Petersen, S.O., Lund, P., Jørgensen, U., Kristensen, T., Elsgaard, L., Sørensen, P., Lassen, J. (2018). Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget. DCA rapport 130.

Thomsen, I.K., Ørum, J.E. (2016). Analyse af efterafgrødepotentialet i kystvandområderne når økologiske og konventionelle arealer adskilles. Notat til NaturErhvervstyrelsen 24. oktober 2016. https://pure.au.dk/portal/files/115568880/F_lgebrev_notat_Efterafgr_depotentialer_241016.pdf

7.2 Mellemafgrøder (KVM7.2)

Forfatter(e): Nicholas John Hutchings, Ingrid K. Thomsen, Elly Møller Hansen, alle fra Institut for Agroøkologi.

Fagfællebedømmer: Mathias Neumann Andersen, Institut for Agroøkologi

I beskrivelsen af virkemidlet Mellemafgrøder er der taget udgangspunkt i Thomsen et al. (2020).

7.2.1 Anvendelse

Mellemafgrøders udvaskningsreducerende effekt er baseret på optag og tilbageholdelse af kvælstof sensommer og tidligt efterår. Ifølge gældende regelsæt skal mellemafgrøder etableres senest 20. juli og må tidligst nedmuldes eller destrueres 20. september, hvorefter der skal dyrkes en vintersædsafgrøde (Landbrugsstyrelsen, 2022). Som mellemafgrøde kan anvendes olieræddike og/eller gul sennep. For opgørelsen af mellemafgrøders kvælstofreducerende effekt er referencesituationen defineret som vintersæd uden mellemafgrøder (Thomsen et al., 2020).

Ud over olieræddike og gul sennep kan frøgræs efter høst fortsætte som mellemafgrøde indtil såning af en vintersædsafgrøde (Landbrugsstyrelsen, 2022). Frøgræs har ikke indgået i fastsættelsen af mellemafgrøders udvaskningsreducerende effekt.

7.2.2 Relevans og potentiale

Mellemafgrøden skal ifølge Landbrugsstyrelsen (2022) efterfølges af en vintersædsafgrøde, og det vurderes, at korsblomstrede mellemafgrøder især anvendes efter korn som forfrugt. Det totale potentiale antages således at være arealet med vintersæd med forfrugt af vår- eller vintersæd. Ifølge Thomsen & Ørum (2016) svarede dette areal summeret for konventionelle og økologiske bedrifter til ca. mellem 560.000-650.000

ha for årene 2013-16 baseret på toårige afgrødefølger i perioden. For årene 2017-19 var det totale potentiale for mellemafgrøder efter korn før vintersæd ud fra samme forudsætninger på 400.000-600.000 ha (J.E. Ørum, IFRO, personlig kommunikation).

Frøgræs kan i det sidste brugsår fungere som mellemafgrøde før omlægning til vintersæd. I 2013-16 svarede sidste brugsår af frøgræs til 50.000-60.000 ha (Thomsen & Ørum, 2016) og et tilsvarende areal er beregnet for 2017-19 (J.E. Ørum, IFRO, personlig kommunikation). Dette areal kan potentielt bruges som enten mellemafgrøde eller efterafgrøde og indgår derfor som potentiale for begge virkemidler.

7.2.3 Effekt på drivhusgasudledning

Den udvaskningsreducerende effekt af mellemafgrøder er antaget at svare til halvdelen af effekten af efterafgrøder svarende til 14 kg N/ha (Thomsen et al., 2020). Det fossile energiforbrug er regnet som det samme som for efterafgrøder, mens mellemafgrøder ikke påvirker kvælstofnormerne, da disse ikke har en eftervirkning (Landbrugsstyrelsen, 2019). En reduktion i kvælstofudvaskningen på 14 kg N/ha svarer til en reduktion i den indirekte lattergasemission på 30 kg CO_2-ækv./ha. Mer-emissionen af lattergas fra planterester forventes at svare til 94 kg CO_2-ækv./ha, mens reduktionen pga. kulstoflagringen svarer til 495 kg CO_2-ækv./ha. Merforbrug af fossilt energi til såning er estimeret til at være 1,7 l dieselolie/ha eller 4,7 kg CO_2-ækv./ha. I alt vil mellemafgrøder således bidrage med en reduktion i drivhusgasemission på 427 kg CO_2-ækv./ha. Der er ikke datagrundlag til at differentiere effekten i forhold til jordtype og husdyrintensitet.

7.2.4 Samspil til andre virkemidler

Mellemafgrøder kan ikke anvendes sammen med andre fladevirkemidler, der involverer plantedyrkning om efteråret. Det gælder f.eks. ift. tidlig såning af vintersæd, da destruktion af mellemafgrøder først kan finde sted efter seneste frist for tidlig såning (Landbrugsstyrelsen, 2022). Mellemafgrøder kan anvendes samtidigt med fladevirkemidler, der involverer gødskning, men effekterne forventes ikke at være additive. Reduceret kvælstofudvaskning på grund af mellemafgrøder vil betyde, at der kvantitativt fjernes mindre kvælstof ved samtidig anvendelse af dræn- og vandløbsvirkemidler.

7.2.5 Usikkerheder

Der er gennemført en del forsøg med mellemafgrøder, hvor der er bestemt enten kvælstofoptag efterår eller Nmin i jord til forskellige tidspunkter. Desuden foreligger resultater fra en række udvaskningsforsøg, men der udestår forsøg med mellemafgrøder, der kan dokumentere den nuværende omregningsfaktor 2:1 (Landbrugsstyrelsen, 2022) til efterafgrøder uanset jordtype og husdyrintensitet. Der udestår desuden eksperimentelle undersøgelser til belysning af den udvaskningsreducerende effekt af mellemafgrøder bestående af frøgræs.

Referencer

Landbrugsstyrelsen (2022). Vejledning om pligtige og husdyrefterafgrøder og dyrkningsrelaterede tiltag. Planperioden 1. august 2022 til 31. juli 2023, maj 2022. https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Efterafgroeder_og_jordbearbejdning/Vejledning_efterafgroeder_og_dyrkningsrelaterede_tiltag_for_2022_2023_maj2022.pdf

Landbrugsstyrelsen (2022). Vejledning om pligtige og husdyrefterafgrøder og dyrkningsrelaterede tiltag. Planperioden 1. august 2022 til 31. juli 2023, maj 2022. https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Efterafgroeder_og_jordbearbejdning/Vejledning_efterafgroeder_og_dyrkningsrelaterede_tiltag_for_2022_2023_maj2022.pdf

Thomsen, I.K., Hansen, E.M., Boelt, B., Kudsk, P., Jørgensen, L.N., Strandberg, B., Bruus, M., Rubæk, G.H., Hutchings, N.J., Pedersen, M.F. (2020). Mellemafgrøder. I: Eriksen, J., Thomsen, I.K., Hoffmann. C.C., Hasler, B., Jacobsen, B.H. (redaktører). Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. DCA rapport nr. 174, side 74-86. https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArap-port174.pdf

Thomsen, I.K., Ørum, J.E. (2016). Analyse af efterafgrødepotentialet i kystvandområderne når økologiske og konventionelle arealer adskilles. Notat til NaturErhvervstyrelsen 24. oktober 2016. https://pure.au.dk/ws/files/115568880/F_lgebrev_notat_Efterafgr_depotentialer_241016.pdf

7.3 Tidlig såning af vintersæd (KVM7.3)

Forfatter(e): Nicholas John Hutchings, Ingrid K. Thomsen, Elly Møller Hansen, alle fra Institut for Agroøkologi.

Fagfællebedømmer: Mathias Neumann Andersen, Institut for Agroøkologi

I beskrivelsen af virkemidlet Tidlig såning af vintersæd er der taget udgangspunkt i Thomsen et al. (2020).

7.3.1 Anvendelse

Tidlig såning af vintersæd stiler mod at øge kvælstofoptagelsen gennem efteråret og dermed reducere kvælstofudvaskningen i forhold til en referencesituation, hvor vintersæd sås til normalt tidspunkt. Ifølge gældende regler defineres såning senest 7. september af vinterhvede, vinterbyg, vinterrug og triticale som et virkemiddel, der kan bruges som alternativ til efterafgrøder (Landbrugsstyrelsen, 2022).

7.3.2 Relevans og potentiale

Det vurderes, at tidlig såning af vintersæd hovedsageligt vil blive praktiseret efter gode forfrugter som f.eks. raps og ærter. Under den forudsætning beregnede Thomsen & Ørum (2016), at det totale potentiale sum-

meret for konventionelle og økologiske bedrifter var mellem 170.000 – 190.000 ha for årene 2013-16 baseret på toårige afgrødefølger i perioden. For årene 2017-19 var potentialet for tidlig såning ud fra samme forudsætninger på 150.000-170.000 ha (J.E. Ørum, IFRO, personlig kommunikation).

Tidlig såning af vintersæd kan i princippet også praktiseres efter andre forfrugter end raps og ærter, når blot høst af forfrugten er tilstrækkelig tidlig til, at såning af vintersæden kan finde sted senest 7. september. Betragtes hele arealet med vintersæd som et potentielt areal for tidlig såning, svarer dette summeret for konventionelle og økologiske bedrifter til mellem 800.000 og 900.000 ha for årene 2013-16 (Thomsen & Ørum, 2016). For 2017-19 var det totale vintersædsareal, og dermed det maksimale potentiale for tidlig såning, på 580.000-820.000 ha (J.E. Ørum, IFRO, personlig kommunikation). Af dette potentiale er der i de år, hvor virkemidlet har kunnet anvendes, været udnyttet mellem ca. 13.000 og 160.000 ha (Thomsen & Hansen, 2019).

7.3.3 Effekt på drivhusgasudledning

Under antagelse af at tidlig såning af vintersæd ikke har signifikant effekt på udbyttet (Thomsen et al., 2020), er virkemidlets effekt på drivhusgasemissionen begrænset til effekten på nitratudvaskning.

Referencesituationen til tidlig såning af vintersæd er såning af vintersæd til normal tid. I forhold til denne reference er den udvaskningsreducerende effekt af tidlig såning af vintersæd estimeret til 17 kg N/ha (Thomsen et al., 2020), hvilket svarer til en reduktion i drivhusgasemissionen på 37 kg CO_2-ækv./ha. Der er ikke datagrundlag til at differentiere effekten i forhold til jordtype og husdyrintensitet.

7.3.4 Samspil til andre virkemidler

Tidlig såning af vintersæd vil ikke kunne bruges samtidigt med andre fladevirkemidler, der involverer plantedyrkning om efteråret som f.eks. efter- og mellemafgrøder og brak. Tidlig såning kan anvendes samtidigt med fladevirkemidler, der involverer gødskning, men effekterne forventes ikke at være additive. Reduceret kvælstofudvaskning på grund af tidlig såning af vintersæd vil betyde, at der kvantitativt fjernes mindre kvælstof ved samtidig anvendelse af dræn- og vandløbsvirkemidler.

7.3.5 Usikkerheder

Effekten af tidlig såning af vintersæd er relativt sikkert bestemt, selvom forsøgene ikke dækker alle kombinationer af jordtyper, klimaforhold og arter af vintersæd. Der er ikke gennemført forsøg med tidlig såning på jord med høj tilførsel af husdyrgødning.

Referencer:

Landbrugsstyrelsen (2022). Vejledning om pligtige og husdyrefterafgrøder og dyrkningsrelaterede tiltag. Planperioden 1. august 2022 til 31. juli 2023, maj 2022. https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Efterafgroeder_og_jordbearbejdning/Vejledning_efterafgroeder_og_dyrkningsrelaterede_tiltag_for_2022_2023_maj2022.pdf

Thomsen, I.K., Hansen, E.M. (2019). Revurdering af omregningsfaktor for tidlig såning af vintersæd som alternativ til efterafgrøder. Notat til Landbrugsstyrelsen 12. august 2019. https://pure.au.dk/portal/files/161791404/Revurdering_af_omregningsfaktor_for_tidlig_s_ning_120819.pdf

Thomsen, I.K., Hansen, E.M., Kudsk, P., Jørgensen, L.N., Bruus, M., Strandberg, B., Rubæk, G.H., Hutchings, N.J., Pedersen, M.F. (2020). Tidlig såning af vintersæd. I: Eriksen, J., Thomsen, I.K., Hoffmann. C.C., Hasler, B., Jacobsen, B.H. (redaktører). Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. DCA rapport nr. 174, side 87-100. https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArap-port174.pdf

Thomsen, I.K., Pedersen, B.F., Hansen, E.M. (2019). Vurdering og genberegning af omregningsfaktor for tidlig såning af vintersæd som alternativ til efterafgrøder ifm. håndtering af dødvægtsproblematikken. Notat til Landbrugsstyrelsen 19. november 2019. https://pure.au.dk/portal/files/172095832/Vurdering_og_genberegning_af_omregningsfaktor_for_tidlig_s_ning_November_2019.pdf

Thomsen, I.K., Ørum, J.E. (2016). Analyse af efterafgrødepotentialet i kystvandområderne når økologiske og konventionelle arealer adskilles. Notat til NaturErhvervstyrelsen 24. oktober 2016. https://pure.au.dk/ws/files/115568880/F_lgebrev_notat_Efterafgr_depotentialer_241016.pdf

7.4 Nedmuldning af halm før vintersæd (KVM7.4)

Forfatter(e): Nicholas John Hutchings, Ingrid K. Thomsen, Elly Møller Hansen, alle fra Institut for Agroøkologi

Fagfællebedømmer: Mathias Neumann Andersen, Institut for Agroøkologi

I beskrivelsen af virkemidlet Nedmuldning af halm før vintersæd er der taget udgangspunkt i Thomsen et al. (2020).

7.4.1 Anvendelse

En udvaskningsreducerende effekt af halmnedmuldning er baseret på, at halm med højt C:N-forhold efter indblanding i jorden medfører, at mikroorganismer immobiliserer uorganisk kvælstof. Det immobiliserede kvælstof tilbageholdes i jorden og vil på et senere tidspunkt remineraliseres. Når nedmuldning af halm som

virkemiddel her alene fokuserer på vintersæd, skyldes det, at forbuddet mod jordbearbejdning forud for vårsåede afgrøder (Landbrugsstyrelsen, 2022) betyder, at halm før vårafgrøder ikke vil kunne indarbejdes efter den forudgående høst og dermed opnå en effekt via immobilisering.

7.4.2 Relevans og potentiale

Der kan potentielt nedmuldes halm på den del af vintersædsarealet, hvor forfrugten er korn. Af Thomsen & Ørum (2016) kan udledes, at dette areal for årene 2013-2016 svarer til ca. 625.000 ha.

7.4.3 Effekt på drivhusgasudledning

Nedmuldning af halm før vintersæd vurderes ikke at være tilstrækkelig sikkert til at kunne indgår som virkemiddel til reduktion af kvælstofudvaskningen og som anført i Thomsen et al. (2014), forventes der ingen netto klimaeffekt forbundet med nedmuldning af halm. Det skyldes en forudsætning om, at den nedmuldede halm alternativt ville blive anvendt til foder eller strøelse for derefter at blive udbragt og indarbejdet i jorden. Dermed er der ingen kulstoflagringseffekt forbundet med virkemidlet. Der er ikke udarbejdet scenarier for en referencesituation, hvor halmen bliver brugt til energiformål.

7.4.4 Samspil til andre virkemidler

Ikke vurderet.

7.4.5 Usikkerheder

Der er gennemført adskillige studier med nedmuldning af halm, og sikkerheden på data må betragtes som relativ høj.

Referencer:

Landbrugsstyrelsen (2022). Vejledning om pligtige og husdyrefterafgrøder og dyrkningsrelaterede tiltag. Planperioden 1. august 2022 til 31. juli 2023, maj 2022. https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Efterafgroeder_og_jordbearbejdning/Vejledning_efterafgroeder_og_dyrkningsrelaterede_tiltag_for_2022_2023_maj2022.pdf

Thomsen et al., 2020 mangler. Den er i teksten, men ikke i referencelisten for 7.4

Thomsen, I.K., Hansen, E.M., Rubæk, G.H., Kudsk, P., Jørgensen, L.N., Schelde, K., Petersen, S.O., Strandberg, M.T. (2014). Nedmuldning af halm før vintersæd. I: Eriksen, J., Jensen, P.N. og Jacobsen, B.H. (Redaktører), Virkemidler til realisering af 2. generations vandplaner og målrettet arealregulering, side 141-144. https://pure.au.dk/portal/files/84646400/Virkemiddelkatalog_web.pdf

Thomsen, I.K., Ørum, J.E. (2016). Analyse af efterafgrødepotentialet i kystvandområderne når økologiske og konventionelle arealer adskilles. Notat til NaturErhvervstyrelsen 24. oktober 2016. https://pure.au.dk/ws/files/115568880/F_lgebrev_notat_Efterafgr_depotentialer_241016.pdf

7.5 Halm til forgasning (pyrolyse) med biochar retur (KVM7.5)

Forfatter(e): Lars Elsgaard, Institut for Agroøkologi

Fagfællebedømmer: Mathias Neumann Andersen, Institut for Agroøkologi

Biochar tiltrækker sig i øjeblikket opmærksomhed som en negativ kulstof-emissionsteknologi i lande, der er forpligtet til ambitiøse klimamål, såsom Danmark, med et mål om 70 % reduktion af drivhusgasemissioner) inden 2030. Da dette mål er baseret på netto reduktioner, kan det delvist realiseres ved initiativer, der kompenserer for CO_2-udledningen gennem kulstofbinding, hvor pyrolyse af biomasse foreslås at være et vigtigt element (Klimarådet 2020). Den hastigt stigende interesse for biochar betyder dog, at empirisk dokumentation og mekanistisk forståelse halter bagud, når det kommer til at vurdere langsigtede agronomiske og miljømæssige effekter af biochar. Denne forskning er nødvendig i forhold til dokumentation af den pyrogene kulstoflagring samt biochars vedvarende effekter på jordens økosystem, herunder såvel positive som potentielt negative effekter. De nedenstående beskrivelser og scenarier bygger på den tilgængelige viden med disse forbehold.

7.5.1 Anvendelse

Biochar er den faste kulstof-fraktion, der fremkommer ved termisk forgasning eller pyrolyse af forskellige typer biomasse. Biochar, der indarbejdes i jorden, kan øge jordens vandholdende evne, pH og evne til at tilbageholde næringsstoffer i rodzonen. Dette skyldes primært biochars porøse struktur og overfladeegenskaber. På baggrund af disse egenskaber er biochar gennem det seneste årti blevet undersøgt og foreslået til jordforbedring (Lehmann & Joseph, 2015). Det er dog klimaeffekten i forhold til kulstof (C) lagring, der tiltrækker størst opmærksomhed (Woolf et al., 2021). Som følge af den termiske behandling ved høj temperatur (typisk 400-700 grader) er kulstoffet i biochar meget stabilt og kun langsomt biologiske nedbrydeligt. Biochar kan udbringes og indarbejdes i dyrket jord i forbindelse ved pløjning og harvning. Der vil også være mulighed for, at en mindre mængde biochar vil kunne udbringes via gylle (efter tilførsel af biochar til gylletanke). Der er begrænset erfaring med praktisk udbringning i større skala; de fleste studier af biochar er af eksperimentel karakter eller er foregået med manuel udbringning på mindre feltarealer. En positiv effekt af biochar på høstudbytte er dokumenteret i meta-analyser (Jeffery et al., 2011; Crane-Droesch et al., 2013), men vil være mest aktuel på jorder med høj udvaskning, lav pH og lavt indhold af plantetilgængeligt vand, næringsstoffer og organisk kulstof. Øgede udbytter vil ikke generelt kunne forventes på danske landsbrugsjorde, måske med undtagelse af meget sandede jorder (Sørensen og Abalos, 2022).

7.5.2 Relevans og potentiale

Halm er en begrænset ressource, der allerede udnyttes i stort omfang, og har en række konkurrerende anvendelser. Elsgaard et al. (2011) vurderede, at der var potentiale for en øget anvendelse af 1 million ton (10^6 Mg) halm til energiformål. Samtidig blev det fremhævet, at virkningen af mindre halm-nedmuldning på jordens frugtbarhed måtte vurderes. Estimatet fra Elsgaard et al. (2011) blev benyttet i DCA rapport nr. 130 om virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget (Olesen et al., 2018). Nyere estimater præsenteret af Jørgensen og Mortensen (2022) angiver, at den pt. uudnyttede ressource af halm (korn + raps + græsfrøhalm) udgør ca. 2 millioner tons, idet der stadig tages højde for, at en vis andel af landmændene ønsker at beholde halmen som kilde til organisk stof til gavn for jordens struktur og frugtbarhed (se også Munkholm et al., 2022). Jørgensen og Mortensen (2022) estimerede derudover potentialet ved at pyrolyse kan konkurrere om den mængde halm, der i øjeblikket bruges til energiformål. Derved øges potentialet for halm til pyrolyse til 3,37 millioner tons (disse tal er med 15% vandindhold). I fremtidige scenarier for 2030, hvor muligheder og begrænsninger indgår, blev de samlede halmressourcer til bioenergi og bioraffinering estimeret til 3,09-3,85 millioner tons (Jørgensen og Mortensen, 2022). Thomsen (2021) udførte en omfattende analyse af klimaftrykket af halm til pyrolyse og biogas i Danmark og benyttede i dette arbejde et estimatet på 1,67 millioner tons halm til pyrolyse. For at udnytte potentialet i pyrolyse af halm til biochar vil det kræve, at der findes de rette anlægstyper (pyrolyse/forgasnings anlæg) med tilstrækkelig kapacitet, hvilket ikke er tilfældet i dag, hvor der kun findes et enkelt eller få anlæg med fokus på pyrolyse af halm med biochar retur (Adamsen & Møller, 2022a,b).

Udbyttet af biochar ved pyrolyse af halm varierer afhængigt af proces-betingelserne ved den termiske behandling dvs primært som funktion af temperatur og opholdstid i pyrolyseanlægget. Danske pyrolyseanlæg har indtil videre kun eksisteret på eksperimentel og pilot skala fx i forbindelse med forgasning af halm ved PURSOC teknologien, som var grundlag for beregninger i DCA rapport nr. 174 (Eriksen et al., 2020). Data er i mellemtiden blevet tilgængelige for et ny-opført 2 MW anlæg og der er på den baggrund opstillet en balance, der viser, at masseudbytte af biochar svarer til 29% af tørstoffet i den pyrolyserede biomasse (Adamsen og Møller, 2022a,b). Antages det, at 1 millioner tons halm (tørvægt) pyrolyseres med et udbytte på 29% kan der årligt produceres 0.29 millioner tons biochar. Infrastrukturen til dette er dog ikke på plads og konsekvenserne på længere sigt for jordens økosystem er mangelfuldt belyst.

7.5.3 Effekt på drivhusgasudledning

I en datasyntese med udgangspunkt i danske forhold, beskrev Sørensen og Abalos (2022) at fosfor (P) indholdet i biochar ofte vil begrænse den mængde biochar, der kan udbringes på dansk landbrugsjord, hvor der eksisterer et fosforloft på 30 kg P/ha. Det blev beregnet, at der typisk ville kunne udbringes hvad der svarer til 7-9 tons biochar pr. ha pr. år. I balancen opstillet af Adamsen og Møller (2022) regnes med et kulstofindhold i biochar på ca. 64% ved pyrolyse af halm, svarende til at der kan tilføres 4,5-5,8 tons C pr. ha pr. år.

IPCC (2019) har lavet et foreløbigt og simplificeret udkast til at forudsige stabiliteten af biochar i et 100-års perspektiv (Fperm) – hvilket er en værdi, der angiver hvor mange procent af tilført C i biochar, der forventes at være tilbage i jorden efter 100 år. Kun produktionstemperaturen for biochar ligger til grund for disse foreløbige IPCC estimater, der varierer fra gennemsnit på 65 % til 89 % for biochar produceret ved hhv 350-450 °C og >600 °C. Woolf et al. (2021) har kvalificeret estimaterne for Fperm baseret på en sammenhæng mellem biocharens H/Corg ratio (dvs. det molære forhold mellem bring, H, og organisk kulstof, Corg). På denne bagrund har Jensen et al (2022) opstillet et scenarie (og reference scenarie) for effekten på kulstoflagring af at tilføre mineraljorde 42.000 t C i biochar og samtidig fraføre 240.000 t tørstof i halm til brug for produktionen af biochar i hhv. et 20 og 100 års perspektiv

Udover effekt på kulstoflagring er der empirisk dokumentation for en sænkning af N_2O emissionen fra dyrket jord i forsøg, hvor der måles i behandlinger med og uden biochar. Dette er sammenfattet i to tidligere meta-analyser (Cayuela et al., 2014; 2015), der fandt en gennemsnitlig reduktion i N_2O-emissionerne på 53% i kontrollerede laboratorieforsøg og en reduktion på 28% i markforsøg. Opsamling af viden fra nyere undersøgelser sandsynliggør, at effekten af biochar på lattergas emissionen ikke er statisk, men derimod forventes at formindskes over årene efter tilførsel af biochar (Borchard et al., 2019).

Antages det med udgangspunkt i internationale meta-analyser, at biochar i dyrket jord nedsætter lattergas emissionen med 28 % under markforhold, kan betydningen af denne reduktion vurderes i forhold til den standard emission af lattergas (IPCC, 2019), der som direkte emission knyttes til anvendelse af mineralsk gødnings-N (i.e., 1 % af tilført N mængde). Antages en årlig tilførsel af 167 kg N/ha, beregnes en lattergas emission på 1,67 kg N_2O-N/ha. En reduktion heraf på 28 % omregnes til en sænkning svarende til 0,47 kg N_2O-N/ha eller 0,73 kg N_2O/ha. Med en GWP faktor på 273 for N_2O (jf seneste IPCC assessment report; Forster et al., 2021) svarer dette til 200 kg CO_2-ækv/ha. Det er dog som tidligere nævnt ikke velundersøgt, om denne effekt er vedholdende over en længere årrække, eller om effekten afhænger af fornyet tilførsel af biochar med jævne mellemrum.

Tabel 7.4. Scenarier for effekten på kulstoflagring af at tilføre mineraljorde 42.000 t C i biochar og samtidig fraføre 240.000 t tørstof i halm til brug for produktionen af biochar i hhv. et 20 og 100 års perspektiv (fra Jensen et al., 2022).

	20 års perspektiv	**100 års perspektiv**
Biochar-tilførsel (t C)	42.000	42.000
Tilbageholdelse af C i Biochar (%)[1]	96	81
Kulstoflagring (t C)	40.320	34.020
Halm-C tilførsel (t C)	100.000	100.000
Tilbageholdelse af C i halm (%)[2]	14	3
Kulstoflagring (t C)	14.000	3.000

Netto C lagring ved biochar (t C)	26.320	31.020

[1] Udregnet ud fra Supplerende materiale til Woolf et al. (2021) ved jordtemperatur på 10 °C.
[2] Baseret på C-TOOL (Taghizadeh-Toosi et al., 2014) modelkørsel ved et lerindhold på 12,5 %, C/N-forhold på 10 og ved en årlig gennemsnits lufttemperatur på 8 °C.

Ud fra de ovenstående afsnit kan der laves et skønsmæssigt estimat af klimaeffekten ved at tilføre fx 4 tons halm/ha i form af frisk halm (tørvægt) eller efter omdannelse til biochar.

For 4 tons halm (med et C indhold på 42 %) tilført til 1 ha, vil der efter 20 og 100 år være stabiliseret hhv. 0,24 og 0,05 tons C (i.e., der er tilført ca. 1,7 tons C, hvoraf hhv. 14 % og 3 % er indlejret i jorden efter 20 og 100 år)

For 4 tons halm pyrolyseret med et udbytte på 29 % (vægt) og et C indhold i biochar på 64 %, dannes 0,74 tons biochar-C, hvoraf hhv. 96 % og 81 % er stabilt i jorden efter 20 og 100 år, i.e., svarende til 0,71 og 0,60 tons C.

Netto effekten efter hhv. 20 og 100 år er 0,48 og 0,55 tons C/ha svarende til 1,8 og 2,0 tons CO_2-ækv/ha. Hertil kommer den mulige effekt i det/de første år af mindsket lattergas emission på 0,2 tons CO_2-ækv/ha. Estimaterne for C lagring her er 6-9 % højere end i eksemplet i Tabel 7.4 grundet antagelserne om biochar udbytte og C indhold, der er taget fra den nyere syntese af Adamsen og Møller (2022).

7.5.4 Samspil til andre virkemidler

Effekten på sænkning af emissionen af lattergas kan påvirkes af andre tiltag, der implementeres for at mindske disse emissioner, så som anvendelse af nitrifikations-inhibitorer.

7.5.5 Usikkerheder

Der er usikkerheder på estimaterne for den langsigtede stabilitet af biochar C i jorden. Fx er det usikkert hvordan jordens temperatur påvirker stabiliteten af biochar Forskellige typer af biochar vil desuden have forskellig stabilitet. For specifikke produkter kan biocharens H/Corg ratio anvendes til at kvalificere estimaterne. Det er usikkert hvor stor og hvor holdbar effekt der er af biochar på sænkning af emissionen af lattergas under danske klima- og dyrkningsforhold.

Referencer :

Adamsen, A.P.S., Møller, H.B. (2022a). Production of biochar based on straw, digestate fibers and sewage sludge. In: Elsgaard L (ed): Knowledge synthesis on biochar in Danish agriculture. Advisory report from DCA - Danish Centre for Food and Agriculture. Chapter 2, pp. 9-32

Adamsen, A.P.S., Møller, H.B. (2022b). Selection of biochar feedstock scenarios and estimation of carbon sequestration and emissions. In: Elsgaard L (ed): Knowledge synthesis on biochar in Danish agriculture. Advisory report from DCA - Danish Centre for Food and Agriculture. Chapter 1, pp. 1-8

Borchard, N., Schirrmann, M., Cayuela, M.L. et al. (2019). Biochar, soil and land-use interactions that reduce nitrate leaching and N2O emissions: a meta-analysis. Sci. Total Environ. 651, 2354-2364.

Cayuela, M.L., Jeffery, S., van Zwieten, L. (2015). The molar H:Corg ratio of biochar is a key factor in mitigating N2O emissions from soil. Agric. Ecosyst. Environ. 202, 135-138.

Cayuela, M.L., van Zwieten, L., Singh, B.P. et al. (2014). Biochar's role in mitigating soil nitrous oxide emissions: A review and meta-analysis. Agric. Ecosyst. Environ. 191, 5-16.

Crane-Droesch, A., Abiven, S., Jeffery, S., Torn, M.S. (2013). Heterogeneous global crop yield response to biochar: a meta-regression analysis. Environ. Res. Lett. 8, 044049.

Eriksen, J., Thomsen, I.K., Hoffmann, C.C., Hasler, B., Jacobsen, B.H. (2020). Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA– Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 452 s.– DCA rapport nr. 174 https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport174.pdf

Forster. P., Storelvmo, T., Armour, K. et al. (2021). The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A et al., eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 923–1054.

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), Appendix 4 - Method for estimating the change in mineral soil organic carbon stocks from biochar amendments: Basis for future methodological development. Published: IPCC, Switzerland.

Jeffery, S., Verheijen, F.G.A., van der Velde, M., Bastos, A.C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. Agric. Ecosyst. Environ. 144, 175-87.

Jensen, J.L., Thers, H., Elsgaard, L. (2022). Afklaring om videns- og ressourcebehov ved at integrere biochar i C-TOOL modellen til brug for emissionsopgørelser. 10 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 17.05.2022.

Mangler i tekst: Jensen, J.L., Kristensen, T., Thers, H., Olesen, J.E., Elsgaard, L. (2021) C-TOOL og muligheder for beregning af kulstoflagring på bedriftsniveau. 8 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center

for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 15.12.2021. https://pure.au.dk/portal/files/228108178/CTOOL_og_C_lagring_p_bedriftsniveau_1512_2021.pdf

Jørgensen, U., Mortensen, E.Ø. (2022). Biomass potentials. In: Elsgaard L (ed): Knowledge synthesis on biochar in Danish agriculture. Advisory report from DCA - Danish Centre for Food and Agriculture. Chapter 3, pp. 33-39

Klimarådet, (2020). Known paths and new tracks to 70 per cent reduction - Direction and measures for the next 10 years climate action in Denmark. Klimarådet, March 2020.

Lehmann, J., Joseph, S. (2015). Biochar for environmental management - science, technology and implementation, 2nd edition. Routledge, New York, NY.

Mangler i tekst: Lehmann, J., Abiven, S., Kleber, M. et al. (2015). Persistence of biochar in soil. In: Biochar for Environmental Management (Eds., Lehmann, J., Joseph, S.), pp. 235-282. Routledge, New York, NY.

Munkholm, L.J., Jensen, J.L., Jørgensen, U., Elsgaard, L. (2022). Biochar og jordens kulstofpulje. 11 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 05.07.2022

Olesen, J.E., Petersen, S.O., Lund, P., Jørgensen, U., Kristensen, T., Elsgaard, L., Sørensen, P., Lassen, J. (2018) Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget. Aarhus Universitet. DCA– Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 130 s.– DCA rapport nr. 130.

Sørensen, P., Abalos, D. (2022) Nutrient composition of biochar and effects on nutrient availability and yields. In: Elsgaard L (ed): Knowledge synthesis on biochar in Danish agriculture. Advisory report from DCA - Danish Centre for Food and Agriculture. Chapter 7, pp. 86-95

Taghizadeh-Toosi, A., Olesen, J.E., Kristensen, K., Elsgaard, L., Østergaard, H.S., Lægdsmand, M., Greve, M.H., Christensen, B.T. (2014). Changes in carbon stocks of Danish agricultural mineral soils during 1986 - 2009: effects of management. Europ. J. Soil Sci. 65, 730-740

Thomsen, T.P. (2021). Climate Footprint Analysis of Straw Pyrolysis & Straw Biogas: Assessment of the Danish climate crisis mitigation potential of two new straw management options. Roskilde Universitet.

Woolf, D., Lehmann, J., Ogle, S., et al. (2021). Greenhouse gas inventory model for biochar additions to soil. Environ. Sci. Technol. 55, 1479514805. DOI: 10.1021/acs.est.1c02425

7.6 Braklægning i sædskiftet (KVM7.6)

Forfatter(e): Gitte Blicher-Mathiesen, Institut for Ecoscience og Mathias Neumann Andersen, Institut for Agroøkologi

Fagfællebedømmer: Søren O. Petersen, Institut for Agroøkologi

Med kortvarig brak indgår arealet i omdrift. Braklægning af en mark i et sædskifte indebærer, at arealet ikke dyrkes i en periode af mindst en høstperiode.

7.6.1 Anvendelse

Braklægning af landbrugsjorden har i Danmark haft forskellig fokus og omfang (Hansen et al. 2021b). I 1988/89 indført EU en frivillig braklægning, som efter 1992 blev obligatorisk for at begrænse landbrugsproduktionen, men som igen blev ophævet i 2008. I denne periode gik braklægning fra at være et element i at begrænse landbrugsproduktionen til i højre grad at have fokus på effekt på biodiversitet og miljø. Braklægning for nuværende anvendes til at opfylde krav til udbetaling af grøn støtte og grundbetaling og der er derfor løbende indført, at braklægning kan bruges i forskellige obligatoriske regelsæt som f.eks. miljøfokusområder (MFO) og som alternativ til efterafgrøder. I dag skal bedrifter med mere end 15 ha braklægge 4 % af deres dyrkede areal for at kunne få landbrugsstøtte.

7.6.2 Relevans og potentiale

Det er i dag et krav, at braklagte arealer holdes i en stand, så de nemt kan bringes ind i driften igen. Derfor skal brakmarken enten slås mindst én gang enten i foråret eller sensommeren, eller der skal foretages jordbearbejdning og efterfølgende isåning af en blomsterblanding senest 30. april, som går under betegnelsen bestøverbrak eller blomsterbrak (Landbrugsstyrelsen, 2018). Der kan i efteråret etableres en vinterafgrøde med tilhørende jordbearbejdning og gødskning eller en støtteberettiget permanent afgrøde med henblik på høst det efterfølgende år.

Reference for nitratudvaskning og dyrkningsforhold: I forbindelse med effektfastsættelse af virkemidler, hvor jorden udtages af almindelig landbrugsmæssig drift, er effekten på nitratudvaskning hovedsageligt fastsat i forhold til et modelberegnet gennemsnit for nitratudvaskning fra jord i omdrift. Det gælder f.eks. for skovrejsning, brak og energiafgrøder. I Virkemiddelkataloget fra 2014 (Eriksen et al., 2014) udgjorde referencen for den årlige gennemsnitlige udvaskning for hele landet ca. 62 kg N/ha. Denne udvaskning var beregnet med NLES4-modellen med landbrugsdata for 2007-2011 (Børgesen et al., 2013). En genberegning baseret på data fra 2017 har vist, at den opgjorte referenceudvaskning svarer til ca. 66 kg N/ha for landbrugsafgrøder i omdrift og ca. 61 kg N/ha for hele det dyrkede areal (Gitte Blicher-Mathiesen, AU, upubliceret). Referenceudvaskningen ligger altså reelt på samme niveau som anvendt i Eriksen et al. (2014). Ved den her gennemførte opdatering, er der for de virkemidler, der er fastsat på baggrund af referenceudvaskningen, hovedsageligt taget udgangspunkt i den reviderede værdi på 61 kg N/ha.

Anvendes den gennemsnitlige referenceudvaskning til fastsættelse af en effekt af et givent virkemiddel, antages i princippet, at udbredelsen af virkemidlet er jævnt fordelt uden hensyntagen til bonitet og øvrige dyrkningsforhold. Dette vil ofte ikke være tilfældet i praksis, men en mere detaljeret effektfastsættelse ville forudsætte, at udvaskningen før f.eks. etablering af energiafgrøder og brak blev bestemt for den forudgående arealanvendelse.

Potentiale for virkemidlet brak i sædskiftet udgør omdriftsarealet for det dyrkede areal.

7.6.3 Effekt på drivhusgasudledning

Som omtalt under permanent udtagning KVM8.1 i nærværende rapport og i Blicher-Mathiesen et al., (2020) er der kun ganske få målinger af nitratudvaskning ved kortvarig brak, og alle er gennemført under de tidligere brakordninger før 2008 på arealer i Landovervågningen (Blicher-Mathiesen et al., 2019, 2020). Hansen et al., (2021a) vurderede, at den årlige nitratudvaskningen fra kortvarig brak vil være 3-20 kg N/ha under forudsætning af, at brakken ikke efterfølger afgrøder med meget høj frigivelse af kvælstof fra jorden. Ligeledes fremgår af Hansen et al. (2021), at ompløjning og destruktion af brak forventes at medføre en øget udvaskning i forhold til den periode, hvor brakken var på marken. Den øgede udvaskning vil afhænge af bl.a. artssammensætning, herunder andel af bælgplanter. En analyse af afgrøder efter kortvarig brak fandt at brak historisk set tilsyneladende ikke i stort omfang følger afgrøder med højt mineraliseringspotentiale, hvorved udvaskningen fra brak således forventes at have ligget i intervallet 3-20 kg N/ha som tidligere estimeret (Hansen et al., 2021a). Med en referenceudvaskning på 61 kg N/ha (se kapitlet Koncept for anvendelse og effektfastsættelse af kvælstofvirkemidler, Eriksen et al., 2020) bliver den generelle effekt af brak i sædskiftet en reduktion af udvaskningen med 41-58 kg N/ha.

Effekten vil desuden i betydelig grad afhænge af, om det braklagte areal før braklægning udgjorde et omdriftsareal eller om arealet har været omfattet af miljøordninger, varig græs eller ikke tidligere har været dyrket. For kortvarig brak, der etableres på arealer med græs eller ekstensiv drift, må effekten af braklægning i selve braklægningsåret forventes at være forsvindende lav, og her har braklægningen således ikke nogen funktion som kvælstofvirkemiddel.

På AU igangsattes der i efteråret 2021 nye forsøg med forskellige typer brak på to lokaliteter med bestemmelser af lattergasudledning og kvælstofudvaskning. Disse forsøg vil bidrage med yderligere data, men en egentlig fastsættelse af nitratudvaskning og klimagasudledning vil bl.a. afhænge af, hvilken reference, der anvendes. I en situation, hvor et areal braklægges flere år i træk, vil der ikke være en betydende klimamæssig effekt, hvis der sammenlignes med arealanvendelsen i det foregående år. Sammenlignes brakken i stedet med den alternative anvendelse af arealet, f.eks. jord i omdrift, vil brakken have en effekt hvert år. Reference og opløsningsniveau, herunder om der sammenlignes på mark- eller bedriftsniveau, vil således have betydning for, hvilken effekt braklægning tillægges mht. nitratudvaskning og klimagasudledning.

Kvælstofgødningsinputtet til braklagte arealer er 0 kg N/ha mod 171 kg N/ha i referencesædskiftet (Tabel 7.5). Med hensyn til C-input antages, at det svarer til C-inputtet i planterester i referencesædskiftet, således at jordens kulstofbalance ikke ændres afgørende. Ganske vist tilbageføres hele planteproduktionen til arealet, men denne er til gengæld stærkt nedsat af den mindre N-tilførsel. Hvor meget mindre afhænger dog af jordens dyrkningsstand og mineraliseringsevne. Sammenlignet med korndyrkning

(referencesituationen), kan reduktionen i lattergasemission fra kvælstofgødning, ammoniakfordampning og nitratudvaskning beregnes (se bilag 2) til at være henholdsvis 801, 32 og 108 kg CO_2-ækv/ha. Endvidere vil besparelsen på fossil energi ved undgået dyrkning være 361 kg CO_2-ækv/ha. Samlet vil klimaeffekten være 1302 kg CO_2-ækv./ha.

Tabel 7.5. Oversigt over dyrkningselementer der påvirker emission af klimagasser for brak i sædskiftet.

Dyrkningsforhold for kortvarig brak	Udtaget areal	Reference
N input i handelsgødning	0	171 kg N/ha
N input i planterester	70 kg N/ha	70 kg N/ha
Nitratudvaskning	3-20 kg N/ha	61 kg N/ha
Ammoniakfordampning	0 kg N/ha	6,8 kg N/ha
Kalkning	0 kg CO_2 ækv/ha	94 kg CO_2 ækv/ha
C-lagring	0 kg CO_2 ækv/ha	0 kg CO_2 ækv/ha
Jordbearbejdning	0 kg CO_2 ækv/ha	361 kg CO_2 ækv/ha

7.6.4 Samspil til andre virkemidler

Effekt af kortvaring brak er vurderet ift.en gennemsnitlig udvaskning på 61 kg N/ha for det dyrkede areal. Sker der ændringer I forbruget af gødning, ændringer i sædskiftet eller andre dyrkningsforhold vil disse påvirke denne referenceudvaskning og dermed også effekt af braklægning på udvaskning samt klimaeffekt.

7.6.5 Usikkerheder

Det er usikkert hvor meget længden af braklægningsperioden påvirker klimaeffekten både med hensyn til C binding i jorden og N udledningerne. Det samme gælder for benyttelsen af brakmarkerne. Længerevarende brak må forventes at have større effekt end en en-årig udtagning. Dette gælder i øvrigt også for biodiversiteten. Der er igangværende forsøg, der skal kvantificere indflydelsen på lattergasudledninger og N-udvaskning.

Referencer:

Blicher-Mathiesen, G., Holm, H., Houlborg, T., Rolighed, J., Andersen, H.E., Carstensen, M.V., Jensen, P.G., Wienke, J., Hansen, B., Thorling, L. (2019). Landovervågningsoplande 2018. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 241 s. - Videnskabelig rapport nr. 352. http://dce2.au.dk/pub/SR352.pdf

Blicher-Mathiesen, G., Olesen, J.E., Strandberg, B., Bruus, M., Rubæk, G.H., Hutchings, N.J., Hasler, B., Martinsen, L. (2020). Permanent udtagning og kortvarig brak i omdrift. I: Eriksen, J., Thomsen, I.K., Hoffmann, C.C., Hasler, B., Jacobsen, B.H. (redaktører). Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen

af vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. DCA rapport nr. 174, s. 115-126. https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport174.pdf DCA rapport nr 174.

Børgesen, Christen Duus, Poul Nordemann Jensen, Gitte Blicher-Mathiesen og Kirsten Schelde (editors), 2013. Udviklingen i kvælstofudvaskning og næringsstof-overskud fra dansk landbrug for perioden 2007-2011 Evaluering af implementerede virkemidler til reduktion af kvælstofudvaskning samt en fremskrivning af planlagte virkemidlers effekt frem til 2015. DCA rapport nr. 31.

Eriksen, J., Jensen, P.N., Jacobsen, B.H. (red.) 2014. Virkemidler til realisering af 2. generations vand- planer og målrettet arealregulering. DCA Rapport 052. http://web.agrsci.dk/djfpublikation/djfpdf/Virkemiddelkatalog_web.pdf

Eriksen, J., Thomsen, I.K., Hoffmann, C.C., Hasler, B., Jacobsen, B.H. (2020). Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA– Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 452 s.– DCA rapport nr. 174 https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport174.pdf

Hansen, E.M., Blicher-Mathiesen, G., Thomsen, I.K., Olesen, J.E. (2021a). Kvantificering af effekten af brak – del 1. 8 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 23.02.2021. https://pure.au.dk/portal/files/212154697/Levering_Kvantificering_af_effekten_af_brak_del_1.pdf

Hansen et al., 2021b Hansen, E., Pedersen, B.F., Blicher-Mathiesen, G., Thomsen, I.K. (2021b). Arealhistorikkens betydning for effekt af klima og miljø for braklagte arealer. 27 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationale Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet. https://pure.au.dk/portal/files/223479979/Levering_Arealhistorikkens_betydning_for_effekten_af_klima_og_milj_for_braklagte_arealer.pdf

Landbrugsstyrelsen, 2018. Vejleding om grundbetaling 2018 - og generel vejledning om at søge direkte arealstøtte. Miljø og Fødevareministeriet. 102 sider.

7.7 Ompløjningstidspunkt for fodergræs og efterfølgende afgrødevalg (KVM7.7)

Forfatter(e): Nicholas John Hutchings, Elly Møller Hansen, Ingrid K. Thomsen, alle fra Institut for Agroøkologi

Fagfællebedømmer: Mathias Neumann Andersen, Institut for Agroøkologi

I dette kapitel tages udgangspunkt i den beskrivelse af virkemidlet Ompløjningstidspunkt for fodergræs og efterfølgende afgrødevalg, der fremgår af Hansen et al. (2020). Effekt på drivhusgasudledningen er uændret i forhold til Hansen et al. (2020).

7.7.1 Anvendelse

Virkemidlet "Ompløjningstidspunkt for fodergræs og efterfølgende afgrødevalg" er en sammenskrivning af to virkemidler, dvs. et virkemiddel, der har eksisteret i flere år, nemlig "Forbud mod omlægning af fodergræs" (Landbrugsstyrelsen, 2022) og et nyt potentielt virkemiddel ("Afgrødevalg efter ompløjning"), som yderligere kan reducere risikoen for udvaskning efter ompløjning af kløvergræs. Det eksisterende virkemiddel "Forbud mod omlægning af fodergræs" er generelt set et forbud mod at omlægge fodergræs til anden afgrøde ved pløjning om efteråret. De præcist gældende regler for virkemidlet er beskrevet af Landbrugsstyrelsen (2022). Begge virkemidler vurderes særskilt. Hvis de to virkemidler kombineres, vil den udvaskningsreducerende effekt strække sig over to år.

Sædskifter har betydning for risikoen for udvaskning, da afgrødernes placering i sædskiftet påvirker mængden af kvælstof, der enten mineraliseres eller efterlades til den efterfølgende afgrøde. Desuden har afgrøder forskellig kapacitet til at optage kvælstof om efteråret. Efter afgrøder som fodergræs er det muligt at "tætne" sædskiftet ved at sørge for, at jorden om efteråret efter forårsomlægning er bevokset med en afgrøde, der effektivt kan optage kvælstof. Sammensættes det efterfølgende sædskifte på en måde, så der i stedet for vårbyg f.eks. dyrkes grønkorn med udlæg af en kraftigt voksende græs som italiensk rajgræs, har forsøg omtalt i Hansen et al. (2018) vist meget lav udvaskning.

Hvordan en sædskiftemæssige ændring kan indgå som et virkemiddel er beskrevet af Thomsen et al. (2019). Den sædskiftemæssige ændring består af dyrkning af vår-grønkorn med græsudlæg efter forårsomlægning af græs eller kløvergræs i stedet for dyrkning af silomajs eller vårkorn til modenhed. Virkemidlet er p.t. ikke implementeret.

For det potentielle virkemiddel antages følgende forudsætninger (Thomsen et al., 2019):

1. Alle græsmarker, der indgår i virkemidlet, må tidligst omlægges eller nedvisnes 1. marts.
2. Vår-grønkornet kan gødes med kvælstof efter gældende normer fratrukket gældende forfrugtsværdi.
3. Græsudlægget må ikke gødes eller afgræsses, og der skal som minimum tages ét slæt i udlægsåret, dvs. efter vår-grønkornet er høstet.
4. Der skal etableres udlæg af græs (uden kløver) i vår-grønkornet senest 1 uge efter såning af vårkorn. Græsudlægget skal være en hurtigtvoksende græs som ital. rajgræs eller tidlig tetraploid alm. rajgræs.
5. Vår-grønkornet skal høstes ved begyndende skridning og senest 1. juli.
6. Græsudlægget må ikke omlægges før 1. marts i det efterfølgende år.

7.7.2 Relevans og potentiale

Forbud mod omlægning af fodergræs indgår i gældende lovgivning for konventionelle landbrugere (Landbrugsstyrelsen, 2022). For afgrødevalg efter ompløjning med dyrkning af vår-grønkorn med græsudlæg efter græs eller kløvergræs vurderes det på baggrund af Thomsen et al. (2019), at potentialet for at dyrke grønkorn med græsudlæg i stedet for majs eller vårbyg er 50.000 ha. Vurderingen tager udgangspunkt i, at Thomsen et al. (2019) har opgjort arealet af græs i omdrift til ca. 256.000 ha, og at der årligt omlægges omkring 33 % græsareal, dvs. ca. 84.000 ha, samt at der heraf i gennemsnit omlægges 58 % (27,9 % og 30,4 %), dvs. ca. 50.000 ha, til enten majs eller vårsæd.

7.7.3 Effekt på drivhusgasudledning

Ompløjning af fodergræs

I N-virkemiddelkataloget (Hansen et al., 2020) er estimeret, at den udvaskningsreducerende effekt af forbuddet mod omlægning af fodergræs er 50 kg N/ha, hvilket vil reducere lattergasemissionen med 108 kg CO_2-ækv./ha.

Afgrødevalg efter ompløjning af fodergræs

Ved sædskifteændringer fra vårbyg og silomajs (samme andel af hver afgrøde) til vår-grønkorn med græsudlæg dyrket efter omlægning af græs eller kløvergræs er udvaskningen på baggrund af typetal i gennemsnit antaget reduceret fra 140 til 10 kg N/ha (Thomsen et al., 2019). Der regnes således med en udvaskningsreducerende effekt på 130 kg N/ha, hvilket vil reducere lattergasemissionen med 280 kg CO_2-ækv./ha. Afgrødevalget vil påvirke både det tilladte kvælstofgødningsniveau og udbytteniveau (og dermed kvælstofinput i planterester), men beregning af disse effekter afhænger af en række forudsætninger, der ligger uden for indholdet i denne rapport (se Thomsen et al., 2019).

7.7.4 Samspil til andre virkemidler

Virkemidlet ompløjningstidspunkt for fodergræs og efterfølgende afgrødevalg kan ikke anvendes sammen med andre fladevirkemidler, der involverer plantedyrkning om efteråret. Men virkemidlet kan anvendes samtidigt med fladevirkemidler, der involverer gødskning. I disse tilfælde forventes effekterne ikke at være additive. Reduceret kvælstofudvaskning ved benyttelse af virkemidlet vil betyde, at der kvantitativt kan fjernes mindre kvælstof ved samtidig anvendelse af dræn- og vandløbsvirkemidler.

7.7.5 Usikkerheder

Det er sikkert, at der kan være stor risiko for udvaskning efter ompløjning af kløvergræsmarker, men da der er meget stor variation mellem år og lokaliteter, er den gennemsnitlige værdi behæftet med en del usikkerhed. Der savnes udvaskningsdata for dels ompløjning af græs i renbestand gødet efter gældende

normer dels efter afgræsning. Desuden mangler der data for 2. års udvaskning efter ompløjning af græs eller kløvergræs med forskellig alder.

Referencer:

Hansen, E.M., Thomsen, I.K., Petersen, S.O., Lærke, P.E., Pedersen, B.F., Rasmussen, J., Christensen, B.T., Jørgensen, U., Eriksen, J. (2018). Muligheder for reduktion af næringsstoftab i græsrige sædskifter. Notat til Landbrugsstyrelsen 15. maj 2018. https://pure.au.dk/portal/files/127151867/Besvarelse_Mulighed_for_reduktion_af_n_ringsstoftab_i_gr_srige_s_dskifter.pdf

Hansen, E.M., Thomsen, I.K., Eriksen, J., Rasmussen, J., Olesen, J.E., Jørgensen, U., Kudsk, P., Bruus, M., Strandberg, B., , Rubæk, G.H., Hutchings, N.J., Jacobsen, B.H. (2020). Ompløjningstidspunkt for fodergræs og efterfølgende afgrødevalg. I: Eriksen, J., Thomsen, I.K., Hoffmann. C. C., Hasler, B., Jacobsen, B.H. (redaktører). Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. DCA rapport nr. 174, side 173-184. https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArap-port174.pdf

Landbrugsstyrelsen (2022). Vejledning om pligtige og husdyrefterafgrøder og dyrkningsrelaterede tiltag. Planperioden 1. august 2022 til 31. juli 2023, maj 2022. https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Efterafgroeder_og_jordbearbejdning/Vejledning_efterafgroeder_og_dyrkningsrelaterede_tiltag_for_2022_2023_maj2022.pdf

Thomsen, I.K., Pedersen, B.F., Kristensen, T., Petersen, S.O., Eriksen, J., Hansen, E.M. (2019). Græs som virkemiddel i kvælstofreguleringen (Del 1). Notat til Landbrugsstyrelsen 15. november 2019. https://pure.au.dk/portal/files/172085972/Gr_s_som_virkemiddel_m_bilag1_Nov2019.pdf

7.8 Flerårige energiafgrøder i sædskiftet (KVM7.8)

Forfatter(e): Uffe Jørgensen, Nicholas J. Hutchings, begge fra Institut for Agroøkologi

Fagfællebedømmer: Mathias Neumann Andersen, Institut for Agroøkologi

Flerårige energiafgrøder (f.eks. pil, poppel og elefantgræs) kan bidrage med biomasse til udnyttelse til energi, materialer og biogent CO_2, som kan anvendes til power-to-X eller til negative emissioner (lagring i undergrunden).

7.8.1 Anvendelse

Flerårige energiafgrøder har en række effekter på kvælstof- og kulstofbalancen i marken. Det hænger bl.a. sammen med en lang vækstsæson og et permanent, dybt rodnet, hvilket sikrer en lav kvælstofudvaskning samt andre økosystemtjenester (Pugesgaard et al., 2014; Cacho et al., 2018). Flerårige energiafgrøder kan

derfor benyttes til plantning i områder, hvor der er behov for reduktion i nitratudvaskningen for at opfylde EU's Vandrammedirektiv (Børgesen et al., 2018). Afgrøderne har relativt lave N-behov, og dermed forventes en mindre lattergasemission end fra et traditionelt landbrugssædskifte. De græsagtige afgrøder høstes årligt, mens de træagtige høstes med et interval på mellem 2 og 10 år (poppel kan dog dyrkes i endnu længere rotation). Afgrødernes levetid forventes at være på 10-30 år.

7.8.2 Relevans og potentiale

I 2022 er der registreret 4.913 ha med pil, 3.217 ha med poppel samt 87 ha med elefantgræs, der modtager hektartilskud (Landbrugsstyrelsen, 2022b). Det meste elefantgræs dyrkes til tækkeformål (supplement til tagrør), hvilket forventes at give samme effekt på klimaet som elefantgræs til energi.

Over de seneste år har interessen for at plante biomasseafgrøder med fokus alene på energiudnyttelse været for nedadgående, og arealerne har været svagt faldende. Det hænger sammen med, at der indtil 2022 var rigeligt med andre biomassekilder til rådighed, og priserne derfor har været lave. Samtidigt har den store anvendelse af biomasse i kraftvarmesektoren primært været drevet af træpillefyring, hvilket de små kvantiteter af energiafgrøder i Danmark ikke har egnet sig til at bidrage til. Inden for det seneste år har prisforholdene ændret sig drastisk på både biomasse, fødevarer og inputfaktorer, specielt gødning. Det er derfor p.t. ganske svært at vurdere, hvilken vej udviklingen vil gå fremover.

Potentialet for udnyttelse af træbiomasse til energi er stort i fjernvarme- og kraftvarmeværker. Der er dog visse kvalitetsmæssige udfordringer, som skal håndteres ved omstilling fra enten skovflis eller træpiller til pile- eller poppelflis, hvilket oftest afspejles i en lidt lavere afregningspris. Klimarådet (2020) har inkluderet et scenarie med 25.000 ha energipil. At opnå en sådan større arealændring vil dog kræve en række tiltag implementereret parallelt (se forslag i Larsen et al., 2015), hvis landmændene skal føle et incitament for at plante en kultur med en lang afbetalingshorisont.

Elefantgræs kan være relevant til biogasudnyttelse, men ellers er det mere sandsynligt, at der vil blive dyrket elefantgræs til tækning (se www.miscanthus.dk), hvilket har en langt højere markedsværdi. Forsyning af det nordeuropæiske marked med elefantgræs til tækning vurderes at kunne ske fra ca. 8.000 ha. Tækning i byggesektoren er én måde at øge anvendelsen af biogene materialer i byggeriet, hvorved der kan lagres CO_2 over en lang periode, og materialer med højt CO_2-aftryk kan erstattes (Rasmussen et al., 2022).

7.8.3 Effekt på drivhusgasudledning

I det følgende er regnet på effekter af piledyrkning, som er den arealmæssigt største afgrøde i dag. Andre flerårige energiafgrøder (fx poppel og elefantgræs) kan afvige en smule herfra, men det vurderes at være indenfor usikkerheden på estimatet. Der regnes med en gødningsnorm på 120 kg N/ha til pil på alle jordtyper (Landbrugsstyrelsen, 2022c). De afgrøder, som pilen vil afløse, antages at være et standard kornsædskifte, der i gennemsnit har en norm på 171 kg N/ha i 2022 (Mikkelsen et al., 2022), hvorved der

fås en gødningsbesparelse på 51 kg N/ha. Antages en ammoniakfordampning på 4% af udbragt N i handelsgødning fås en reduktion på 2 kg N/ha. Der er beregnet et lavere input i planterester (minus 21 kg N/ha) i forhold til en almindelig kornafgrøde, se afsnit 4.2.5. Der regnes med en gennemsnitlig reduktion i N-udvaskning på 51 kg N/ha for sandjord og 35 kg N/ha for lerjord baseret på Eriksen et al. (2020). Dette giver reduktioner i lattergasemissioner svarende til 239, 10, 98 og 97 kg CO_2-ækv/ha/år for henholdsvis reduceret gødsking og ammoniakfordampning, færre planterester og reduceret nitratudvaskning.

Energiforbruget ved almindelig korndyrkning antages at svare til 361 kg CO_2/ha/år (afsnit 4.2.5), og dette kan reduceres til 160-180 kg CO_2/ha/år ved piledyrkning (Sørensen et al., 2014; Sopegno et al., 2016). Ved anvendelse af 170 kg CO_2/ha/år opnås en årlig besparelse på 191 kg CO_2/ha ved omlægning fra korndyrkning til flerårige energiafgrøder.

Flerårige energiafgrøder er tidligere beregnet at øge jordens kulstofindhold sammenlignet med almindelig korndyrkning uden efterafgrøder svarende til en binding på 1,57 ton CO_2/ha/år (Olesen et al., 2013). Der er dog betydelig usikkerhed omkring denne størrelse, da der kan findes meget forskellige resultater i litteraturen. Pugesgaard et al. (2014) var i god overensstemmelse med ovenstående, idet CO_2 lagring på 0,77-2,24 ton CO_2/ha/år blev beregnet for henholdsvis ældre og yngre pilebeplantninger, mens der ved hvededyrkning blev beregnet et fald i jordens kulstoflagring svarende til 0,59 ton CO_2/ha/år. På den anden side finder Georgiadis et al. (2017) stigninger på i gennemsnit 0,66 ton CO_2/ha/år efter omlægning af pil og poppel fra enårige afgrøder, mens Morrison et al. (2019) finder en stigning på ca. 0,73 ton CO_2/ha/år. Georgiadis et al. (2017) gennemførte en grundig analyse af 26 marker med pil og poppel, hvor der blev taget højde for den ændring i jordens densitet, som opstår over tid ved fravær af jordbearbejdning. Resultaterne viste et højere kulstofindhold (i forhold til nabomarker med enårige landbrugsafgrøder) i de øverste 10 cm efter op til omkring 30 år efter omlægningen, mens der var meget lille effekt, når hele jordprofilen blev inddraget. Der tages her udgangspunkt i undersøgelsen af Georgiadis et al. (2017), og der regnes med en forøgelse af jordens kulstofindhold ved omlægning til flerårige energiafgrøder svarende til 0,66 ton CO_2/ha/år.

Den samlede effekt af omlægning til energiafgrøder er årlige reduktioner på ca. 1,3 ton CO_2-ækv/ha.

7.8.4 Samspil til andre virkemidler

Flerårige energiafgrøder kan erstatte kravet om efterafgrøder, hvis de er anlagt efter planperioden 2008/09 (Landbrugsstyrelsen, 2022a). Omregningsfaktoren for etablering af energiafgrøder, som alternativ til etablering af pligtige efterafgrøder, er 0,8:1, hvilket betyder, at man skal udlægge 0,8 ha energiafgrøder for at erstatte 1 ha efterafgrøder.

7.8.5 Usikkerheder

Flerårige energiafgrøder forventes at opbygge organisk stof i jorden, men de seneste målinger har vist mindre opbygning end tidligere antaget. Beregninger af ændringer over tid er dog meget påvirket af evt. samtidige ændringer i jordens densitet, som påvirker massen af jord analyseret ved fast prøvetagningsdybde (Georgiadis et al., 2017), og dette bør undersøges nærmere. Stigning i jordens indhold af organisk stof ved overgang til ændret dyrkningsform vil fortsætte i en årrække, hvorefter en ny ligevægt forventes at indtræffe. Længden af denne overgangsperiode kan variere fra 20-100 år alt efter hvor store ændringer i C-input til jorden, der er ved overgangen samt jordtype, klima m.m. (Jensen et al., 2022).

Pil har en N-kvote på 120 kg N/ha. Der er dog tegn på, at det er i overkanten – i hvert tilfælde på bedre jorder (egne observationer). En reduktion til fx 75 kg N/ha, svarende til normen for elefantgræs og elletræer (Landbrugsstyrelsen, 2022c), vil reducere det beregnede lattergasbidrag med yderligere 211 kg CO_2-ækv/ha/år.

Referencer:

Børgesen, C.D., Dalgaard, T., Pedersen, B.F., Kristensen, T., Jacobsen, B.H., Jensen, J.D., Gylling, M., Jørgensen, U. (2018). Kan reduktionsmålsætninger for nitratudvaskning til Limfjorden opfyldes ved øget dyrkning af biomasse. DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. DCA rapport Nr. 131.

Cacho, J.F., Negri, M.C., Zumpf, C.R., Campbell, P. (2018). Introducing perennial biomass crops into agricultural landscapes to address water quality challenges and provide other environmental services. WIREs Energy Environ 2018, 7:e275.

Georgiadis, P., Vesterdal, L., Stupak, I., Raulund-Rasmussen, K. (2017). Accumulation of soil organic carbon after cropland conversion to short-rotation willow and poplar. Global Change Biology Bioenergy 9, 1390-1401.

Jensen, J.L., Eriksen, J., Thomsen, I.K., Munkholm, L.J., Christensen, B.T. (2022). Cereal straw incorporation and ryegrass cover crops: the path to equilibrium in soil carbon storage is short. European Journal of Soil Science, 73(1), [e13173]. https://doi.org/10.1111/ejss.13173

Klimarådet (2020). Kendte veje og nye spor til 70 procents reduktion - Retning og tiltag for de næste ti års klimaindsats i Danmark. Klimarådet, 154 s.

Landbrugsstyrelsen (2022a). Alternativer til efterafgrøder 2022. Notat af maj 2022, https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Efterafgroeder_og_jordbearbejdning/Faktaark_-_alternativer_til_efterafgroeder_2022.pdf

Landbrugsstyrelsen (2022b). Opgørelse af afgrødefordeling 2022. Notat af 15. juli, https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Tilskud/Arealtilskud/Direkte_stoette_-_grundbetaling_mm/2022/Opgoerelse_af_afgroedefordelingen_2022.pdf

Landbrugsstyrelsen (2022c). Vejledning om gødsknings- og harmoniregler Planperioden 1. august 2022 til 31. juli 2023. 162 pp, https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Goednings-regnskab/Vejledning_om_goedskning_og_harmoniregler_2022_2023.pdf

Larsen S.U., Pedersen J., Hinge J., Rasmussen H.K., Damgaard C., Jørgensen U., Lærke P.E., Knudsen M.T., De Rosa M., Hermansen J.E., Jørgensen K., Holbeck H.B., Løbner R., Eide T., Birkmose T.S. (2015). Kortlægning af potentiale og barrierer ved energipil. Energistyrelsen. 161 s.

Mikkelsen, M.H., Albrektsen, R., Gyldenkærne, S. (2022). Sammenligning af klimaeffekter - Emissionsopgørelse, emissionsfremskrivning og Klimaeffekttabel. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 166 s. - Videnskabelig rapport nr. 501 http://dce2.au.dk/pub/SR501.pdf

Morrison, R., Rowe, R.L., Cooper, H.M., McNamara, N.P. (2019). Multi-year carbon budget of a mature commercial short rotation coppice willow plantation. GCB Bioenergy 11, 895-909.

Olesen, J.E., Jørgensen, U., Hermansen, J.E., Petersen, S.O., Eriksen, J., Søegaard, K., Vinther, F.P., Elsgaard, L., Lund, P., Nørgaard, J.V., Møller, H.B. (2013). Effekter af tiltag til reduktion af landbrugets udledninger af drivhusgasser. Aarhus Universitet, DCA Rapport nr. 27.

Pugesgaard, S., Schelde, K., Larsen, S.U., Lærke, P.E., Jørgensen U. (2014). Comparing annual and perennial crops for bioenergy production – influence on nitrate leaching and energy balance. Global Change Biology Bioenergy 7, 1136-1149.

Rasmussen, T.V., Thybring, E.E., Munch-Andersen, J., Nord-Larsen, T., Jørgensen, U., Gottlieb, S.C., Bruhn, A., Rasmussen, B., Beim, A., Thomsen, M.R., Munch-Petersen, P., Primdahl, M.B., Bentsen, N.S., Frederiksen, N., Koch, M., Beck, S.A., Bretner, M.-L., Wittchen, A. (2022). Biogene materialers anvendelse I byggeriet. BUILD Rapport 2022:09 Institut for Byggeri, By og Miljø, Aalborg Universitet, 209 pp.

Sopegno, A., Rodias, E. , Bochtis, D., Busato, P., Berruto, R., Boero, V., Sørensen, C. (2016). Model for Energy Analysis of Miscanthus Production and Transportation. Energies 2016, 9, 392; doi:10.3390/en9060392

Sørensen, C.G., Halberg, N., Oudshoorn, F.W., Petersen, B.M., Dalgaard R. (2014). Energy Inputs and GHG Emissions of Tillage Systems. Biosystems Engineering, Volume 120, April 2014, Pages 2–14

7.9 Pløjefri dyrkning og forbud mod jordbearbejdning i visse perioder (KVM7.9)

Forfatter(e): Lars J. Munkholm og Elly Møller Hansen, begge fra Institut for Agroøkologi

Fagfællebedømmer: Mathias Neumann Andersen, Institut for Agroøkologi

Pløjefri dyrkning og forbud mod jordbearbejdning i visse perioder indbefatter en reduceret intensitet af jordbearbejdningen eller ingen jordbearbejdning i hele sædskiftet eller i givne perioder af året. Det antages, at omsætningen af organisk stof i jorden – og dermed frigørelsen af kulstof og kvælstof - mindskes ved

pløjefri dyrkning og forbud mod jordbearbejdning i visse perioder i forhold til et traditionelt system med stubbearbejdning og pløjning (Myrbeck, 2014). Det fremhæves af Myrbeck (2014), at jordbearbejdningens effekt på mineraliseringen er kompleks, og at effekten afhænger af både tid og sted.

7.9.1 Anvendelse

Pløjefri dyrkning

Traditionel jordbearbejdning under danske forhold består af pløjning (vendende jordbearbejdning) til 20-25 cm dybde, såbedstilberedning i 5-10 cm dybde og afsluttes med såning. Pløjefri dyrkning betegner et dyrkningssystem, hvor afgrøderne etableres uden anvendelse af pløjning. Det praktiseres normalt ved at foretage én eller flere harvninger forud for såning. Dette system betegnes ofte "reduceret jordbearbejdning". I den internationale litteratur benyttes betegnelsen "reduceret jordbearbejdning" også i tilfælde, hvor stubbearbejdning undlades efter høst, mens pløjning foretages om vinteren eller om foråret (her kaldet "pløjning uden stubbearbejdning"). Direkte såning ("No-tillage", "direct drilling") betegner den mindst intensive form for pløjefri dyrkning – her etableres afgrøden uden forudgående jordbearbejdning før såning og ved minimal jordforstyrrelse ved såningen. I den internationale litteratur anvendes ofte begreberne "Conservation tillage" og "Conservation agriculture". Conservation tillage beskriver et system, som mindsker følsomheden over for vind- og vanderosion og indbefatter generelt, at der er minimum 30% dække af afgrøderester på jordoverfladen efter høst (Carter, 2005) Dette kan opnås ved enten direkte såning eller reduceret jordbearbejdning med lav intensitet. Conservation agriculture beskriver et dyrkningssystem der omfatter: 1. minimal jordbearbejdning (dvs. direkte såning), 2. permanent jorddække med planterester eller levende planter og 3. alsidige sædskifter og samdyrkning af afgrøder (http://www.fao.org/conservation-agriculture/overview/principles-of-ca/en/).

Forbud mod jordbearbejdning i visse perioder

Virkemidlet "Forbud mod jordbearbejdning i visse perioder" er implementeret i gældende lovgivning under overskriften "Forbud mod jordbearbejdning forud for vårsåede afgrøder" (Landbrugsstyrelsen, 2022). Der gælder en række undtagelser for forbuddet mod jordbearbejdning i forbindelse med dyrkning af visse afgrøder. Økologisk jordbrugsproduktion er generet undtaget (Landbrugsstyrelsen, 2022).

7.9.2 Relevans og potentiale

Ifølge Danmarks statistik blev der i 2021 dyrket 575.053 ha med pløjefri dyrkning, hvoraf de 499.957 ha var med reduceret jordbearbejdning og de 75.097 ha uden bearbejdning af hele jordoverfladen (direkte såning) ud af et samlet dyrket areal på 2.618.399 ha (Danmarks Statistik, landbrugs- og gartneritællingen). Hvis arealet med afgrøder udenfor omdrift, græs indenfor omdriften og braklægning fratrækkes det samlede, dyrkede areal er der 2.026.984 ha, hvor der årligt etableres en afgrøde (potentielt pløjet areal). Arealet

med reduceret jordbearbejdning og direkte såning udgør således henholdsvis ca. 25 og 4 % af det årligt bearbejdede/tilsåede areal. Resten (1.451.930 ha) antages at være pløjet i 2021.

Forbud mod jordbearbejdning forud for vårsåede afgrøder er implementeret som et virkemiddel for hele landet. Ved etablering af forårssået afgrøde bliver der i mange tilfælde etableret en efterafgrøde som indarbejdes sent efterår/tidlig vinter (tidligst 20. oktober, Landbrugsstyrelsen, 2022) eller tidligt forår. Hvis der ikke dyrkes en efterafgrøde, må der i følge Landbrugsstyrelsen (2022) først jordbearbejdes efter 1. oktober (JB7-9), 1. november (JB 5-6 og JB 10-11) eller 1. februar (JB 1-4).

7.9.3 Effekt på drivhusgasudledning

Pløjefri dyrkning forårsager normalt en omfordeling af kulstoffet imellem jordlagene (Gómez-Muñoz et al., 2021). Den samlede effekt på kulstoflagringen i jordprofilen er imidlertid variabel og afhængig af de specifikke forhold (Ogle et al., 2019). Sun et al. (2020) viser, at effekten af pløjefri dyrkning aftager med øget nedbør/koldere klima og den er meget lille under kolde og nedbørsrige forhold som de danske. Det bekræftes af danske studier (Gómez-Muñoz et al., 2021; Hansen et al., 2015; Schjønning og Thomsen, 2013). Munkholm et al. (2020) vurderede, at den direkte effekt af reduceret jordbearbejdning eller direkte såning på kulstoflagring er begrænset sammenlignet med pløjet. Dog viser Gómez-Muñoz et al. (2021), at der en tendens til øget kulstoflagring for direkte sået i forhold til pløjet efter 17 års forsøg.

Lattergasemission under omsætningen af planterester (halm, efterafgrøder) vil muligvis påvirkes af forskellen i nedbrydningsforholdene mellem pløjet og reduceret jordbearbejdning/direkte såning. I den internationale litteratur er der mht. lattergasemission fundet færre positive og flere negative resultater (øget emission) ved pløjefri dyrkning sammenlignet med pløjning (Mei et al., 2018). Under danske forhold – veldrænede jorde med relativt lavt lerindhold - er der derimod fundet lavere lattergasemission ved pløjefri dyrkning end for pløjet i en række kortvarige studier målt i et langvarigt sædskifte- og jordbearbejdningsforsøg (CENTS) i Foulum (Chatskikh & Olesen, 2007; Chatskikh et al., 2008; Mutegi et al., 2010; Petersen et al., 2011; Taghizadeh-Toosi et al., 2022). Bedre iltforsyning ved omsætning af planterester placeret på eller nær overfladen i pløjefri dyrkning er formentlig årsagen til dette. Der er behov for undersøgelser på flere jordtyper i og flere perioder for at kvantificere om ovennævnte målinger i Foulum forsøget er generelt gældende under danske forhold. Da den nuværende metode til at beregne lattergasemission kun er baseret på N-input i planterester, vil emissionen i den nationale emissionsopgørelse være upåvirket af jordbearbejdningsmetode.

Der vil være en reduktion i det fossile energiforbrug til jordbearbejdning. De sparsomme udenlandske data er svære at fortolke i en dansk sammenhæng, da deres produktionssystemer afviger fra de danske. En tidligere dansk undersøgelse skønnede reduktionen i det fossile energiforbrug til jordbearbejdning til at være 22-60 % for reduceret jordbearbejdning og 70 % for direkte såning sammenlignet med pløjning (Olesen et al., 2005). Senere har Sorensen et al. (2014) beregnet en gennemsnitlige reduktion i dieselforbrug

der var 21 og 43 % for henholdsvis reduceret jordbearbejdning og direkte såning sammenlignet med pløjning. Dieselforbruget til markarbejde udgør cirka 70 % af det totale fossile energiforbrug. Dermed er reduktionen i emission fra energiforbruget estimeret til 51 og 102 kg CO_2 ækv/ha for henholdsvis reduceret jordbearbejdning og for direkte såning.

Da det ikke forventes, at reduceret jordbearbejdning og direkte såning har effekt på input af kvælstof i handels- og husdyrgødning eller på udvaskningen, vil virkemidlet ikke påvirke de direkte og indirekte lattergasemissioner herfra.

Forbud mod jordbearbejdning forud for etablering af forårssåede afgrøder betyder at der enten etableres en efterafgrøde eller at der vokser ukrudt og spildkorn på jorden. For efterafgrøder henvises til særskilt afsnit om dette. Klimaeffekterne af ukrudt og spildkorn forventes at ligge imellem effekter af efterafgrøder og af bar (pløjet) jord.

7.9.4 Samspil til andre virkemidler

Hvor direkte såning kombineres med alsidige sædskifter, efterafgrøder og efterladelse af halm (Conservation Agriculture) er der overlap i forhold til virkemidlerne efterafgrøder, mellemafgrøder og nedmuldning af halm. Det vurderes, at den primære drivhusgaseffekt af Conservation Agriculture kan tillægges effekt af sædskifte, efterladelse af halm og efterafgrøder.

7.9.5 Usikkerheder

Den vurderede effekt af reduceret jordbearbejdning og direkte såning baserer sig på afsluttede og igangværende danske forsøg samt på øvrige erfaringer fra Nordeuropa. Den samlede effekt af reduceret jordbearbejdning/direkte såning i kombination med alsidige sædskifter, efterafgrøder og efterladelse af halm (Conservation Agriculture) er mindre godt belyst, idet kun enkelte kombinationer af sædskifte, jordbearbejdning og jorddække er blevet undersøgt.

Referencer:

Carter, M.R. (2005). Conservation tillage. In: Hillel, D. (Ed.), Encyclopedia of Soils in the Environment. Elsevier, Oxford, pp. 306-311.

Chatskikh, D., Olesen, J.E. (2007). Soil tillage enhanced CO2 and N2O emissions from loamy sand soil under spring barley. Soil and Tillage Research, 97(1), 5-18.

Chatskikh, D., Olesen, J.E., Hansen, E.M., Elsgaard, L., Petersen, B.M. (2008). Effects of reduced tillage on net greenhouse gas fluxes from loamy sand soil under winter crops in Denmark. Agriculture, Ecosystems & Environment, 128(1-2), 117-126.

Gómez-Muñoz, B., Jensen, L.S., Munkholm, L., Olesen, J.E., Hansen, E.M., Bruun, S. (2021). Long-term effect of tillage and straw retention in conservation agriculture systems on soil carbon storage. Soil Science Society of America Journal, n/a(n/a). https://doi.org/https://doi.org/10.1002/saj2.20312

Hansen, E.M., Munkholm, L.J., Olesen, J.E., Melander, B. (2015). Nitrate leaching, yields and carbon sequestration after noninversion tillage, catch crops, and straw retention. Journal of Environmental Quality 44, 868-881.

Landbrugsstyrelsen (2022). Vejledning om pligtige og husdyrefterafgrøder og dyrkningsrelaterede tiltag. Planperioden 1. august 2022 til 31. juli 2023. https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Efterafgroeder_og_jordbearbejdning/Vejledning_efterafgroeder_og_dyrkningsrelaterede_tiltag_for_2022_2023_maj2022.pdf

Mei, K., Wang, Z., Huang, H., Zhang, C., Shang, X., Dahlgren, R.A., Zhang, M., Xia, F. (2018). Stimulation of N2O emission by conservation tillage management in agricultural lands: A meta-analysis. Soil and Tillage Research, 182, 86-93. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.still.2018.05.006

Munkholm, L.J., Hansen, E.M., Melander, B., Kudsk, P., Jørgensen, L.N., Heckrath, G.J., Ravnskov, S., Axelsen, J.A. (2020). Vidensyntese om Conservation Agriculture. DCA rapport, nr. 177, DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, https://dcapub.au.dk/djfpublikation/index.asp?action=show&id=1455

Mutegi, J.K., Munkholm, L.J., Petersen, B.M., Hansen, E.M., Petersen, S.O. (2010). Nitrous oxide emissions and controls as influenced by tillage and crop residue management strategy. Soil Biology & Biochemistry, 42(10), 1701-1711.

Myrbeck, Å. (2014). Soil tillage influences on soil mineral nitrogen and nitrate leaching in Swedish arable soils. Ph.d.-afhandling nr. 2014:71 ved Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Soil and Environment, Uppsala.

Ogle, S.M., Alsaker, C., Baldock, J., Bernoux, M., Breidt, F.J., McConkey, B., Regina, K., Vazquez-Amabile, G.G. (2019). Climate and Soil Characteristics Determine Where No-Till Management Can Store Carbon in Soils and Mitigate Greenhouse Gas Emissions. Scientific Reports 9.

Olesen, J.E., Hansen, E.M., Elsgaard, L. (2005). Udledning af drivhusgasser ved pløjefri dyrkningssystemer, I: Olesen, J.E. (Ed.), Drivhusgasser fra jordbruget - reduktionsmuligheder: Foulum. DJF rapport, Markbrug nr. 113.

Petersen, S.O., Mutegi, J.K., Hansen, E.M., Munkholm, L.J. (2011). Tillage effects on N(2)O emissions as influenced by a winter cover crop. Soil Biology & Biochemistry, 43(7), 1509-1517.

Schjønning, P., Thomsen, I.K. (2013). Shallow tillage effects on soil properties for temperate-region hard-setting soils. Soil and Tillage Research 132 (0):12-20.

Sorensen, C.G., Halberg, N., Oudshoorn, F.W., Petersen, B.M., Dalgaard, R. (2014). Energy inputs and GHG emissions of tillage systems. Biosystems Engineering 120 2-14.

Sun, W., Canadell, J.G., Yu, L., Yu, L., Zhang, W., Smith, P., Fischer, T., Huang, Y. (2020). Climate drives global soil carbon sequestration and crop yield changes under conservation agriculture. Global Change Biology n/a (n/a). doi:10.1111/gcb.15001

Taghizadeh-Toosi, A., Hansen, E.M., Olesen, J.E., Baral, K.R., Petersen, S.O. (2022). Interactive effects of straw management, tillage, and a cover crop on nitrous oxide emissions and nitrate leaching from a sandy loam soil. Science of the Total Environment, 828, 154316. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154316

7.10 Præcisionsjordbrug (KVM7.10)

Forfatter(e): Michael Nørremark, Institut for Elektro- og Computerteknologi

Fagfællebedømmer: Mathias Neumann Andersen, Institut for Agroøkologi

Præcisionslandbrug gør det muligt at tilpasse beslutninger om landbrugsdrift i forhold til geografiske og tidsmæssige variable for f.eks. jordbundsforhold, maskiner, plantevækst, samt forekomst af ukrudt, sygdomme og skadedyr. Stedspecifikke registreringer, satelitter, sensorer, prøveudtagninger og styring af maskiner gør det muligt at behandle en vilkårlig mark som en heterogen enhed. Gennem målrettet brug af input, reducerer præcisionslandbrug derved både variable driftsomkostninger og miljøomkostninger. Præcisionsjordbrug fremstilles ofte som en metode til at øge effektiviteten i jordbruget, altså at producere den samme mængde med mindre indsats, eller en større mængde med samme indsats. I forhold til udledninger af lattergas er det især interessant, om der vil ske en reduktion i den samlede kvælstofanvendelse eller i kvælstoftabet.

7.10.1 Anvendelse

Præcisionsjordbrug dækker over flere teknologier og principper, som benævnes delvirkemidler i det følgende. Præcisionsgødskning defineres som to teknologier (som også gjort i ICF International, 2016) og energioptimeret markarbejde defineres også som to teknologier:

- Præcis spredning, hvor gødningsudstyret for uorganisk såvel som for organiske gødninger sikrer, at gødningen ved hjælp af auto- og sektionsstyring minimerer overlap ved gødskning. Omfatter også spredning med kantspredningsudstyr, hvorved granuleret kunstgødning ikke spredes til andre biotoper uden for markskel.

- Behovs- og positionsbestemt gødningstildeling er behovsbestemt gødskning kombineret med positionsbestemt tildeling baseret på bestemmelse af afgrødens næringsmæssige tilstand. Dette indebærer en gradueret tildeling af gødning inden for marken med henblik på at tilpasse

tildelingen til det lokale kvælstofbehov, så kvælstofudnyttelsen på markniveau optimeres. Tildeling på baggrund af enten markvariationsdata i forhold til jordbund og/eller via sensorer, hvor det aktuelle gødningsbehov bestemmes. Uanset bedriftstype vil det være nødvendigt med mere præcis fastsættelse af udbyttepotentiale på markniveau. Fastsættelse af forventet udbytteniveau kombineret med forståelse for variationen i kvælstofbehov på markniveau vil imidlertid kunne optimere udnyttelsen af det tilførte kvælstof i variable mængder og dermed reducere kvælstoftablet (Nørremark et al., 2020).

- Maskin- og flådestyring omfatter overvågning af landbrugsmaskiner og udstyr i realtid, herunder position, ruteforslag og effektivitet.

- Beslutningsstøttesystemer til brændstofoptimering for indstillinger af maskiners funktioner, jordbearbejdningsdybde, dæktryk m.v i realtid. Omfatter målinger som foretages af maskiners elektronik under markarbejdet og som via software omsættes til beslutningsstøtte vist direkte på skærme/terminaler på maskinerne.

Behovs- og positionsbestemt tildeling anvendes i praksis ved udbringning af handelsgødning. Tildelingsprincipperne er også relevante i forhold til husdyrgødning. Sektionsafblænding på udstyr til udbringning af flydende såvel som fast husdyrgødning er teknisk set forskellige, alt afhængig af om sektionsstyringen sker manuelt eller positionsbestemt og automatisk. De markedsførende producenter af udstyr til udbringning af husdyrgødning er inden for de senere år begyndt at tilbyde positionsbestemt og automatisk sektionsstyring/sektionsafblænding. Ved gradueret tilførsel af handelsgødning vil der være tale om spredning af et ensartet produkt med fuld plantetilgængelighed, mens der ved gradueret tilførsel af husdyrgødning vil være betydelig større inhomogenitet i de anvendte gødninger samt varierende indhold af plantetilgængeligt kvælstof. Opnåelse af samme effekt ved gradueret tilførsel af husdyrgødning som med handelsgødning forudsætter stor omhu i prøvetagning og analysering af husdyrgødningen, samt at der tages hensyn til analyseresultaterne, dvs. indholdet af NH_4-N, ved den graduerede tilførsel (Nørremark et al., 2020).

7.10.2 Relevans og potentiale

Flere internationale undersøgelser har vurderet, at præcisionsjordbrug kan være et effektivt virkemiddel til emissionsreduktioner (fx Glenn et al., 2021; Finger et al., 2019, Rees et al., 2020; Sehy et al., 2003; Balafoutis et al., 2017). National bekendtgørelse om næringsstofreducerende tiltag og dyrkningsrelaterede tiltag i jordbruget for planperioden 2022/2023 har optaget behovs- og positionsbestemt gødskning, samt sektions- og autostyring som alternative tiltag til efterafgrøder i forholdet 11 ha for reduktion af 1 ha i efterafgrødekravet (retsinformation (Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, 2022). Præcisionsjordbrug forstås i den følgende sammenhæng som teknologier, der tillader en mere behovsbestemt variation af tildelingen af input (fx gødning, pesticider og vanding) udbragt til marker, samt

præcise styre- og beslutningssystemer for at minimere eksempelvis tildelingsoverlap og brændstofforbrug. I forhold til udledninger af klimagasser, er det især den variable tildeling af kvælstofgødninger, der er interessant, da denne er kilde til både direkte og indirekte lattergasemissioner. Hvis præcisionsjordbrug kan øge kvælstofudnyttelsen af kvælstofgødninger og/eller reducere kvælstofudvaskningen, vil det kunne reducere de relaterede lattergasudledninger tilsvarende. I forhold til udledning af CO_2 er det forbruget af fossile brændstoffer for dyrkning af afgrøder som er interessant i forhold til nyere teknologier og beslutningsstøttesystemer som kan reducere brændstofforbruget. Det direkte brændstofforbrug for at dyrke 1 ha korn er sidst opgjort i 2005 (Dalgaard et al., 2002), og udgør ca. 70 l diesel for jordbearbejdning, plantepleje, høst og halmbjergning, og transport til/fra mark, eksklusive udbringning af husdyrgødning (0,3 (flydende) – 0,6 (fast) l diesel/tons (Dalgaard et al. (2002), dvs. ved 30 tons/ha udgør udbringning af husdyrgødning ca. 9-18 l diesel/ha). Det vurderes ikke at strukturudviklingen mht. mekanisering og dyrkningsteknikker i landbruget har ændret væsentligt ved det direkte brændstofforbrug per ha i kornafgrøder siden opgørelsen i 2002. Maskin- og flådestyring omfatter overvågning af landbrugsmaskiner og udstyr i realtid, herunder position, ruteforslag og effektivitet. Denne teknologi sørger for at øge ressourceudnyttelsen og reducere mængden af brændstof i forbindelse med mark- og transportarbejde med landbrugsmaskiner, lastbiler m.v.. Tilpasset og visualiseret køreteknik, hastighed og korrekt indstilling på maskiners skærme/terminaler reducerer brændstofforbruget og dermed CO_2-udledningen. Lavere motoromdrejninger, korrekt jordbearbejdningsdybde, og korrekt dæktryk er nogle få eksempler på åbenlyse fokusområder der kan sænke brændstofforbruget. Førere af maskiner bliver undervejs i markarbejdet anvist nye og optimerende indstillinger på baggrund af maskinernes målinger og beslutningsstøttemodeller foreslår ændringer under kørslen for at spare brændstof og/eller øge kapaciteten. Systemet måler kontinuerligt om ændringerne har effekt på brændstof og kapacitet, og erfaringen er at små optimeringer betyder større brændstofbesparelser (DLG, 2021).

7.10.3 Effekt på drivhusgasudledning

Forudsætninger:

Ved vurdering af effekter af præcisionsjordbrug på udledninger af lattergas tages her udgangspunkt i en økonomisk optimal kvælstofnorm på 183,3 kg N/ha i 2021 estimeret på baggrund af aktuel afgrødefordeling (Danmarks Statistik, 2022) og lineær udvikling af økonomisk optimal kvælstofnorm over årene 2006-2019 (Blicher-Mathiesen et al., 2020). Med indførsel af målrettet regulering vurderer Olesen et al. (2018) at det økonomisk optimale N-mængde reduceres med 7% for at tage hensyn til effekterne af denne regulering i de oplande som vil blive påvirket af reguleringen. Dette giver en gennemsnitlig kvælstofanvendelse på 170 kg N/ha. Ifølge Danmarks statistik blev der dyrket afgrøder uden pløjning på 499.957 ha i 2021 (Danmarks Statistik), hvor det samlede dyrkede areal med landbrugsafgrøder udgjorde 2.258.674 ha i 2021. For omregning af diesel til CO_2 ækvivalenter er faktor 2,66 kg CO_2/l diesel anvendt (se afsnit for beregningersgrundlag)

Reduceret overlap ved N gødskning (direkte N_2O emission):

En reduktion af dette som følge af reduceret overlap ved brug af autostyring og sektionsstyring, dvs. 3,5 % plus 6,5 %, stemmer totalen nogenlunde overens med et finsk studie, hvor det blev fundet, at dyrkningsfladen arealmæssigt blev 'overbehandlet' med gns. 14,7 % for en arbejdsbredde på 16 m på 17 marker (gns. størrelse på 5,4 ha) (Kaivosoja & Linkolehto, 2016). Principperne for centrifugalspredere til spredning af kunstgødning er baseret på et vist overlap, således at kiler og lignende med overlap ikke nødvendigvis får 100 % men teoretisk set nærmere 50 % overgødskning i de tilfælde, hvor sprederen åbnes for tidligt, eller hvor plejesporene i kiler ligger tættere, end hvad der passer til spredebredden. For overlap med gylle er der derimod tale om dobbeltdosering. Der foreligger ikke konkrete studier for tildelt mængde N før og efter indførsel af autostyring og sektionsstyring på centrifugalspredere og udstyr til udbringning af husdyrgødning. Vurderingen er at udbragt N mængde reduceres med 5-7% efter indførsel af autostyring og sektionsstyring. Denne reduktion vil ifølge IPCC AR5 og økonomisk optimal kvælstofnorm på tværs af afgrøder reducere lattergasudledningerne med 35-50 kg CO_2- ækv/ha/år (4,16 kg CO_2 ækvivalente/kg N i tildelt gødning (se afsnit for beregninger)).

Behovs- og positionsbestemt gødskning (direkte N2O emission):

Lattergasemission fra kvælstofgødskning foregår i måneder efter gødskning og emissionsniveaet er afhængig af flere faktorer. Et tysk studie af lattergasemission med målinger fra dyrkning af majs på lerjord omkring München viste, at emissionen blev reduceret med 34 % i områder med lavt udbyttepotentiale, når den supplerende N tildeling (1 måned efter såning af majs og startgødning (40 kg N/ha)) blev reduceret fra 150 kg N/ha til 125 kg N/ha og uden at påvirke afgrødeudbyttet (Sehy et al., 2003) I områderne med højt udbyttepotentiale var lattergasemissionen ikke påvirket af øget N tilførsel fra 150 kg N/ha til 175 kg N/ha, hvor gns. udbyttet var lidt højere ved den høje N-tildeling, men ingen signifikante forskelle. Den generelle effekt af behovsbestemt kvælstofgødskning på markniveau i forsøgene var en reduktion i lattergasemission på 14 %. Emissionsfaktorerne for lattergas var generelt høje (mellem 1 % og 4 %). Et forsøgsmæssigt tilsvarende canadisk studie har ved pløjefri dyrkning af raps på lerjord, over to vækstsæsoner, målt lattergasemissioner med store variationer mellem vækstsæsoner. De signifikante faktorer der øgede den kumulative lattergasemission var NO_3-N i jorden og jordfugtighed (Glenn et al., 2021). Områderne med højt udbyttepotentiale havde de laveste emissionsfaktorer trods tildeling af 50% mere kvælstofgødning end det økonomiske optimale gødningsniveau, hvilket tydede på en mere effektiv næringsstofoptagelse i afgrøden. Lattergasemissionsfaktorer var lavere for områder med højt udbyttepotentiale (≈0,1 %, for begge vækstsæsoner) sammenlignet med områderne med lavt udbyttepotentiale (henholdsvis 0,9 % og 0,2 % for de to vækstsæsoner), hvilket indikerer at behovs- og positionsbestemt kvælstofgødskning kan reducere lattergasemission fra raps i dette tilfælde. Resultaterne viste endvidere, at den generelle effekt af behovs- og positionsbestemte kvælstofgødskning var en reduktion i lattergasemission på henholdsvis 20 % og 9 % for de to vækstsæsoner, hvor sidste vækstsæson

vejrmæssigt var et mere normalt år. Aktuelt anvender DK IPCC Tier 1 i opgørelsen af lattergasemissioner fra landbrugsjord. Tier 1, lattergasemission i kg N_2O-N/ha er 1% af udbragt kg N/ha. Ved en gns. kvælstofnorm på 170 kg N/ha er lattergasemissionen 1,7 kg N_2O-N/ha. En reduktion ved omfordeling og variable tildeling af N ud fra økonomisk optimale gødningsniveauer på delmarker vurderes på baggrund af de nævnte studier at andrage 9-14 %, hvilket svarer til 63-99 kg CO_2 ækv./ha/år. Dog er denne vurdering forudsat at effekten gælder for andre landbrugsafgrøder, hvor lignende undersøgelser ikke forefindes. Det vurderes dog på baggrund af de faktorer som har betydning for lattergasemission at afgrødernes evne til at optage N har en betydning, men at jordens fugtighed, NO_3-N indhold, temperatur og struktur har signifikant betydning for lattergasemission, som vist i ovenstående tyske og canadiske forsøg.

Behovs- og positionsbestemt gødskning (indirekte N_2O emission):

Behovs- og positionsbestemt plantedyrkning sigter på at graduere tildeling af gødning inden for marken, så kvælstofudnyttelsen på markniveau optimeres. Den miljømæssige gevinst i form af reduceret udvaskning opnås især, hvis gradueringen hindrer overgødskning af arealer, hvor kvælstofoptaget er begrænset af forskellige årsager, idet marginaludvaskningen må forventes høj på sådanne arealer. I Future Cropping projektet er der estimeret væsentligt højere udvaskning hvor plantetætheden er lav (M. Styczen, personlig kommunikation, 7. juni, 2019). Schelde et al. (2014) har beskrevet kvælstofeffekten i rodzonen ved anvendelse af positionsbestemt tilførsel af gødning. Konklusionen omkring kvælstofudvaskning er baseret på studier udført af Berntsen et al. (2006), som estimerede kvælstofudvaskning ud fra en forbedret kvælstofudnyttelse. Effekten vil være afhængig af krumning af marginaludvaskningskurven, og idet mange forsøg er gødet til et niveau, hvor marginaludvaskningskurven er lineær, betyder det, at der ikke umiddelbart er en stor effekt på kvælstofudvaskningen ved at flytte rundt på gødningen. I en dansk kontekst er vurderingen altså, at behovs- og positionsbestemt gødskning kun i mindre grad vil reducere den samlede anvendte kvælstofmængde men i stedet føre til en omfordeling af gødningen på landbrugsarealet, hvilket medfører en mindre reduktion i kvælstofudvaskningen, der er vanskelig at kvantificere.

Ifølge en svensk analyse opgjort med VERA-modelberegninger (Aronsson & Torstensson, 2004) er der reduktion i kvælstofudvaskning ifm. stedspecifik kvælstoftildeling i korn på baggrund af 135 markregistreringer med sensor (Söderström et al., 2004). Modelberegningerne viste en reduktion i kvælstofudvaskningen på 1,7 kg N/ha for en sandjord (mindre end 5 % ler) og 0,7 kg N/ha for en jord med højt lerindhold (mere end 40 % ler) afhængigt af graden af variation i udbyttepotentiale inden for de analyserede marker (Delin et al., 2015). I modelberegningerne indgik normalfordeling af kvælstofdoseringer omkring økonomisk optimum med ned til 30 kg N/ha under og op til 50 kg N/ha over optimum. Stedsspecifik kvælstoftildeling blev sammenlignet med modelberegninger for ensartet tildeling ved forskellige jordtyper (jf. lerindhold) og variationer inden for marker (Delin et al., 2015). Fortolkningen af den svenske analyse forudsætter, at der nøje vurderes et gennemsnitligt udbyttepotentiale ifm. gødningsplanlægning for de enkelte marker. Omfordeling af kvotekvælstof for den enkelte mark fordeles

inden for marken efter behov ud fra udbytteregisteringer/-erfaring og/eller sensor data. Det forudsættes også, at kvotekvælstof flyttes mellem marker alene ud fra behov. I de tilfælde, hvor der forventes et lavere udbytte, vil kvælstoftilførslen kunne reduceres, hvilket vil reducere udvaskningen. Modsat kan en mere præcis fastsættelse også bevirke, at udbytteniveauet sættes højere i nogle marker, og såfremt der er ikke-udnyttet kvælstofkvote på ejendommen, kan dette betyde en øget tilførsel, der alt andet lige forventes at øge udvaskningen marginalt. Gødskning efter sensor forventes at have et potentiale, hvor sensorer anvendes til at estimere gødningsvirkning af tildelt kunst- eller husdyrgødning, så der gødskes i forhold til målt (reduceret) kvælstofbehov i stedet for efter kvotekvælstof. Samlet set kan en detaljeret fastsættelse af kvælstofbehovet på markniveau således resultere i uændret, lavere eller øget kvælstofforbrug på bedriftsniveau. Berntsen et al. (2004) skønnede, at forbedret kvælstofudnyttelse som følge af positions- og behovsbestemt gødskning kan reducere udvaskningen med op til 3 kg N/ha. Schelde et al. (2014) vurderede, at effekten generelt kan ventes at være 1-2 kg N/ha. Der er ikke nyere danske eller internationale forskningsresultater og pilotprojekter, der giver anledning til at ændre dette skøn. Større reduktion i kvælstofudvaskning kan muligvis opnås, hvis overgødskning af grovsandede partier og områder med lav plantetæthed i marken undgås. Ligeledes forbedres teknologierne og strategierne løbende under danske forhold for bestemmelse af det optimale og stedspecifikke niveau for næringsstoftilførsel (fx Peng et al. 2021; Revenga et al., 2022).En reduktion af N-udvaskningen med 1-2 kg N/ha vil reducere lattergasudledningerne fra grundvand, dræn, søer og vandløb i størrelsesordenen 2-4 kg CO_2-ækv/ha/år.

Brændstofbesparelser (direkte CO_2, CH_4 og N_2O emission):

Måling af brændstofforbrug for traktorer ved vejtransport har vist at brændstofforbruget falder lineært med stigende dæktryk ved forskellige belastningsniveauer (Udompetaikul et al., 2011). I forsøgene af Udompetaikul et al. (2011) blev der målt op til 11% reduktion i brændstofforbrug ved at ændre traktorens dæktryk fra 9 psi til 23 psi ved kørsel på asfalteret vej. Under danske markforhold er automatisk dæktryksregulering afprøvet (Lyngvig og Højholdt, 2017). Forsøgene blev udført på forskellige jordtyper ved stubharvning i 20 cm dybde. Den gennemsnitlige brændstofbesparelse ved at sænke dæktrykket fra 1,6 bar til 0,8 bar var 7 %. Miljøeffekter af automatisk dæktryksregulering er beregnet ud fra standardopgørelser for brændstofforbrug i Grøn Viden nr. 260 (Dalgaard et al., 2002) for henholdsvis vejtransport (5 l/ha) og markkørsel, for konventionelle bedrifter (65 l/ha). Ovennævnte procentiske brændstofbesparelser udgør samlet set ca. 5 l diesel/ha om året. Tilpasset dæktryksregulering er indenfor de seneste par år blevet integreret med beslutningsstøttesystemer (DSS) på traktorer og høstmaskiner. DSS software på maskinernes terminaler/skærme assisterer førere for indstilling af alle funktioner i relation til optimering af brændstofforbrug, effektivitet m.v. før og under kørsel ved et givent mark- eller transportarbejde. Effekten af et markedsført DSS er undersøgt af det tyske DLG i 2020, hvor der for 10 traktorførere fra hele Europa blev registeret en gns. brændstofbesparelse på 6% for jordbearbejdning når DSS blev anvendt i sammenligning med uden DSS. DSS kan umiddelbart optimere alt mark- og transportarbejde, hvorved brændstofbesparelsen på baggrund af ovenstående danske og tyske undersøgelser vurderes at antage

ca. 4-5 l/ha pr. år, hvilket svarer til ca. 11-13 kg CO_2 ækv./ha/år. Autostyring har som nævnt ovenfor en reduktion i overlap med 3,5%. En sammenligning af manuel og autostyring for såning i pløjet jord har vist, at autostyring kan reducere brændstofforbruget med 6% ved 4 m arbejdsbredde og en 5 ha stor mark (Scarfone et al., 2021). Autostyring har derved også en mindre effekt på brændstofforbruget med 2-3 l/ha/år, når teknologien anvendes ifbm. markkørsel hvor overlap mellem spor og behandlinger kan reduceres, som svarer til 5 – 8 kg CO_2 ækv./ha/år.

En prototype for optimering af kørselsmønstre og ruter for markarbejde har vist sig at reducere brændstofforbruget med 7-8% som følge af reduceret total kørselslængde (gns. af 12 marker i DK, 120 ha i alt, 6,6 m arbejdsbredde) (Edwards et al. 2017). Nørremark et al. (2022) har sammenholdt almindelig praksis for høstarbejde i DK med en prototype af et flådestyringssystem og derved opnået 7 % reduktion i brændstofforbruget for frakørselsvogne ifbm. høstarbejde i korn, frø og raps, inklusive indførsel af kontrolleret trafik. Herved blev risikoen for skadelig jordpakning reduceret med 25 % og antallet af kørsler med frakørselsvogne fra mark til lager blev reduceret med 14 %. Potentialet for reduktion i brændstofforbrug ved hjælp af optimering af kørselsmønstre, ruter og flådestyring vokser med kompleksiteten af markernes form, afstand fra mark til lager og antallet af maskiner og maskinførere som indgår i at udføre markarbejdet. De oplyste prototyper har derved en mindre effekt på brændstofforbruget med 4-6 l/ha når de anvendes i forbindelse markarbejde og transport, som svarer til 11 – 16 kg CO_2 ækv./ha/år.

Der er således store besparelsesmuligheder på brændstof alene, men det er vanskeligt at forudsige i hvilken udstrækning at værktøjerne vil blive udnyttet i landbruget, når systemer for optimering af kørselsmønstre og ruteplanlægning (markedsført) samt flådestyring er fuldt integeret med landbrugsmaskiner,, Interessen for brændstofbesparelse har været stærkt stigende i de senere år med henblik på at reducere produktionsomkostningerne.

Den samlede effekt ved fuld brug af ovennævnte teknologiske muligheder for mere præcis styring af næringsstoffer og maskiner, ligger derfor skønsmæssigt på 127-190 kg CO_2-ækv/ha/år, hvilket, hvis opskaleret til hele det danske landbrugsareal, vil give årlige reduktioner i danske udledninger på 286-429 kt CO_2-ækv pr. år.

7.10.4 Samspil til andre virkemidler

Præcisionsgødskning defineret som ovenstående er antaget ikke at ændre kvælstofforbruget på bedriftsniveau. Virkemidlerne vil imidlertid have indflydelse på, hvor stor en del af det tilførte kvælstof, der er plantetilgængeligt. Dette kan opfattes som en ændring i kvælstoftilførslen, som via udbyttefunktioner kan omsættes til effekt på udbytte og bortførsel af kvælstof samt efterfølgende udvaskning. Det antages derfor, at bedrifternes kvælstofkvote anvendes, så mængden af kvælstof blot omfordeles inden for marken eller på bedriften. I princippet kunne delvirkemidlerne for præcisionsgødskning tilsammen medføre et reduceret kvælstofforbrug, hvilket i så fald ville svare til effekten af reduceret norm. Der kan dog også være tilfælde,

hvor delvirkemidlerne vil indebære en forøgelse i forhold til normen på markniveau, hvilket i givet fald kun vil kunne lade sig gøre ved omfordeling mellem bedriftens marker.

Reduceret kvælstoftilførsel kan vekselvirke med andre virkemidler på markfladen. Eksempelvis kan effekten af efterafgrøder mindskes ved brug af reduceret kvælstoftilførsel, ved at kvælstof mineraliseringen fra afgrøderester i efteråret bliver mindre, hvorved kvælstoftilgængeligheden mindskes. Drænvirkemidler påvirkes på samme måde ved, at der udvaskes mindre nitrat med drænvandet.

Den potentielle udvaskningsreduktion fra dyrkningsfladen samlet set for de delvirkemidler under præcisionsgødskning vil mindske behovet for fjernelse af nitrat uden for dyrkningssæsonen.

7.10.5 Usikkerheder

Effekten af behovs- og positionsbestemt gødskning er ikke veldokumenteret under danske forhold, og vurderinger er bl.a. baseret på internationale studier, hvor dyrknings- og gødningspraksis ikke nødvendigvis er direkte sammenlignelige med de danske. Effekten af præcis spredning på kvælstofudvaskningen og lattergasemission er baseret på få studier og modelberegninger.

Dog er den primære fokus på næringsstofudnyttelsen i afgrøderne, hvorimod direkte effekter på udvaskning bliver undersøgt i mindre grad. Det skyldes primært, at effekterne forventes relativt små, og derfor ikke vil kunne detekteres ved traditionelle målinger af kvælstofudvaskning. Studier i præcisionsjordbrug kræver desuden fuldskala-forsøg for at validere modelberegninger for kvælstofudnyttelse under varierende faktorer for udbyttepotentiale. Tidshorisonten for at skaffe data er mindst 3-5 år, idet der skal gennemføres modellering af effekten kombineret med markforsøg over flere år. Modelberegninger, herunder usikkerheder har været undersøgt under pilotprojektordningen (Nørremark et al., 2020).

Referencer:

Aronsson, H., Torstensson, G. (2004). Beräkning av olika odlingsåtgärders inverkan på kväveutlakningen: Beskrivning av ett pedagogiskt verktyg för beräkning av kväveutlakning från enskilda fält och gårdar. Ekohydrologi 78. Swedish University of Agricultural Sciences, Division of Water Quality Management, SLU, Uppsala.

Balafoutis A., Beck B., Fountas S., Vangeyte J., Wal TVd., Soto I., Gómez-Barbero M., Barnes A., Eory V. (2017). Precision Agriculture Technologies Positively Contributing to GHG Emissions Mitigation, Farm Productivity and Economics. Sustainability, 9(8), 1339. https://doi.org/10.3390/su9081339

Berntsen, J., Thomsen, A., Schelde, K., Hansen, O.M., Knudsen, L., Broge, N., Hougaard, H., Hørfarter, R., 2006. Algorithms for sensor-based redistribution of nitrogen fertilizer in winter wheat. Precision Agriculture 7, 65-83.

Blicher-Mathiesen, G., Olesen, J.E. & Jung-Madsen, S. (red). (2020). Opdatering af baseline 2021. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 140 s. - Teknisk rapport nr. 162 http://dce2.au.dk/pub/TR162.pdf

Dalgaard, T., Dalgaard, R., & Nielsen, A. H. (2002). Energiforbrug og økologiske og konventionelle landbrug. Grøn Viden - Markbrug, (260).

Danmarks Statistik (2022). Danmarks Statistik – AFG5: Det dyrkede areal efter område, enhed og afgrøde. https://www.dst.dk/da/Statistik/emner/erhvervsliv/landbrug-gartneri-og-skovbrug/det-dyrkede-areal

Delin, S., Gruvaeus, I., Wetterlind, J., Stenberg, M., Frostgård, G., Börling, K., Olsson, C.M., Krijger, A.-K. (2015). Fertilisation for Optimised Yield Can Minimise Nitrate Leaching in Grain Production. Artikel 774 i compendium fra International Fertiliser Society konference i Cambridge, England, 11. december 2015, 24 sider.

DLG (2021). CEMOS TRAKTOR - Softwareversion: 6.12.6 Cebis. DLG-APPROVED: Driver assistance systems – fuel consumption and ha/hr performance in cultivation. DLG Test Report no. 7096. CEMOS tractor. https://pruefberichte.dlg.org/filestorage/7096_e.pdf

Edwards, G. T. C., Hinge, J., Skou-Nielsen, N., Villa-Henriksen, A., Sørensen, C. A. G., & Green, O. (2017). Route planning evaluation of a prototype optimised infield route planner for neutral material flow agricultural operations. Biosystems Engineering, 153, 149-157. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.10.007

Finger, R., Swinton, S., El Benni, N., Walter, A. (2019) Precision Farming at the Nexus of Agricultural Production and the Environment. Annual Review of Resource Economics, Vol. 11, Issue 1, pp. 313-335. Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=3468083 or http://dx.doi.org/10.1146/annurev-resource-100518-093929

Glenn, A.J., Alan P. Moulin, Amal K. Roy, Henry F. Wilson (2021). Soil nitrous oxide emissions from no-till canola production under variable rate nitrogen fertilizer management, Geoderma, Volume 385,114857. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114857.

ICF International (2016). Charting a Path to Carbon Neutral Agriculture: Mitigation Potential for Crop Based Strategies, ICF International, 1725 I Street, NW ,Washington, DC 20006, USA, 145 pp.

Kaivosoja, J., Linkolehto, R. (2016). Spatial overlapping in crop farming works. Agronomy Research, 14, 41-53.

Lyngvig, H.S., Højholdt, M. (2017). Brændstofforbrug ved harvning – forskellig harvedybde og dæktryk, med og uden pløjning. Farmtest Maskiner og Planteavl 147, SEGES, 19 pp.

Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (2022). Bekendtgørelse om næringsstofreducerende tiltag og dyrkningsrelaterede tiltag i jordbruget for planperioden 2022/2023. Retsinformation. https://www.rets-information.dk/eli/lta/2022/742

Nørremark, M., Hansen, E.M., Thomsen, I.K. (2022). Vurderingen af miljøeffekten ved variabel tildeling af husdyrgødning under præcisionslandbrug, Nr. 2021-0310376, 12 s., apr. 21, 2022. Rådgivningsnotat fra DCA – National Center for Fødevarer og Jordbrug

Nørremark, M., Nilsson, R., Grøn Sørensen, C. (2022). In-Field Route Planning Optimisation and Performance Indicators of Grain Harvest Operations. Agronomy, 12(5), [1151]. https://doi.org/10.3390/agronomy12051151

Nørremark, M., Sørensen, P., Gislum, R., Rasmussen, J., Kudsk, P., Bruus, M., Strandberg, B., Rubæk, G.H., Hutchings, N.J., Pedersen, M.F. (2020). Præcisionsgødskning. I: Eriksen, J., Thomsen, I. K., Hoffmann, C. C., Hasler, B., Jacobsen, B. H. (redaktører), Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. DCA rapport nr. 174, s. 199-220. https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport174.pdf

Olesen, J.E., Petersen, S.O., Lund, P., Jørgensen, U., Kristensen, T., Elsgaard, L., Sørensen, P., Lassen, J. (2018). Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget. DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug,. DCA rapport Nr. 130 http://web.agrsci.dk/djfpublikation/index.asp?action=show&id=1273.

Peng, J., Manevski, K., Kørup, K., Larsen, R., Andersen, M.N. (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

Rees, R.M., Maire, J.M., Florence, A., Cowan, N., Skiba, U.M., van der Weerden, T., Ju, X. (2020). Mitigating nitrous oxide emissions from agricultural soils by precision management. Frontiers of Agricultural Science and Engineering, 7(1), 75-80. https://doi.org/10.15302/J-FASE-2019294

Revenga, J.C., Trepekli, K., Oehmcke, S., Jensen, R., Li, L., Igel, C., Gieseke, F.C., Friborg, T. (2022). Above-Ground Biomass Prediction for Croplands at a Sub-Meter Resolution Using UAV–LiDAR and Machine Learning Methods. Remote Sens. 2022, 14, 3912. https://doi.org/10.3390/rs14163912

Scarfone, A., Picchio, R., del Giudice, A., Latterini, F., Mattei, P., Santangelo, E., Assirelli, A. (2021). Semi-Automatic Guidance vs. Manual Guidance in Agriculture: A Comparison ofWork Performance in Wheat Sowing. Electronics, 10, 825. https://doi.org/10.3390/electronics10070825

Schelde, K., Rubæk, G.H., Kudsk, P., Jørgensen, L.N., Olesen, J.E. (2014). Positionsbestemt tilførsel af gødning. I: Eriksen, J., Jensen, P.J., Jacobsen, B.H. (Redaktører) 2014. Virkemidler til realisering af 2. generations vandplaner og målrettet arealregulering. DCA Rapport nr. 052, Aarhus Universitet, pp. 149-154.

Sehy, U., Ruser, R., Munch, J.C. (2003). Nitrous oxide fluxes from maize fields: relationship to yield, site-specific fertilization, and soil conditions. Agriculture, Ecosystems & Environment, Volume 99, Issues 1–3, 97-111. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00139-7.

Söderström, M., Nissen, K., Gustafsson K., Börjesson, T., Jonsson A., Wijkmark, L. (2004). Swedish Farmers' Experiences of the Yara N-Sensor 1998-2003. In: the Proc. of the 7th International Conf. on Precision Agriculture and Other Precision Resources Management, Minneapolis, USA

Udompetaikul, V., Upadhyaya, S., Vannucci, B. (2011). The Effect of Tire Inflation Pressure on Fuel Consumption of an Agricultural Tractor Operating on Paved Roads. Transactions of the ASABE, 54(1), 25-30. https://doi.org/10.13031/2013.36249.

7.11 Reduceret kvælstofnorm (KVM7.11)

Forfatter(e): Christen Duus Børgesen, Institut for Agroøkologi; Gitte Blicher-Mathiesen, Institut for Ecoscience og Peter Sørensen, Institut for Agroøkologi

Fagfællebedømmer: Mathias Neumann Andersen, Institut for Agroøkologi

7.11.1 Anvendelse

Klimavirkemidlet reduceret kvælstofnorm antages som udgangspunkt alene at slå igennem på den mineralske kvælstoftilførsel til landbrugsafgrøder ved mindre mængder købt handelsgødnings kvælstof (N). Tilførslen fra husdyrgødning antages at være uændret ved dette virkemiddel. Der antages desuden, at en reduceret kvælstofnorm ikke fører til ændret afgrødevalg i konsekvensberegningerne.

Reduceret kvælstofgødskning kan medføre mindre afgrødeudbytte og lavere indhold af kvælstof i de høstede afgrøder, men kan også betyde mindre mineralsk kvælstofindhold i jorden efter høst, hvilket kan mindske risikoen for nitratudvaskning og denitrifikation. Under danske klimaforhold forekommer nitratudvaskning i begrænset omfang i vækstperioden (april til september), hvor fordampning overstiger nedbøren, mens vandoverskud forekommer efterår og vinter og udgør transportfaktoren for nitratudvaskningen fra rodzonen. Konsekvenser af lavere kvælstoftildeling på udbyttet på kort og langt sigt indgår i vurderingen af den mindre planteproduktion og dennes afledte effekt af færre afgrøderester tilbageført til jorden, hvilket giver mindre kulstoflagring i jorden.

7.11.2 Relevans og potentiale

Produktion af handelsgødnings N er en energitung produktion, som resulterer i dannelse af CO_2 og lattergas afhængigt af produktionsmetoden. Udbragt N i handelsgødning har både direkte og indirekte effekter på emissionen af drivhusgasser. De direkte effekter omhandler en mindre emission ved mindre produktion og tilførsel til marken. De indirekte effekter er mindre ammoniakemission, nitratudvaskning og denitrifikation. Den indirekte lattergasemission fra nitratudvaskning vil være variabel afhængig af, hvordan virkemidlet

implementeres og bidrager til dannelse af drivhusgasser. Ligeså vil ammoniakfordampningen bidrage til drivhusgasemissionen, hvilket også er afhængigt af udbringningsmetoden af handelsgødningen.

7.11.2.1 Forbrug af handelsgødning

Ved det nuværende forbrug af N gødninger i Danmark bliver der anvendt mindre mineralsk kvælstof i landbruget end de samlede kvælstof (N) normer tillader jf. tabel 3.4 Blicher-Mathiesen et al. (2021). I Figur 7.1 er vist udviklingen i handelsgødningsforbruget, den økonomisk optimale N tildeling, den lovbestemte aktuelle N norm og summen af udnyttet N fra alle gødninger baseret på data fra gødningsregnskaber fra danske landmænd jf. tabel 3.4 i Blicher-Mathiesen et al. (2021).

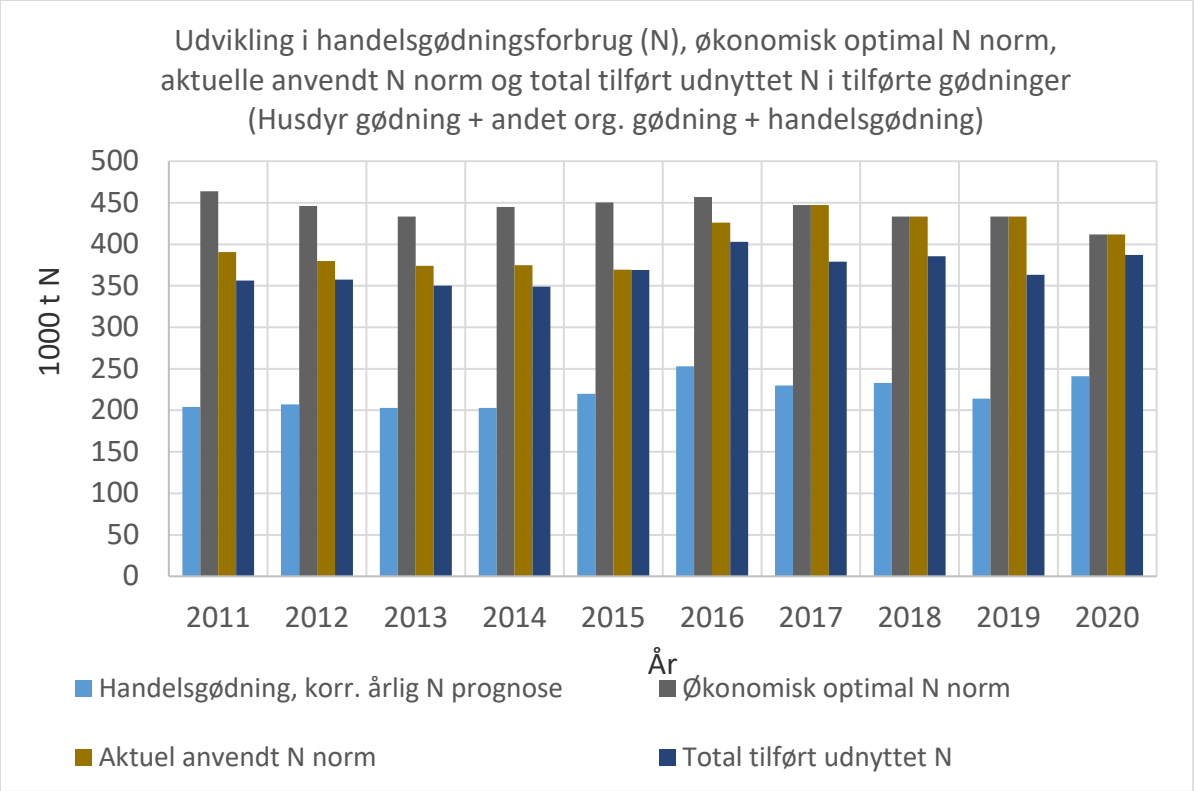
Anvendelse af reducerede N normer er opgjort som det gennemsnitlige udvikling i forbruget af N gødninger samt de summerede N gødningsnormer fra før (årene 2012-2015) og efter (årene 2017-2020) Fødevare- og LandbrugsPakken (FLP) fra 2015 (Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Miljø, 2015). Sammenholdes det samlede forbrug af handelsgødning efter FLP med forbruget i perioden før FLP ses en stigning i udbragt handelsgødnings N på i gennemsnit 26.000 tons N svarende til 10 kg N/ha. Korrigeres dette tal med øget N i husdyrgødning kan der opgøres en samlet gennemsnitlig stigning på 28.000 ton N i udnyttet N. Disse tal er påvirket af en række andre forhold der har betydning for opgørelse af effekten af øget N norm med FLP.

For at beregne en stigning i forbruget af handelsgødning efter FLP, der er renset for andre ændringer i det økonomiske optimale N forbrug er der nederst i tabel 7.6 opgjort den gennemsnitlig "luft" for de to perioder (Kode K). Luften beregnes ved at beregne forskellen mellem den økonomisk optimale N tildeling (før og efter FLP), i forhold til hvor meget handelsgødnings-N der er tilført (korrigeret for årlig N prognose) plus summen af udnyttet N fra husdyrgødning og fra andre organisk gødninger. Den gennemsnitlige difference i luften mellem de to perioder (45.000 ton N) er et estimat for, hvor stor en stigning der er i anvendelsen af N gødninger efter at N normen blev sat lig med den økonomisk optimale N norm med FLP.

Denne stigning i N forbruget er noget lavere end tidligere prognoser for effekten af højere N normer med Fødevare og Landbrugspakken fra 2016, opgjort i Børgesen et al., 2015 og senest i Blicher-Mathiesen et al. 2020. Dette kan til dels tilskrives et fald i den økonomisk optimale N mængde på 12.000 tons N der både skyldes: nedgang i dyrket areal, ændring i økonomisk optimale N normer samt ændret afgrødesammensætning. Desuden er der i perioden 2011 til 2020 set en stigning i det økologiske landbrugsareal i Danmark fra 6 % til ca. 12 % i 2020 (Landbrugsstyrelsen, 2022). På økologiske marker er det ikke muligt at udnytte en øget N norm i handelsgødning. Desuden kan økologiske marker efter 2015 ikke modtage mere end 100 kg udnyttet-N per hektar, hvilket også kan have haft betydning for den samlede udnyttelse af den forøgede N norm med FLP.

I tabel 7.6 er opgjort udviklingen i udnyttet N af den økonomisk optimale N norm for de to perioder. Denne stigning i udnyttet N (Kode H) ses overvejende som en stigning i handelsgødnings N (Kode A) men også en nedgang i dyrket areal, udviklingen i det økologiske areal og udviklingen i de aktuelle anvendte N normer

for perioden (samlet i kode J). De anvendte N normer imellem de to perioder er steget med 57.000 ton N (Kode I), der ud over stigningen i afgrøde N normen efter FLP også er påvirket af de samme faktorer som beskrevet ovenfor.



Figur 7.1 Udbragt handelsgødning korrigeret for N prognose, årlige økonomiske N norm, den aktuelt gældende anvendte N norm samt udnyttet N for landbrugsarealet i Danmark i perioden 2011-2020 efter Blicher-Mathiesen et al. 2021.

Tabel 7.6. Gennemsnit af landsdækkende forbrug af kvælstofgødning opgjort ud fra landmands indberettede GødningsRegnskaber (GR) som gennemsnit [1.000 ton N] for perioden 2012-2015 (Fødevare og Landbrugspakken 2016. Før FLP) og perioden efter FLP (2017-2020). Efter Blicher-Mathiesen et al., 2021 (tabel 3.4).

		Genn. N 2012-2015	**Genn. N 2017-2020**	**Ændring (Genn. 2017-2020) minus (Genn. 2012-2015)**
Kode	Forbrug af kvælstofgødning	1000 ton N	1000 ton N	1000 ton N
A	Handelsgødning GR	203	229	26
B	N-prognosen	6	1	-5
C=A-B	Handelsgødning GR kor. N-prognosen	197	228	31

D	Husdyrgødning GR	216	219	3
E	Anden organisk gødning GR	7	8	1
F=A+D+E	Total forbrug af kvælstofgødning GR	426	456	30
G	Udnyttet husdyr og anden org. gødning GR	148	149	1
H=A+G	Total_aktuel udnyttet N I gødninger	351	378	28
	Kvælstofnormer uden udlæg og forfrugt			
I	Aktuel anvendt N normer	375*	432	57
J	Økonomisk optimal N norm.	444	432	-12
K=J-C-G	Ikke udnyttet Økonomisk N norm* "Luften"	99	55	-45

* Effekt af reducerede N normer i perioden 2012-2015.

7.11.2.2 Scenarie for effekt en ny reduktion af N norm

Baseret på den observerede stigning i forbruget af primært handelsgødnings N med FLP, forventes at N gødningsreduktionen med lavere afgrøde N normer blive mindre, end ændringen i den samlede N norm.

Konventionelle landbrug, hvor de reducerede N normer alene anses at slå igennem, har til en vis grad luft i N gødningstildelingen. Samlet er der "luft" (forskel mellem tilladt forbrug og aktuelt forbrug) i N gødnings-regnskaberne for mange landmænd (jf. Fig 3.10 i Blicher-Mathiesen et al., 2021). En reduktion i kvælstof-normen vil derfor ikke nødvendigvis betyder mindre forbrug af handelsgødnings N, da luften kan udnyttes til at opfylde kravet til en fremtidig N norm reduktion. For planteavlsbrug og svinebrug er der en generel tendens til at N normen udnyttes mere end for kvægbrug, hobbybrug og blandet husdyrbrug (jf. Fig 3.10 i Blicher-Mathiesen et al., 2021).

Således vil en kvælstof normreduktion også forventes at slå mere igennem på handelsgødningsforbruget hos svinebrug, planteavlsbrug end for kvægbrug og blandede brug, der har mere luft i deres gødnings-regnskaber. Fritidsbrug og hobbylandbrug forventes kun i minimal grad at reducere handelsgødningsfor-bruget ved en reduktion i N norm, da disse brug oftest har mere luft i deres N gødningsregnskab.

I tabel 7.6 er vist det gennemsnitlige årlige total N norm efter FLP svarende til 432.000 ton N (gennemsnit af årene 2017-2020). Den totale N norm der udnyttes med gødningerne udgør 378.000 ton N. Disse tal indgår som grundlag for to scenarier for udviklingen af en N norm reduktion: Scenarie A, der anvender beregningsprincippet baseret på udviklingen i "Luften" imellem de to perioder før og efter FLP. Scenarie B, hvor der tages udgangspunkt i den udnyttede N norm efter FLP (378.000 ton N).

Det aktuelle registrerede udbragte udnyttede kvælstof er vist i Fig. 11.1 samt opgjort i tabel 7.6. Udnyttelsen af den tilladte mergødning korrigeret for både arealanvendelse og ændrede N normer og ændringer der følger ændringer i det økologisk dyrkede areal kan beregnes til forskellen i luften (45.000) mod ændringen

i de anvendte N normer (57.000), (44/57)*100%= 78 %. Således blev den forøgede N norm (gennemsnitlig med N norm reduktion på 16% (gennemsnittet for 2012-2015)) udnyttet med samlet 78 %. Denne reduktion inkluderer effekten af det forøgede økologiske areal, som selvstændigt reducerer udnyttelsen af den forøgede N norm.

Til at estimere en forventet udvikling i effekten af en reduceret N norm, er der opgjort et reduktions scenarie (Kaldet scenarie A), baseret på den udvikling, der var mellem før og efter FLP korrigeret for N prognosen. N prognosen er antaget at slå fuldt igennem. Der antages forskellige forventede effekter af den aktuelle N norm reduktion afhængig af N norm reduktions-procenten, da luften kan udnyttes mere ved lave norm reduktioner sammenlignet med høje N norm reduktioner. Beregningerne af den aktuelle ændring i N normen er vist i tabel 7.7. Her opgøres norm N reduktionen at slå igennem forskelligt fra 60 % ved 5 % N norm reduktion til 80 % ved 15 % N norm reduktion. Ved 15 % antages der, at 80 % udnyttes, hvilket er lidt mere end den realiserede 78 % ændring ved FLP (16 %). De 78 % indeholdt som tidligere omtalt en effekt af øget økologisk areal, som ikke forventes på samme niveau med en 80 % ændring. Reduktionen i handelsgødningsforbruget opgøres til en reduktion på henholdsvis 13.000 ton N, 30,000 ton N og 52.000 ton N ved henholdsvis 5 %, 10 % og 15 % N norm reduktion.

For scenarie B, hvor det er den økonomiske N norm der er korrigeret for "Luft", antages at N normen der reduceres i, er den aktuelt udnyttede N norm på 378.000 ton N (gennemsnit 2017-2020). De beregnede tilsvarende estimater ved en norm reduktion på 5 %, 10 % og 15 % under scenarie B, udgør henholdsvis 19.000 ton N, 38,000 ton N og 57.000 ton N jf. tabel 7.7.

7.11.3 Effekt på drivhusgasudledning

En reduktion i kvælstofgødskning på 1 kg N/ha vil reducere den direkte lattergasemission fra selve gødningen med 4,7 kg CO_2-ækv./ha og 0,41 kg CO_2-ækv./ha fra planterester (antaget at kvælstofinputtet i planterester svarer til 41 % af kvælstofinputtet) – se principperne for beregningen i Bilag 2. Den indirekte lattergasemission fra nitratudvaskning vil være variabel afhængig af, hvordan virkemidlet implementeres, men med en marginaludvaskning på 18 % anvendt som anvendt i Eriksen et al., 2020, vil reduktionen være 0,39 kg CO_2-ækv./kg N. Med udgangspunkt i den gennemsnitlige ammoniakemission fra handelsgødning (4 % af N input - se Bilag 2), vil reduktionen i den indirekte lattergasemission være 0,19 kg CO_2-ækv./kg N. Sammenlagt, vil reduktionen i lattergasemission være 7,17 kg CO_2-ækv./kg N mindre tilført. Der vil være en mindre kulstoflagring i jorden på grund af det lavere kulstofinput fra planterester. Det har ikke været muligt at lave en detaljeret analyse af effekten, men hvis man antager en C:N forhold i planteresterne på 40 og en 12 % langtidslagring af kulstofinput, vil der være en reduktion i kulstoflagringen på cirka 2,0 kg CO_2-ækv./kg N reduceret i tilførslen. Sammenlagte vil det give en reduktion i emission på 5,21 kg CO_2-ækv. per kg N mindre tilførsel.

I tabel 7.72. er vist den forventede effekt af de to beskrevne scenarier for mindre handelsgødningsforbrug ved en 5 %, 10 % og 15 % mindre N norm for det samlede landbrugsareal i Danmark. Resultaterne er vist som intervaller repræsenter de to scenarier A og B. Effekten er beregnet med standardeffekten på 5.21 kg CO_2-ækv. per kg N reduceret, hvor der inddrages effekten på mindre kulstoflagring i jorden på cirka 2,0 kg CO_2-ækv./kg N.

Det skal dog her tages højde for usikkerheden på hvor meget kvælstofnormreduktionen potentielt kan slå igennem på det aktuelle forbrug opdelt på bedriftsgrene. I Blicher-Mathiesen et al., 2021 er der i figur 3.10 vist hvorledes forskellige driftsgrene gøder deres marker med N i forhold til deres N kvote.

Tabel 7.7 Beregnet reduktion i drivhusgas emission CO_2-ækv 1000 t i forbindelse med reduceret handelsgødningsforbrug som følge af to scenarier (A: Baseret på udviklingen med FLP) og (B: Baseret på udnyttelsen af N normen) for udviklingen i den udbragte kvælstofmængde med tre niveauer af reduktion i N gødningsnormer.

Scenarie	**Reduktion i N norm [%] (Gen. aktuel N norm på 427.000 ton N)**	**5%**	**10%**	**15%**
A	Reduktion i N norm (Total N norm) [1000. t N]	21	43	64
A	Forventet effekt (%) på aktuelt N forbrug med handelsgødning ved reduktion i N norm.	60 %	70 %	80 %
A	Reduktion i handelsgødningsforbruget [1000. t N]	13	30	52
B	Reduktion i N norm (Anvendt N norm) [1000. t N]	19	38	57
A og B	Reduktion i drivhusgasemission [kt CO_2-ækv]	67 -99	156-197	268-295
A og B	Heraf effekt fra mindre kulstoflagring i jord [kt CO_2-ækv]	-26 - -38	-60 - -76	-102 - -113

7.11.4 Samspil til andre virkemidler

Reduceret kvælstofnorm antages alene at slå igennem på forbruget af mineralsk handelsgødning. Andre virkemidler – såsom udtagning af landbrugsareal af produktion (KVM 7.6)), øget areal med efterafgrøder (KVM 7.1), skærpede krav til udnyttelse af udvalgte typer husdyrgødning (KVM 7.16) kan alle påvirke forbruget af handelsgødning og derved ændre på handelsgødningsforbruget. Ændringer i arealanvendelse til afgrøder med højere N normer kan også forøge forbruget af handelsgødning og derved modvirke effekten af generelt lavere kvælstof normer. Ændringer i mængden af husdyrgødning vil enten fortrænge eller øge forbruget af handelsgødning.

7.11.5 Usikkerheder

Det er stor usikkerhed om hvorvidt de reducerede N normer slår igennem på det aktuelle N forbrug i handelsgødning, i og med at der for mange landbrug er "luft" i deres aktuelle forbrug af N gødninger sammenholdt med hvad deres samlede N norm tillader. Det er uklart om fremtidige N gødningspriser og produkt priser (korn raps, ærter, grovfoder, kartofler, roer) vil ændre på de optimale N normer. Dette kan påvirke kvælstofnormerne, men også udnyttelsen af den samlede N norm.

De årlige stigning i det økologiske areal i perioden før og efter FLP kan være med til at ovenstående estimater for scenarie A er underestimeret. Desuden kan fremtidige højere økonomisk optimale N normer eller ændringer i arealanvendelsen til afgrøder med højere N normer også medføre at estimaterne for nedgangen i handelsgødningsforbruget er for høje.

Der er i beregningerne i scenarie A antaget at N prognosen slår fuldt igennem i forbruget af handelsgødning før og efter FLP. Det er usikkert hvorvidt alle landmænd korrigerede den aktuelle N gødskning før og specielt efter FLP, da der som nævnt for mange landmænd er luft i deres N gødningsregnskaber. Dette kan i opgørelsen medføre en overestimering i stigningen i det beregnede/korrigerede forbrug af handelsgødnings N med FLP. For scenarierne med reducerede N normer (5 %, 10 % og 15 %) kan dette således også føre til overstimering af faldet med reducerede N normer.

Desuden kan ændrede udnyttelsesgrader af husdyrgødning, og/eller ændret animalsk produktion medfører ændret adfærd omkring udnyttelsen af kvælstofnormen. Anvendelse af standarder for drivhusgas emissioner har en iboende usikkerhed som ikke indgår i beregningerne af CO2 ækvivalenter. Der er desuden vanskeligt at lave prognose omkring hvordan landmænd vil tilpasse sædskiftet til reducerede N normer. I de gennemførte beregninger antages at arealanvendelsen og tilknyttet N norm vil være som gennemsnittet af perioden 2017-2020.

Referencer:

Blicher-Mathiesen, G., Olesen, J.E. & Jung-Madsen, S. (red). (2020). Opdatering af baseline 2021. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 140 s. - Teknisk rapport nr. 162 http://dce2.au.dk/pub/TR162.pdf

Blicher-Mathiesen, G., Houlborg, T., Petersen, R.J., Rolighed, J., Andersen, H.E., Jensen, P.G., Wienke, J., Hansen, B. & Thorling, L. (2021). Landovervågningsoplande 2020. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 260 s. - Videnskabelig rapport nr. 472 http://dce2.au.dk/pub/SR472.pdf

Børgesen, C.D., Thomsen, I.K., Hansen, E.M., Kristensen, I.T., Blicher-Mathiesen, G., Rolighed, J., Jensen, P.N., Olesen, J.E., Eriksen, J. (2015). Notat om tilbagerulning af tre generelle krav, Normreduktion, obligatoriske efterafgrøder og forbud mod jordbearbejdning i efteråret. DCA Notat. https://pure.au.dk/ws/files/95991713/Notat_om_tilbagerulning_af_tre_generelle_krav_Normreduktion_Obligatoriske_efterafgr_der_og_Forbud_mod_jordbearbejdning_i_efter_ret_111115.pdf

Landbrugsstyrelsen (2022) Statistik over økologiske jordbrugsbedrifter 2021. https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Tvaergaaende/Oekologi/Statistik/Statistik_over_oekologisk_jordbrugsbedrifter_2021_v2.pdf

Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Miljø (2015). Aftale om Fødevare- og landbrugspakke. https://mfvm.dk/fileadmin/user_upload/FVM.dk/Dokumenter/Landbrug/Indsatser/Foedevare-_og_landbrugspakke/Aftale_om_foedevare-_og_landbrugspakken.pdf

7.12 Større opbevaringskapacitet af husdyrgødning og ændringer i forbud mod udbringning af husdyrgødning om efteråret (KVM7.12)

Forfatter(e): Peter Sørensen og Nicholas J. Hutchings, begge fra Institut for Agroøkologi.

Fagfællebedømmer: Mathias Neumann Andersen, Institut for Agroøkologi

En betydelig del af dette afsnit er kopieret fra Virkemidler til reduktion af kvælstofudvaskningen (Eriksen et al., 2020) suppleret med nye informationer.

7.12.1 Anvendelse

I dag er reglerne, at der normalt skal være 9 måneders opbevaringskapacitet, men at det reelle minimumskrav juridisk kun er 6 måneder (Husdyrgødningsbekendtgørelsen, 2019). Det betyder, at mange husdyrbrug i dag har mellem 6 og 9 måneders opbevaringskapacitet. Disse kan normalt nemt overholde "lukkeperioden" hvor der ikke må udbringes flydende husdyrgødning fra 1. oktober til 1. februar, som reelt kun er fire måneder. Konsekvensen er blot, at hvis der kun reelt er 6 måneders opbevaringskapacitet, er det nødvendigt næsten at tømme gyllebeholderne i september, hvor gylle kun lovligt kan udbringes på græs og vinterraps. Dette indebærer en risiko for, at disse arealer får tilført mere gylle end de har behov for om efteråret, med forøget risiko for udvaskning af kvælstof til følge. Ved opbevaring i åbne gyllebeholdere er det usikkert, hvor meget nedbør der tilføres i vinterens løb, hvilket giver incitament til at tømme tanken før vinteren for en sikkerheds skyld. Hvis det blev et juridisk krav at have 9 måneders opbevaringskapacitet, ville dette problem i høj grad blive løst. Det er dog stadigt også nødvendigt med specifikke krav til udbringningsperiode. Med dette virkemiddel indføres et fast juridisk krav på 9 måneders opbevaringskapacitet (fraregnet gødning fra udegående dyr).

Fast husdyrgødning kan i 2020 anvendes om efteråret (Husdyrgødningsbekendtgørelsen, 2019), hvor jorden er dækket af afgrøde i den følgende vinter, men på arealer uden afgrøde den følgende vinter må husdyrgødning kun udbringes på lerjord og kun i perioden 1. november til 15. november af hensyn til kravet om indarbejdning af fast husdyrgødning. Dog kan fast gødning udbringes fra 20. oktober til 15. november på alle arealer, hvor der har været lovpligtige, husdyr- og MFO-efterafgrøder på både sandjord og lerjord (Tabel 7.8).

Dette virkemiddel indebærer, at fast husdyrgødning ikke må udbringes mellem høst og 1. december på lerjord og mellem høst og 1. februar på sandjord, dog således at fast husdyrgødning kan udbringes til vinterraps og på græs indtil 1. september (Tabel 7.8).

De samme regler, som for udbringning af fast husdyrgødning, bør indføres for udbringning af slam. Effekten heraf er dog ikke medtaget i denne beskrivelse af virkemidlet.

Tabel 7.8. Oversigt over regler for udbringning af fast husdyrgødning på forskellige jordtyper i 2020 og forslag til nyt virkemiddel.

Jordtype	**Udbringningsperioder fast husdyrgødning inden etablering af vårsæd**		
	På arealer, hvor der har været lovpligtige, husdyr- og MFO-efterafgrøder [1)]	**På arealer, hvor der ikke har været efterafgrøder**	**Virkemiddel/nye udbringningsperioder (alle arealer)**
JB1-4	20. okt.- 15. nov. og fra 1. feb.	Fra 1. feb.	Fra 1. feb.
JB5-6 og 10-11		1. - 15. nov. og fra 1. feb.	Fra 1. dec.
JB7-9		20. okt. - 15. nov. og fra 1. feb.	Fra 1. dec.

Gælder ikke for græsudlæg med destruktionsfrist 1. marts

Flydende husdyrgødning må i dag udbringes på græsafgrøder (Husdyrgødningsbekendtgørelsen, 2019), samt før og efter såning af vinterraps frem til 1. oktober. Endvidere må flydende gødning anvendes på frøgræsmarker frem til 15. oktober, hvor der er indgået kontrakt med et frøavlsfirma om levering af frø i den kommende sæson.

Det foreslås med dette virkemiddel, at udbringning af flydende gødning til fodergræs og vinterraps forbydes efter 1. september. Anvendelse af flydende gødning til frøgræs er fortsat tilladt indtil 15. oktober. Forudsætningerne for virkemidlet er nærmere beskrevet i Eriksen et al. (2020).

7.12.2 Relevans og potentiale

Der findes ikke samlede opgørelser af mængden af udbragt kvælstof i husdyrgødning fordelt på afgrøder tidspunkt og gødningstype. I Eriksen et al. (2020) er der lavet en vurdering af omfanget af husdyrgødning udbragt om efteråret og en vurdering af effekten på nitratudvaskning ved at undgå udbringning i efteråret, og potentiale og effekter er vist i Tabel 7.9. Baggrunden for de vurderede effekter er også nærmere beskrevet i Eriksen et al. (2020).

Tabel 7.9. Effekter på samlet nitratudvaskning ved forbud mod udbringning af flydende husdyrgødning i september (undtaget på frøgræs) og ved forbud mod udbringning af fast husdyrgødning/dybstrøelse fra høst til 1. december på lerjord og 1. februar på sandjord (undtaget til frøgræs og til vinterraps i august),

beregnet for hele landet. De samlede mængder af kvælstof i husdyrgødningstyper er fra gødningsregnskaber 2016-17. Effekterne af ændret udbringningstid er vurderede (data fra Eriksen et al. 2020).

Gødningstype	**Mængde af gødningstype i alt**	**Andel udbragt i september -oktober**	**Tons N udbragt september- oktober**	**Ekstra andel udvasket ved udbringning i september-oktober**	**Reduktion i N-udvaskning med virkemiddel**
	(tons N/år)	(% af årlig mængde)	(tons N/år)	(% af total N)	(tons N/år)
Gylle og ajle til fodergræs	174.774	0,66	1154	10	115
Gylle og ajle til vinterraps	174.774	0,42	734	10	73
Fjerkrædybstrøelse til vinterkorn og forårssået afgrøde	7.800	15,6	1217	40	487
Fast gødning (inklusiv "anden husdyrgødning og øvrig org gødn")	19.319	15,6	3014	25	753
Dybstrøelse (eksklusiv fjerkræ)	17.761	15,6	2771	15	416
Total					1845

Den samlede effekt på udvaskningen af forbud mod udbringning af flydende gødning i september er opgjort til 188 t N/år (Tabel 7.9), mens forbud mod udbringning af fast gødning og dybstrøelse i efteråret før 1. december på lerjord og før 1. februar på sandjord er beregnet til at reducere nitratudvaskningen 1.656 t N/år.

Ved opgørelsen af fjerkrædybstrøelse, er der taget udgangspunkt i den samlede mængde af kvælstof fra fjerkrægødning fratrukket fjerkrægylle. Det betyder, at både fjerkrægødning der registreres som fast gødning og som dybstrøelse i gødningsregnskaber, er regnet ind i kategorien fjerkrædybstrøelse i Tabel 7.9.

7.12.3 Effekt på drivhusgasudledning

Reduktionen af nitratudvaskning og ændret ammoniaktab har en indirekte effekt på emissionen af N_2O. Eriksen et al. (2020) vurderede, at et øget behov for lagring af dybstrøelse vil øge ammoniak emissionen med 100 tons N/år og øget udbringning på voksende afgrøder om foråret vil øge ammoniak emissionen med 280 t N/år, og dermed fås en samlet øget ammoniak emission på 380 tons N/år.

Det antages at den indirekte emission af N_2O fra nitratudvaskning er på 0,0046 kg N_2O-N/kg N. Endvidere regnes med 298 kg CO_2-ækv/kg N_2O, baseret på IPCC standardemissioner (Eriksen et al. 2020). Der antages en indirekte N_2O emission fra den fordampede ammoniak på 0,01 kg N_2O-N/kg N.

Et krav om 9 måneders opbevaringskapacitet kombineret med ændrede udbringningsperioder, som resulterer i en reduktion i kvælstofudvaskningen på 1.845 tons/år, medfører en reduktion i drivhusgasser på

3.974 tons CO_2-ækv./år. Den øgede ammoniakemission på 380 tons N medfører en øget emission på 1.779 tons CO_2-ækv./år. Den samlede reduktion af drivhusgasemission er dermed 2.195 tons CO_2-ækv./år.

7.12.4 Samspil til andre virkemidler

Dette virkemiddel kan have samspil med tiltaget 'Afbrænding af husdyrgødning' og tiltaget 'Vådområder på mineraljord'.

7.12.5 Usikkerheder

Usikkerheden på estimat for drivhusgasudledning vurderes til at være ca. 50 %.

Referencer:

Eriksen, J., Thomsen, I.K., Hoffmann, C.C., Hasler, B., Jacobsen, B.H., Baattrup-Pedersen, A., Strandberg, B., Christensen, B.T., Boelt, B., Iversen, B.V., Kronvang, B., Børgesen, C.D., Abalos Rodriguez, D., Zak, D.H., Hansen, E.M., Blicher-Mathiesen, G., Rubæk, G.H., Ørum, J.E., Rasmussen, J., ... Jørgensen, U. (2020). Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet - DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. DCA rapport Nr. 174 https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport174.pdf

Husdyrgødningsbekendtgørelsen (2019). BEK nr 760 af 30/7/2019. https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=209913

7.13 Afgrøder med stort kvælstofoptag (KVM7.13)

Forfatter(e): Elly Møller Hansen, Ingrid K. Thomsen, Nicholas John Hutchings, alle fra Institut for Agroøkologi

Fagfællebedømmer: Mathias Neumann Andersen, Institut for Agroøkologi

I dette kapitel tages udgangspunkt i den beskrivelse af virkemidlet Afgrøder med stort kvælstofoptag, der fremgår af Hansen et al. (2020).

7.13.1 Anvendelse

Virkemidlet Afgrøder med stort N-kvælstofoptag omfatter dyrkning af roer, fodergræs og frøgræs, dvs. afgrøder, der har en lang vækstsæson og dermed mulighed for at optage betydelige mængder kvælstof om efteråret. Det betyder, at disse afgrøder kan reducere udvaskningen i forhold til afgrøder, der enten høstes tidligere eller ophører med at optage kvælstof på et tidligere tidspunkt. Flerårige afgrøder som græs, dvs. både fodergræs og frøgræs, kan desuden befinde sig på marken flere år i træk inden de omploøjes eller på anden måde destrueres. Derved kan den samme græsafgrøde reducere udvaskningen flere år i træk.

For afgrøder, der er karakteriseret ved at have et stort kvælstofoptag om efteråret, gælder, at effekten fastsættes i forhold til en referenceafgrøde, der ikke har denne karakteristik. Referencen antages således

at være en hovedafgrøde uden lang vækstsæson, hvorfor effekten fastsættes i forhold til samme reference som efterafgrøder, dvs. jord efter vårkorn uden efterafgrøder.

7.13.2 Relevans og potentiale

Dyrkning af sukkerroer og frøgræs sker generelt på kontrakt, og potentialet for dyrkning af disse afgrøder vil derfor afhænge af de gældende markedsforhold. For kvægbrug gælder, at der vil kunne ske et skifte fra majshelsæd til slætgræs. Herudover vil arealet med græs kunne øges, hvis der udvikles et marked for bioraffinering (Børgesen et al., 2018).

7.13.3 Effekt på drivhusgasudledning

Udvaskning og effekt angivet for roer antages at være gældende for det efterår, hvor roerne er på marken og bliver høstet samt for efterfølgende vinter og forår. For græs er effekten antaget at være gældende, mens græsset fortsat dyrkes, mens effekt på udvaskning ved ompløjning af græs er behandlet under virkemidlet 7.7 Ompløjningstidspunkt for fodergræs og efterfølgende afgrødevalg.

Fabriksroer

Ved dyrkning af fabriksroer og fjernelse af roetop vil der kunne forventes samme udvaskningsreducerende effekt som ved dyrkning af korn med efterafgrøder. Det bemærkes, at det er en forudsætning, at fabriksroer dyrkes under de samme dyrkningsbetingelser, som fabriksroer hidtil er blevet dyrket (Hansen et al., 2014), dvs. på lerjord i et forholdsvist nedbørsfattigt klima som i den østlige del af Danmark. Under disse betingelser er udvaskningsreduktionen estimeret til at svare til effekt af en efterafgrøde på lerjord, dvs. 12-24 kg N/ha (se kapitel 7.1 Efterafgrøder). Som beskrevet i Hansen et al. (2014) er der fundet modstridende resultater for effekt på udvaskningen af at efterlade roetop ved høst. Det vurderes, at vidensgrundlaget er for ringe til, at efterladelse af roetop kan indgå i effektberegningen mht. udvaskning.

Kvælstofgødning til fabriksroer antages til at være 134 kg/ha (Landbrugsstyrelsen, 2022). Dyrkning af fabriksroer kan betyde, at jordens kulstoflager reduceres med op til 300 kg C/ha, hvis roetoppen fjernes, og med 0 til 150 kg C/ha, hvis roetoppen efterlades (Hansen et al., 2019). Ved at vælge midtpunkter på henholdsvis 75 og 150 kg C/ha, vil CO_2 emissionen øges med henholdsvis 275 og 550 kg CO_2/ha. Fjernelsen af roetoppen vil dog reducere lattergasemissionen fra planterester. Hvis tørstofudbyttet i roetoppen antages at være 4,7 tons/ha (Hansen et al., 2019) og kvælstofkoncentrationen i roetoppen antages at være 2,6 % (Landsudvalg for kvæg, 1990), vil kvælstoffet i roetoppen være 122 kg N/ha. Disse planterester svarer til en lattergasemission på 571 kg CO_2-ækv. Sammenlignet med korndyrkning (referencesituationen), vil reduktionen i lattergasemission fra kvælstofgødning, planterester, ammoniakfordampning og nitratudvaskning være henholdsvis 173, -244, 7 og 39 kg CO_2-ækv./ha uden fjernelsen af toppen og 173, 71, 7 og 39 kg CO_2-ækv/ha med fjernelsen af toppen. Samlet vil klimaeffekten være -231 eller -191 kg CO_2-ækv./ha uden og med fjernelse af toppen.

Fodersukkerroer

Dyrkes fodersukkerroer og fabriksroer under samme betingelse (mht. jordtype, klima, bedriftstype, gødskning, osv.) antages begge typer roer at være lige effektive til at reducere udvaskningen. Dyrkes fodersukkerroer på sandet jord i et nedbørsrigt klima og i sædskifter med kløvergræs og tilførsel af husdyrgødning og højere kvælstofnorm kan risikoen for udvaskning være større end for fabriksroer dyrket i deres typiske dyrkningsområde. Der savnes dog forsøg med fodersukkerroer, som gødes efter de nuværende økonomisk optimale gødningsniveauer, hvorfor der ikke er grundlag for en mere præcis vurdering af deres udvaskningsreducerende effekt.

Fodergræs (græs i renbestand og kløvergræs)

Risikoen for udvaskning fra græs og kløvergræs i udlægs- og produktionsårene (dvs. før ompløjning eller anden destruktion) afhænger af flere forhold, bl.a. forudgående dyrkningshistorie, gødningstilførsel, udbytteniveau, benyttelse og antal år siden græsset blev udlagt. Det vurderes, at udvaskningsreduktionen i forhold til en hovedafgrøde uden lang vækstsæson er mindst på niveau med udvaskningsreduktionen ved dyrkning af efterafgrøde (dvs. mindst 12-45 kg N/ha) med et gennemsnit på 29 kg N/ha.

Klimaeffekten af fodergræsdyrkning beregnes i forhold til korndyrkning (referencesituationen). For fodergræs i renbestand, er N inputtet i handelsgødning antaget til at være 390 kg/ha/år (Landbrugsstyrelsen, 2022). Reduktionen i nitratudvaskning i dyrkningsåret er antaget at være 29 kg N/ha. Reduktionen i lattergasemission fra kvælstofgødning, planterester, ammoniakfordampning og nitratudvaskning vil være henholdsvis -1.011, -414, -12 og 61 kg CO_2-ækv./ha. Fossilenergiforbruget til markoperationer er estimeret til at være lidt højere for fodergræs end for korndyrkning (446 kg CO_2-æk/ha). Mikkelsen et al. (2022) estimerer C-lagring ved at skifte fra korndyrkning til græs til at være 540 kg C/ha/år, eller 1.980 kg CO_2-ækv./ha. Tilsammen er reduktionen i emissionen estimeret til 520 kg CO_2-ækv./ha. For fodergræs med bælgplanter (under 50 %), er N inputtet i handelsgødnings antaget at være 285 kg/ha/år (Landbrugsstyrelsen, 2022). Reduktionen i lattergasemission fra kvælstofgødning, planterester, ammoniakfordampning og nitratudvaskning vil være henholdsvis -519, -212, 8 og 61 kg CO_2-æk/ha. Fossilenergiforbruget og C-lagring antages at være som for fodergræs i renbestand. Tilsammen er reduktionen i emissionen estimeret til 1.233 kg CO_2-ækv./ha.

Frøgræs

Den udvaskningsreducerende effekt af frøgræs i perioden indtil ompløjning er vurderet til mindst på niveau med udvaskningsreduktionen ved dyrkning af en efterafgrøde (dvs. mindst 12-45 kg N/ha) med et gennemsnit på 29 kg N/ha. Klimaeffekten af frøgræsdyrkning i forhold til korndyrkning (referencesituationen) er afhængig af hvilken art og sort, der dyrkes, da den tilladte kvælstofgødning varierer. Hvis man antager en kvælstofgødskning på 170 kg N/ha (Landbrugsstyrelsen, 2022), som er tæt på de 171 kg N/ha for korndyrkning, og at reduktionen i nitratudvaskning i dyrkningsåret er 29 kg N/ha i gennemsnit, vil reduktionen i

lattergasemission fra kvælstofgødning, planterester, ammoniakfordampning og nitratudvaskning være henholdsvis 5, 2, 0 og 62 kg CO_2-ækv./ha. Frøgræsdyrkning er antaget at være sammenlignelig med korndyrkning, hvorfor der ikke er ændringer i det fossile energiforbrug. I Hansen et al. (2014) var kulstoflagring i frøgræsmarker skønnet til 2,9 tons CO_2-ækv./ha, men der var og er ingen empiriske data til at understøtte skønnet. Den samlede reduktion med og uden den skønnede kulstoflagring er dermed henholdsvis 0,07 og 2,97 tons CO_2-ækv./ha.

7.13.4 Samspil til andre virkemidler

Afgrøder med stort kvælstofoptag kan ikke anvendes sammen med andre fladevirkemidler, der involverer plantedyrkning om efteråret. Men afgrøder med stort kvælstofoptag kan anvendes samtidigt med fladevirkemidler, der involverer gødskning. I disse tilfælde forventes effekterne ikke at være additive. Reduceret kvælstofudvaskning ved dyrkning af afgrøder med stort kvælstofoptag vil betyde, at der kvantitativt kan fjernes mindre kvælstof ved samtidig anvendelse af dræn- og vandløbsvirkemidler.

7.13.5 Usikkerheder

Effekten ved dyrkning af fabrikssukkerroer, som de hidtil er blevet dyrket (dvs. i nedbørsfattige områder ved forholdsvist lavt handelsgødnings-niveau i sædskifte med andre salgsafgrøder), er baseret på forholdsvis mange forsøg. Effekten af fodersukkerroer, som hidtil er dyrket med større gødningsnorm end fabriksroer og i områder med mere sandet jord i et mere nedbørsrigt klima og i grovfodersædskifter tilført husdyrgødning, er mere usikker. Der savnes undersøgelser over, hvor stor betydning efterladelse af roetop har for roers udvaskningsreducerende effekt ved forskellige gødningsniveauer. Effekten af græs i udlægs- og produktionsårene er forholdsvist sikkert bestemt, men der er usikkerhed om betydningen af mere langvarig dyrkning af græsmarker ved højt gødningsniveau.

Generelt for afgrøder med stort kvælstofoptag er tallene store og særdeles usikre, hvilket gør det samlede estimat meget usikkert. Det gælder især for fodergræs og fabriksroer.

Referencer:

Børgesen, C.D., Dalgaard, T., Pedersen, B.F., Kristensen, T., Jacobsen, B.H., Jensen, J.D., Gylling, M., Jørgensen, U. (2018). Kan reduktionsmålsætninger for nitratudvaskning til Limfjorden opfyldes ved øget dyrkning af biomasse? DCA Rapport nr. 131, november 2018. https://pure.au.dk/portal/files/136780099/Levering_Biomasseproduktion_i_Limfjordsopland.pdf

Hansen, E.M., Søegaard, K., Børgesen, C.D., Boelt, B., Gislum, R., Rubæk, G.H., Schelde, K., Olesen, J.E., Jacobsen, B.H., Eberhardt, J.M. (2014). Afgrøder med høj kvælstofoptag. I: Eriksen, J., Jensen, P.N. og Jacobsen, B.H. (redaktører), Virkemidler til realisering af 2. generations vandplaner og målrettet arealregulering, side 43-50. https://pure.au.dk/ws/files/84646400/Virkemiddelkatalog_web.pdf

Hansen, E.M., Christensen, B.T., Jørgensen, L.N., Kudsk, P., Nørremark, M., Jørgensen, M., Thomsen, I.K. (2019). Notat om status for eksisterende viden om roedyrknings effekter for miljø, natur og klima. Notat til Landbrugsstyrelsen 11. juli 2019. https://pure.au.dk/portal/files/155985798/Status_for_eksisterende_viden_om_roedyrknings_effekter_Juni_2019.pdf

Hansen, E.M., Thomsen, I.K., Lærke, P.E., Jørgensen, U., Boelt, B., Gislum, R., Rasmussen, J., Rubæk, G.H., Kudsk, P., Strandberg, B., Bruus, M., Hutchings, N.J., Pedersen, M.F. (2020). Afgrøder med stort kvælstofoptag. I: Eriksen, J., Thomsen, I.K., Hoffmann. C.C., Hasler, B., Jacobsen, B.H. (redaktører). Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. DCA rapport nr. 174, side 127-137. https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArap-port174.pdf

Landbrugsstyrelsen (2022). Vejledning om gødsknings- og harmoniregler. Planperioden 1. august 2022 til 31. juli 2023. https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Goedningsregnskab/Vejledning_om_goedskning_og_harmoniregler_2022_2023.pdf

Landsudvalg for kvæg (1990). Fodertabellen.

Mikkelsen, M.H., Albrektsen, R., Gyldenkærne, S. (2022). Sammenligning af klimaeffekter - Emissionsopgørelse, emissionsfremskrivning og Klimaeffekttabel. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 166 s. – Videnskabelig rapport nr. 501. http://dce2.au.dk/pub/SR501.pdf

7.14 Skærpet udnyttelseskrav for N i udvalgte typer husdyrgødning (KVM7.14)

Forfatter(e): Peter Sørensen og Nicholas J. Hutchings, begge fra Institut for Agroøkologi

Fagfællebedømmer: Mathias Neumann Andersen, Institut for Agroøkologi

En betydelig del af dette afsnit er kopieret fra "Virkemidler til reduktion af kvælstofudvaskningen" (Eriksen et al., 2020), suppleret med nye informationer.

7.14.1 Anvendelse

Udnyttelseskravet for husdyrgødning angiver, hvor stor en andel af kvælstof i husdyrgødning, der skal indregnes i gødningsregnskaber, og dermed hvor meget supplerende kvælstofgødning landbrugsbedrifter kan anvende. Med dette virkemiddel øges udnyttelseskravet for udvalgte typer husdyrgødning. Der er taget udgangspunkt i udnyttelseskravene frem til 2019-20, der er vist i Tabel 7.10 (udvalgte gødninger) og Tabel 7.11 (kvæg- og svinegylle) og regnet på effekten af nye udnyttelseskrav indført fra gødningsåret 2020-21.

Ændringer i udnyttelseskrav forventes ikke at ændre på mængden af udbragt husdyrgødning, men vil udelukkende have betydning for, hvor meget handelsgødning der kan udbringes, og effekten heraf kan beregnes ud fra marginaludvaskningen fra tilført handelsgødning.

Tabel 7.10. Udnyttelseskrav frem til 2019-20 (Anonym, 2019) og nye udnyttelseskrav fra 2020-21, samlet kvælstofmængde i udvalgte typer husdyrgødning og mængde til økologiske bedrifter (AU udtræk af data fra gødningsregnskaber 2016-17), samt betydning af ændret krav på kvælstofnorm (husdyrgødning til økologiske bedrifter er fraregnet). Marginaludvaskningen fra den sparede handelsgødning er beregnet med en udvaskningsfaktor på 20 % (Børgesen et al., 2015).

Gødningstype	**Ud-nyttelses-krav 2019-20**	**Ud-nyttelses-krav fra 2020-21**	**Dif-ferens**	**Mængde total**	**Mængde økologi**	**Handels-gødning ækvivalent 1)**	**Marginal udvas-kning han-delsgødning**
	[%]	[%]	[%-point]	(tons N/år)	tons N/år	tons N/år	tons N/år
Minkgylle	70	75	5	1.288	266	51	10
Fjerkrædybstrøelse	45	70	25	7.800	1.170 2)	1.657	331
Fjerkrægylle	70	80	10	22	12	1	0,2
Fjerkræ fast gødning	65	70	5	-			
Ajle	65	85	20	567	21	109	22
Fast gødning	65	55	-10	495	73	-42	-8
Dybstrøelse	45	50	5	17.761	2.664	755	151
Total				27.932	4.206	2.531	506

1) Beregnet som: (tons N total – tons N til økologi) x ændret udnyttelseskrav.

2) Der findes ikke opgørelse af fjerkrædybstrøelse til økologi, men det er antaget, at 15 % af fjerkrædybstrøelse anvendes på økologiske bedrifter svarende til andelen for indberettet dybstrøelse til økologiske bedrifter (2016-17).

De angivne mængder kvælstof i forskellige typer husdyrgødning i Tabel 7.10 er hentet fra indberetninger i gødningsregnskaberne fra 2016-17, og er nærmere beskrevet i Eriksen et al (2020).

I Tabel 7.10 er angivet mængden af husdyrgødning anvendt på økologiske bedrifter i 2016-17. Ved beregning af effekten er denne del trukket ud, idet ændringer i udnyttelseskravet ikke vil have effekt for gødning anvendt på økologiske bedrifter. Det betyder også, at ændringer i det økologiske areal vil have betydning for effekten af dette virkemiddel. Der har efter 2017 været et stigende økologisk areal, og effekten heraf er ikke indregnet.

Da de økologiske regler om gødningsanvendelse tager udgangspunkt i "virksomt kvælstof", svarende til udnyttelseskravet, kan en ændring af udnyttelseskrav også påvirke anvendelsen af gødning på økologiske bedrifter. Dette er ikke indregnet her.

Fra gødningsåret 2020-21 er gennemført en stramning af udnyttelseskravet for svine- og kvæggylle samt afgasset gylle. Effekten heraf på nitratudvaskningen er vist i tabel 7.11. Det vurderes, at der potentielt kan opnås en gødningsvirkning, svarende til det nye udnyttelseskrav, hvis al gylle enten nedfældes eller forsures, og ammoniaktabet derved reduceres. En reduktion i ammoniaktabet medfører imidlertid også, at der bliver mere kvælstof tilbage i jorden, der kan udvaskes. Hvis en stramning af udnyttelseskravet på 5 %-point opvejes fuldstændigt af en reduktion i ammoniakfordampningen svarende til 5 % af total N i gyllen, vil der ikke være nogen nettoeffekt på den direkte udvaskning fra arealet. I det følgende er det antaget at håndtering af gylle og ammoniakfordampningen er uændret efter stramningen af udnyttelseskravet.

Tabel 7.11. Effekter af højere udnyttelseskrav for svine- og kvæggylle samt afgasset gylle gennemført fra 2020-21 (+ 5 %-point) på reduktion i forbrug af handelsgødning og reduktion af udvaskning, samt beregnet nettoeffekt på kvælstofudvaskningen, hvis der samtidigt sker en af reduktion af ammoniaktab svarende til 5 % af total N i gyllen. Der er regnet med en marginaludvaskning fra handelsgødning på 20 % (Børgesen et al., 2015). Gylle tilført økologiske bedrifter (2016-17) er fratrukket.

Gødningstype	**Ud-nyttelses-krav før 2020**	**Ud-nyttelses-krav fra 2020-21**	**Øget krav**	**Mængde total**	**Mængde økologi**	**Handels-gødning ækvivalent[1])**	**Marginal udvaskning han-delsgødning**
	(%)	(%)	(%-point)	(tons N/år)	(tons N/år)	(tons N/år)	(tons N/år)
Svinegylle	75	80	5	38.459	2.705	1.788	358
Kvæggylle	70	75	5	39.449	8.084	1.568	314
Blandet gylle	72,5	77,5	5	81.899	6.870	3.751	750
Afgasset gylle	Variabel	Variabel	5	13.091	213	644	129
Total				172.898	17.873	7.751	1.550

1. Beregnet som: (tons N total – tons N til økologi) x ændret udnyttelseskrav.

7.14.2 Relevans og potentiale

Forudsætninger og potentiale for reduktion i tilført handelsgødning og reduktion af nitratudvaskningen er sammenstillet i Tabel 7.10 og Tabel 7.11. Det samlede potentiale for reduktion i handelsgødning er på 2531 + 7.751 tons N/ha = 10.282 tons N/år, hvis ændringen i udnyttelseskrav fuldt ud afspejles i forbruget af handelsgødning. Det samlede potentiale for reduktion i nitratudvaskning, svarende til

marginaludvaskningen fra den sparede handelsgødning, er opgjort til 506 + 1.550 tons N/år = 2.056 tons N/år.

7.14.3 Effekt på drivhusgasudledning

En skærpelse af udnyttelseskravet for kvælstof vil reducere handelsgødningsforbruget og dermed den direkte lattergasemission fra udbragt handelsgødning, og den indirekte lattergasemission fra både ammoniakemission og kvælstofudvaskning. En oversigt over effekterne er vist i Tabel 7.12. Det er antaget, at husdyrgødningen håndteres på samme vis efter en stramning af udnyttelseskravet.

Effekten beregnes som reduktion i tilført handelsgødning ganget med marginaludvaskningen fra tilført handelsgødning (Børgesen et al., 2015). Den kortsigtede gennemsnitlige marginaludvaskning fra handelsgødning er sat til 20 % under hensyn til, at 80 % af husdyrgødningen udbringes på sandjord og i områder med relativ høj nedbør.

Der antages en direkte N_2O emission fra handelsgødning på 0,01 kg N_2O-N/kg N og indirekte emission af N_2O fra nitratudvaskning på 0,0046 kg N_2O-N/kg N. Der antages ammoniaktab fra handelsgødning på 0,04 kg NH_3-N/kg N (Mikkelsen et al., 2022) og indirekte N_2O emission fra den fordampede ammoniak på 0,01 kg N_2O-N/kg N (Eriksen et al. 2020). Endvidere regnes med 298 kg CO_2-ækv/kg N2O.

Tabel 7.12. Direkte og indirekte effekter af ændret anvendelse af handelsgødning på lattergasemissionen ved en stramning af udnyttelseskrav i scenarie 1 og scenarie 2.

Gødningstype	**Reduktion af handelsgødning**	**Reduktion i direkte N_2O fra handelsgødning**	**Reduktion i indirekte N_2O fra udvaskning**	**Reduktion i indirekte N_2O fra NH_3 emission**	**I alt**
	(tons N/år)	(kt CO_2-ækv)			
Gødninger i Tabel 7.10:					
Udvalgte typer	2.531	11,9	1,10	0,47	13,4
Gødninger i Tabel 7.11:					
Svinegylle	1.788	8,4	0,77	0,33	9,5
Kvæggylle	1.568	7,3	0,68	0,29	8,3
Blandet gylle	3.751	17,6	1,62	0,70	19,9
Afgasset gylle	644	3,0	0,28	0,12	3,4
Total (Tabel 2)	7.751	36.3	3,34	1,45	41,0

Den samlede reduktion i klimagasemissioner er cirka 13 kt CO_2-ækv/år for gødninger i Tabel 1 og cirka 41 kt CO_2-ækv./år for kvæg- og svinegylle i Tabel 7.11. Dette svarer til cirka 5,3 kg CO_2-ækv./reduceret kg N input.

7.14.4 Samspil til andre virkemidler

Der vil være samspil med f.eks. minivådområder og efterafgrøder.

7.14.5 Usikkerheder

Der vil være samme usikkerhed som for Reduceret tilførsel af mineralsk kvælstofgødning.

Referencer:

Børgesen, C.D., Thomsen, I.K., Hansen, E.M., Kristensen, I.T., Blicher-Mathiesen, G., Rolighed, J., Jensen, P.N., Olesen J.E., Eriksen, J. (2015). Notat om tilbagerulning af tre generelle krav, normreduktion, obligatoriske efterafgrøder og forbud mod jordbearbejdning i efteråret. Aarhus Universitet. http://pure.au.dk/portal/files/95991713/Notat_om_tilbagerulning_af_tre_generelle_krav_Normreduktion_Obligatoriske_efterafgr_der_og_Forbud_mod_jordbearbejdning_i_efter_ret_111115.pdf.

Eriksen, J., Thomsen, I.K., Hoffmann, C.C., Hasler, B., Jacobsen, B.H., Baattrup-Pedersen, A., Strandberg, B., Christensen, B.T., Boelt, B., Iversen, B.V., Kronvang, B., Børgesen, C.D., Abalos Rodriguez, D., Zak, D.H., Hansen, E.M., Blicher-Mathiesen, G., Rubæk, G.H., Ørum, J.E., Rasmussen, J., ... Jørgensen, U. (2020). Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet - DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. DCA rapport Nr. 174 https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport174.pdf

Mikkelsen, M.H., Albrektsen, R., Gyldenkærne, S. (2022). Sammenligning af klimaeffekter - Emissionsopgørelse, emissionsfremskrivning og Klimaeffekttabel. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 166 s. - Videnskabelig rapport nr. 501 http://dce2.au.dk/pub/SR501.pdf

7.15 Nitrifikationsinhibitorer (KVM7.15)

Forfattere: Søren O. Petersen, Institut for Agroøkologi; Marianne Bruus, Paul Henning Krogh, begge fra Institut for Ecoscience og Anne Winding, Institut for Miljøvidenskab

Fagfællebedømmer: Nicholas J. Hutchings, Institut for Agroøkologi

Nitrifikation er en mikrobiel omdannelse i to trin af ammonium (egt. ammoniak) til nitrat. Nitrifikationshæmmere er en divers gruppe additiver til kvælstofholdig gødning, herunder gylle, som er udviklet til at hæmme processens første trin. Nitrifikationshæmmere mindsker risikoen for kvælstoftab og udbyttereduktion i år med høj forårsnedbør, mens der sjældent ses signifikante merudbytter med den aktuelle anvendelse.

7.15.1 Anvendelse

Nitrifikationshæmmere er udviklet til brug sammen med handelsgødning såvel som husdyrgødning (gylle), med formuleringer som er tilpasset anvendelsen. Formålet med anvendelsen er at forsinke dannelsen af

nitrat i jorden. Nitrat er mobilt, og der er på sandjord risiko for udvaskning fra rodzonen ved overskudsnedbør. Nitrat indgår desuden i denitrifikation, der sammen med nitrifikation er vigtigste kilde til lattergas, som er en kraftig drivhusgas. Nitrifikationshæmmere kan således være et virkemiddel i forhold til både kvælstof-udnyttelse og klima (Olesen et al., 2018). Der er i landsforsøgene gennemført en række forsøg med nitrifikationshæmmere i typiske kombinationer af afgrøde og jordtype; kun ved dyrkning af majs på grovsandet jord (JB1) er der målt et merudbytte (Oversigt over Landsforsøgene, 2016; 2020; 2021). Derfor må nitrifikationshæmmere primært betragtes som et klimavirkemiddel.

Indarbejdelse af effekter i den nationale opgørelse af landbrugets drivhusgasemissioner kan ske ved at anvende en Tier 2-metode, hvor en korrigeret national emissionsfaktor fastsættes for ammoniumholdig gødning anvendt med, hhv. uden en nitrifikationshæmmer. Nationale emissionsfaktorer skal dokumenteres igennem et relevant måleprogram, hvor også lattergasemission fra gødningen uden nitrifikationshæmmer skal dokumenteres og implementeres som en Tier 2-metode.

7.15.2 Relevans og potentiale

Effekten af nitrifikationshæmmere på udvaskning forventes at være størst på sandjord med dyrkning af majs, roer og kartofler, som på grund af sen kvælstofoptagelse har en forhøjet risiko for tab ved kraftig nedbør i forårsperioden. Majs dyrkes primært på kvægbedrifter, der tilføres kvælstof i form af gylle (Olesen et al., 2018). Olesen et al. (2018) præsenterede en beregning af udvaskningsreduktion for kvælstof i gylle udbragt på JB1-4, og den tilhørende klimaeffekt. Ved dyrkning af majs på sandjord med høj udvaskningsrisiko kan nitrifikationshæmmere være et udgiftsneutralt virkemiddel mod kvælstoftab om foråret (Oversigt over Landsforsøgene 2020), og dermed et "gratis" klimavirkemiddel. For andre anvendelser vil omkostningseffektiviteten af nitrifikationshæmmere som klimavirkemiddel afhænge af potentialet for at reducere den direkte emission af lattergas fra marken (se afsnit 7.15.3).

Al flydende husdyrgødning, dvs. gylle og ajle, fra konventionelle brug kan behandles med nitrifikationshæmmere. Produktionen af flydende husdyrgødning var i 2015 38,3 mio. tons, heraf 14,7 mio tons fra malkekvæg (kilde: DCE, pers. medd. M.H. Mikkelsen). Omkring 9% heraf, primært fra malkekvæg, produceres på økologiske bedrifter, hvor der ikke er mulighed for at anvende nitrifikationshæmmere.

Ved anvendelse af handelsgødning har kvælstofformen betydning. Omkring 60 % er ammonium-N (estimeret på basis af NaturErhvervstyrelsen, 2015; 2016), hvis omsætning kan forsinkes ved brug af en nitrifikationshæmmer. Plantevæksten kan have fordel af en mindre startpulje af nitrat, men der kunne sættes en grænse på maksimalt 10% af total N i gødningen.

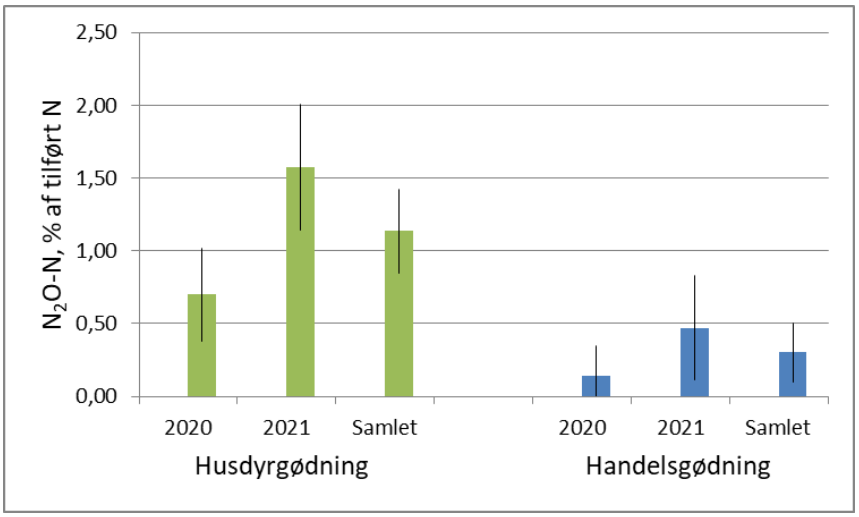
7.15.3 Effekt på drivhusgasudledning

Meta-studier af udenlandske undersøgelser har vist en gennemsnitlig reduktion af lattergasemissionen på 38 % (Akiyama et al., 2010) og 44 % (Qiao et al., 2015). Tilsvarende er der fundet en gennemsnitlig reduktion

af nitratudvaskning, som er en indirekte kilde til lattergas, på 48% (Qiao et al., 2015). Der er de senere år igangsat flere undersøgelser af lattergasemission og effekt af nitrifikationshæmmere under danske forhold. Et lysimeterforsøg 2017-2018 med tilførsel af kvæggylle til majs på grovsandet jord (Nair et al., 2020) fandt en reduktion på 46-67 % ved naturlig nedbør, og 44-48 % ved forhøjet forårsnedbør. Et opfølgende måleprogram 2018-2019 fandt tilsvarende en reduktion på 82 % i lysimeterforsøget. I et parcelforsøg med handelsgødning til vårbyg og vårraps i Østdanmark (Tariq et al., 2022) fandt man gennemsnitlige reduktioner på 16 og 58 %, men lattergasemissioner var generelt lave, og de nævne effekter var ikke statistisk signifikante.

Der blev i 2020 og 2021 gennemført forsøg på to lokaliteter med tre nitrifikationshæmmere, som blev tilført sammen med henholdsvis handelsgødning og svinegylle. De i alt 10 forsøgsbehandlinger indgik i parcelforsøg med vårbyg det første år, og vinterhvede i det følgende år. Resultaterne viste på begge lokaliteter det højeste niveau for lattergasemission og den største absolutte reduktion af lattergasemissionen med svinegylle til vårbyg. For vinterhvede var emissionsniveau og behandlingseffekter mindre klare, ligesom der var forskelle mellem de tre nitrifikationshæmmere mht. effekt på lattergasemission, som der er behov for at undersøge nærmere. Undersøgelserne af nitrifikationshæmmere fortsætter i 2022 med udvalgte behandlinger på fire lokaliteter; resultater herfra indikerer, at både jordtype og nedbør påvirker såvel niveauet for lattergasemission som effekten af nitrifikationshæmmere på lattergasemission.

Klimaeffekten af at anvende nitrifikationshæmmere vil afhænge af reference-situationen, det vil sige emissionen af lattergas med den aktuelle praksis. Her fandt kampagner med en række gødningsmaterialer (kvæggylle, svinegylle, afgasset gylle, NS27-4, NPK og urea) på fire lokaliteter i Danmark i 2020 og 2021, at der var et højere niveau for lattergasemission med de organiske gødninger sammenlignet med handelsgødning (Figur 7.2). Selvom der ikke er tale om årlige emissionsfaktorer, så dækker disse målinger nitrifikationshæmmeres forventede opholdstid i jorden. Disse resultater antyder, at effekten af at anvende nitrifikationshæmmere vil være størst, hvis den målrettes husdyrgødning.



Figur 7.2. Sammenfatning af lattergastab, i procent af tilført N, på fire lokaliteter i en periode på 2-3 måneder efter tilførsel af en række kvælstofholdige gødninger til vårbyg i 2020 og 2021. Den viste usikkerhed repræsenterer 95% konfidensintervaller.

7.15.4 Samspil til andre virkemidler

Ved at mindske risikoen for miljømæssige tab i perioden før planteoptagelse, er der principielt grundlag for bedre kvælstofudnyttelse ved brug af nitrifikationshæmmere, særligt i afgrøder med sen vækststart. Alligevel er den overordnede konklusion af danske markforsøg med nitrifikationshæmmere i handels- eller husdyrgødning til vårbyg, vinterhvede, vinterraps, majs og kartofler, at man generelt ikke ser signifikante merudbytter (Kjellerup, 1991; Oversigt over Landsforsøgene 2018). Dette var også konklusionen af en meta-analyse af markforsøg udført i Tyskland (Hu et al., 2014), som analyserede alle tyske markforsøg med vinterhvede, vinterbyg, vinterraps, kartofler og majs uden at finde signifikant merudbytte for nogen af afgrøderne. Samlet set tyder de tilgængelige forsøgsresultater på, at en effekt på nitratudvaskning under danske forhold kun kan forventes ved væsentlig nettoafstrømning i forårsperioden. Der er desuden et samspil med omsætningen af andre kvælstofpuljer, som ikke er tilstrækkeligt belyst.

7.15.5 Usikkerheder

De mange nye måleresultater fra klimaforskningsprojekter har konsekvenser for vurderingen af nitrifikationshæmmeres effekt. I en tidligere beskrivelse af nitrifikationshæmmere (Olesen et al., 2018) blev den direkte effekt af nitrikationshæmmere vurderet til 1,87 kg CO_2 ækv pr. kg N under forudsætning af *global warming potential* (GWP) for lattergas på 298; i den aktuelle rapport anvendes værdien 265 (Myhre et al., 2013), som vil blive anvendt fremadrettet. Forudsætninger for denne beregning var en lattergasemission svarende til 0,01 kg N_2O-N pr. kg tilført N, og en 40 % reduktion med brug af nitrifikationshæmmer. Foreløbige opgørelser af resultater fra igangværende forsøg ser ud til at bekræfte disse forudsætninger, hvis effekter opgøres på tværs af alle gødningstyper og udbringningssituationer (ikke

publicerede resultater). Der er dog markante forskelle mellem gødningstyper, og formentlig effekter af jordtype og klima, som kan påvirke effekten af at anvende nitrifikationshæmmere. For eksempel fremgår det af Figur 7.2, at lattergasemissionen fra husdyrgødning er lige så stor som, eller større, end forudsat, mens det modsatte er tilfældet for handelsgødning. Dubgaard og Ståhl (2018) opgjorde en potentiel klimaeffekt for brug af nitrifikationshæmmere til handelsgødning på 496.238 t CO_2 ækv i 2030, men med de nye undersøgelser er denne effekt for handelsgødning usikker. Derimod er potentialet for reduktion af lattergasemission ved anvendelse sammen med husdyrgødning som gennemsnit for landet blevet bekræftet af de igangværende forsøg.

7.15.6 Sideeffekter

Som tidligere beskrevet (Eriksen et al., 2020) er nitrifikationshæmmere en meget divers stofgruppe, og konklusioner om et stof kan ikke overføres til andre. Tabel 7.13 viser egenskaber for udvalgte produkter, der anvendes i Danmark eller omkringliggende lande.

Tabel 7.13. Udvalgte egenskaber for nitrifikationshæmmere som markedsføres i Danmark eller omkringliggende lande (modificeret fra Eriksen et al. 2020).

Handelsnavn	Aktiv-stof	Dosering	Kommentarer	Leverandør
Piadin	1H-1,2,4-triazol + 3-metylpyrazol	3-7 liter/ ha [1)]	1,2,4-triazol er også et nedbrydnings-produkt af svampemidler som f.eks. epoxiconazol	SKWP, Tyskland
N-Lock (fra 2022 erstattet af Instinct)	2-chlor-6-trichlormetyl pyridin (nitrapyrin)	2,5 liter/ha [2), 3)]	høj flygtighed, kun til anvendelse sammen med gylle eller flydende handelsgødning; nedbrydes til 6-chlorpicolinsyre (herbicid)	Corteva Agriscience (Dow Agrosciences)
Vizura	3,4-dimetylpyrazol fosfat (DMPP)	2-3 liter/ha [4)]	begrænset mobilitet i jorden, kun til anvendelse sammen med gylle eller flydende handelsgødning	BASF
Didin	dicyandiamid (DCD) + urease inhibitor	10-15 liter/ha (handelsgødning, afgasset gylle); 20-25 liter/ha (frisk gylle) [5)]	meget vandopløselig; høj dosering; DCD med høj kvælstofandel, som kan give planteskader	Omex Agriculture Ltd, Storbritannien

1) https://www.piadin.de/en/#yield
2) https://www.corteva.dk/produkter/plantevaern/n-lock.html
3) https://www.corteva.dk/produkter/plantevaern/instinct.html
4) https://www.agro.basf.dk/da/Produkter/Produktsogning/Nitrogen/Vizura.html
5) https://www.omex.com/products/uk-agriculture-products/crops/potatoes/didin/

7.15.6.1 Udvaskningsrisiko

En kort sammenfatning af litteratur om udvaskningsrisiko for nitrifikationshæmmere og nedbrydningsprodukter blev præsenteret i Eriksen et al. (2020). Der er ikke fundet ny viden om de nitrifikationshæmmere, som nævnes i Tabel 7.13.

7.15.6.2 Toksicitet

Nitrifikationshæmmere og andre tilsætningsstoffer til gødning er omfattet af EU Regulation 2019/1009[4]. CE-mærkede produkter er godkendt til brug i alle EU-lande, og indholdsstofferne skal registreres i den fælleseuropæiske kemikaliedatabase REACH [5]. Der er ikke formelle krav til en kvantitativ risikovurdering inden markedsføring (John Jensen, pers. comm.), og som beskrevet i Eriksen et al. (2020) findes derfor kun få studier af økotoksikologiske effekter. Følgelig er der behov for en vurdering af de enkelte nitrifikationshæmmeres spredningsveje og effekter i det miljø, hvor stofferne anvendes, dvs. dyrkningsjord. Nitrifikationshæmmere forventes at have en umiddelbar negativ effekt på ammoniumoxiderende mikroorganismer, som er målgruppe for stofferne. Nitrifikation er en nøglefunktion og anvendes som indikatorer for jordkvalitet (ISO Standard 14238; Griffiths et al., 2016). Varigheden af denne påvirkning er ikke undersøgt under danske markforhold. Forudsat at der ikke er toksiske effekter af de enkelte nitrifikationshæmmere, forventes ingen effekt på natur og biodiversitet.

Både tidligere (se Eriksen et al., 2020) og nyere undersøgelser, bl.a. Bachtsevani et al. (2021) og Schmidt et al. (2022), har vist, at de forskellige aktivstoffer og formuleringer har meget forskellige egenskaber og potentielle effekter i naturen. Nitrifikationshæmmere tilføres sammen med en kvælstofkilde, og deres fordeling og interaktion med jordlevende organismer i dyrkningsjorden er således knyttet til omsætningen i næringsrige miljøer. Dette komplicerer risikovurderingen, og der er behov for praksisnær information om de forskellige nitrifikationshæmmeres påvirkning af jordlevende organismer og vandkvalitet.

I projektet "Klima- og Miljøeffekter af Nitrifikationshæmmere (KLIMINI)" [6] undersøges effekten af tre nitrifikationshæmmende produkter (Piadin, N-Lock/Instinct og Vizura) på jordbundens fauna og mikroorganismer både i standardlaboratorietests og under feltforhold på landbrugsjord.

De fire aktivstoffer 1H-1,2,4-triazol og 3-metylpyrazol (Piadin), 2-chlor-6-trichlor-metylpyridin (N-Lock/Instinct, nitrapyrin) og 3,4-dimetylpyrazol fosfat (Vizura, DMPP) er blevet testet for effekter på springhaler, enkytræer og regnorme under laboratoriebetingelser (M. Bruus, ikke publiceret) efter guidelines, som også anvendes ved risikovurdering af pesticider (OECD 2016a,b,c), dvs. aktivstofferne blev homogent opblandet i jord, hvorefter testdyrene blev tilsat. Eksponeringen i laboratoriet kan således ikke direkte sammenlignes med anvendelsen af nitrifikationshæmmere i marken, hvor stofferne udbringes efter opblanding med enten gylle eller handelsgødning. De observerede effekter på jordbundsdyrenes reproduktion efter 28-56 dage blev sammenlignet med de forventede eksponeringsdoser, enten via gylle

[4] "Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and repealing Regulation (EC) No 2003/2003 (Text with EEA relevance)Text with EEA relevance"https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02019R1009-20220716
5 https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006R1907&qid=1662622311358&from=EN
[6] https://projects.au.dk/klimini

(30 t/ha) med maksimale NI-doser (Tabel 7.13) eller ved opblanding af nitrifikationshæmmerne i de øverste 5 cm af dyrkningsjorden.

Toksicitets-eksponeringsratioen, TER, er forholdet mellem NOEC (den højeste dosis, som ikke giver effekter på reproduktion) og den forventede eksponering. TER blev beregnet for en enkelt tilførsel af nitrifikationshæmmer. TER for DMPP varierede i forsøgene med jordbundsdyr mellem 22 og 269 i jord, og mellem 1 og 11 i gylle. De tilsvarende risikokvotienter for nitrapyrin var 3-328 i jord og 0-13 i gylle, for 1H-1,2,4-triazol 20-832 i jord og 1-47 i gylle, og for 3-methylpyrazol 172-480 i jord og 10-43 i gylle. Ved risikovurdering af pesticider giver TER for effekter på reproduktion mindre end 5 anledning til yderligere undersøgelser eller risikomindskende tiltag (European Commission, 2002) og er altså udtryk for potentielt negative effekter. Hvis samme tærskelværdi blev anvendt for nitrifikationshæmmere, hvilket der ikke er krav om, ville eksponeringen i gylle overskride værdien for DMPP, nitrapyrin og 1H-1,2,4-triazol, mens kun nitrapyrin ser ud til at kunne være problematisk for jordbunddyr ved eksponering i de øverste 5 cm af dyrkningsjorden. Hvis nitrifikationshæmmere tilføres flere gange i vækstsæsonen, kan risikoen for negative effekter på jordbundsdyrene øges, afhængigt af om stofferne nedbrydes inden næste tilførsel. Jordbundsdyr forventes at undgå direkte kontakt med det anaerobe og ammoniakholdige miljø i nytilført gylle (fx Curry, 1976), hvorimod gylle efter nogle uger virker tiltrækkende på jordbundsdyr og stimulerer populationsvækst (fx Curry, 1976, Silva et al., 2016). Derfor forventes det største potentiale for eksponering at være ved tilførsel direkte på jorden sammen med handelsgødning eller via gylle, der har ligget nogle uger på jorden/i jorden, hvor koncentrationen af nitrifikationshæmmere forventes at være delvist nedbrudt (Byrne et al., 2020).

I KLIMINI-projektet blev effekten af de nævnte fire aktivstoffer i tre udvalgte nitrifikationshæmmere også undersøgt for effekter på jordens mikrobielle stofomsætning. De fire stoffer blev opblandet i jord i koncentrationer svarende til normal dosis i de øverste 5 cm af jorden samt i stigende koncentrationer (2, 5 og 10 x normal eksponering). De mikrobielle samfunds metaboliske kapacitet blev målt efter 0, 7, 14 og 28 dage med et assay kaldet MicroResp, som måler substratinduceret respiration (SIR) med 6 forskellige kulstofkilder (L-Malic Acid, Gamma amino butyric acid, n-acetyl glucosamine, D(+) glucose, Alpha ketogluterate, Citric acid) samt uden tilsætning af kulstof (Creamer et al., 2009). Denne test af toksiske effekter af de fire NI aktivstoffer følger standardforskrifter (Standard Operation Procedure) modificeret til økotoksikologi i jord (Creamer et al., 2009 ; Wakelin et al., 2013) med test set-up som for C mineralisering i jord ifølge OECD guideline 217 (OECD, 2000). Substrat induceret respiration (mg CO_2 g^{-1} jord $time^{-1}$) viste for alle 4 kemikalier generelt forøget SIR efter 14 dages inkubering i forhold til samme behandlinger uden NI, men ingen ændring efter 7 og 28 dages inkubering. Dette kunne antyde, at nedbrydning af NI aktivstofferne foranlediger øget respiration, som efterfølgende falder tilbage til baggrundsniveau. Dokumentation af dette vil dog kræve målinger af koncentrationen af nitrifikationsinhibitor (NI) i løbet af inkuberingstiden, hvilket ikke er inkluderet i undersøgelserne.

I markforsøg på to lokaliteter med vårbyg i 2020, og vinterhvede i 2020-2021, blev anbefalet dosis af tre forskellige nitrifikationshæmmere tilført sammen med såvel handelsgødning som svinegylle (jfr. afsnit 7.15.3). Jordtypen var en lerblandet sandjord (JB4) i Vestdanmark og en sandblandet lerjord (JB6) i Østdanmark. Her blev jordprøver analyseret for effekter på bakterie- og svampesamfundenes størrelse og biodiversitet 3 uger efter gødskning i marts–april, og igen umiddelbart efter høst i august-september. Samlet set var variationen i sammensætning af de mikrobielle samfund, som kunne forklares med jordtype, gødningstype og forskelle mellem år mere betydende end effekten af nitrifikationshæmmerne. Der blev i 2020 og 2021 fundet få effekter af nitrifikationshæmmerne på mikroleddyr og regnorme i markforsøgene. Disse var som regel væk i efterårssæsonen.

Da foråret i 2020 var varmt og tørt, og i 2021 koldt og vådt, er det vanskeligt at drage generelle konklusioner om miljøeffekter af nitrifikationshæmmerne. Undersøgelserne fortsætter i 2022 og 2023 på JB6-jorden, hvor der således vil foreligge resultater for påvirkningen efter 4 års eksponering for nitrifikationshæmme. For dels at kunne estimere effektniveauer under feltbetingelser, og dels at simulere effekter af højere doser, som vil forekomme efter gødskning af græs, som kan forekomme op til 4 gange gennem en sæson, er KLIMINI-forsøget i 2022-2023 udført med stigende doser tilført umiddelbart efter såning af vårbyg. De første resultater herfra viser, at jordbundens mikroleddyr først hæmmes af DMPP tilført i 10 × normal dosis med svinegylle, men omkring høst var nogle populationer signifikant fordoblede ved denne dosis. Ved 3 × normaldosering sås ingen effekter af DMPP. For nitrapyrin (Instinct®) sås ikke effekter. På trods af korttidseffekterne, der halverede antallet af jordmider, vendte disse sig til øgede populationer som udtryk for, at høje DMPP doser kan ændre jordbundens økosystem. Sådanne ændringer kan skyldes, at økosystemet er usundt på andre parametre, selvom vi ser stimulationer.

7.15.7 Sammenfatning

På baggrund af de foreløbige observationer må klimaeffekten af nitrifikationshæmmere til handelsgødning vurderes at være mere usikker end effekten af nitrifikationshæmmere til handelsgødning. Dette skyldes ikke en forventet forskel i den specifikke effektivitet med hhv. handels- og husdyrgødning i situationer med lattergasemission. Det skyldes i højere grad, at der under danske forhold med hensyn til jordtype og klima er en større risiko for lattergasemission, og dermed et større reduktionspotentiale, for husdyrgødning. Derfor fastholdes vurderingen af et reduktionspotentiale for husdyrgødning på 1,7 kg CO_2-ækv/kg N (= 1,87 kg CO_2-ækv/kg N × 265/298; jfr. afsnit 7.15.5), mens det for handelsgødning sættes til 1,0 kg CO_2-ækv/kg N; begge tal kan blive justeret i de kommende år i takt med, at flere danske undersøgelser bliver offentliggjort.

Med hensyn til sideeffekter tyder de foreløbige resultater på, at gentagne udbringninger af nitrifikationshæmmere påvirker jordbundsfaunaen ved at forskyde sammensætningen og størrelsen af de forskellige populationer, men der er formentlig ikke tale om egentlige giftvirkninger. Resultaterne fra undersøgelser af effekter på mikroorganismer foreligger ikke endnu, og ligesom vækstsæsonen 2023 med vinterbyg ikke er gennemført. Det er således for tidligt at konkludere om miljøeffekter på jordens mikroorganismer.

Referencer :

Akiyama, H., Yan, X.Y., Yagi, K. (2010). Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N2O and NO emissions from agricultural soils: meta-analysis. Global Change Biol. 16, 1837–1846.

Bachtsevani, E., Papazlatani, C.V., Rousidou, C., Lampronikou, E., Menkissoglu-Spiroudi, U., Nicol, G.W., Karpouzas, D.G., Papadopoulou, E.S. (2021). Effects of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) on the activity and diversity of the soil microbial community under contrasting soil pH. Biology and Fertility of Soils 57:1117–1135.

Byrne, M.P., Tobin, J.T., Forrestal, P.J., Danaher, M., Nkwonta, C.G., Richards, K., Cummins, E., Hogan, S.A., O'Callaghan, T.F. (2020) Urease and nitrification inhibitors—As mitigation tools for greenhouse gas emissions in sustainable dairy systems: a review. Sustainability 12: 6018.

Creamer, R.E., Bellamy, P., Black, H.I.J. et al. (2009). An inter-laboratory comparison of multi-enzyme and multiple substrate-induced respiration assays to assess method consistency in soil monitoring. Biol Fertil Soils 45, 623–633 (2009). https://doi.org/10.1007/s00374-009-0374-y

Curry, J.P. (1976). Some effects of animal manures on earthworms in grassland. Pedobiologia 16(6): 425-438.

Dubgaard, A., Ståhl, L. (2018). Omkostninger ved virkemidler til reduktion af landbrugets drivhusgasemissioner: Opgjort i relation til EU's 2030-målsætning for det ikke-kvotebelagte område. IFRO Rapport, no. 271, Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet.

Eriksen, J., Thomsen, I.K., Hoffmann, C.C., Hasler, B., Jacobsen, B.H., Baattrup-Pedersen, A., Strandberg, B., Christensen, B.T., Boelt, B., Iversen, B.V., et al. (2020). Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus: Aarhus Universitet - DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 454 s. (DCA rapport; Nr. 174).

European Commission (2002). Guidance Document on Terrestrial Ecotoxicology Under Council Directive 91/414/EEC. SANCO/10329/2002 rev 2 final, 17 October 2002 Tilgængeligt 22.9. 2022.

Griffiths, B.S., Römbke, J., Schmelz, R.M. (2016) Selecting cost effective and policy-relevant biological indicators for European monitoring of soil biodiversity and ecosystem function. Ecological indicators 69: 213-223

Hu, Y., Schraml, M., von Tucher, S., Li, F., Schmidhalter, U. (2014). Influence of nitrification inhibitors on yields of arable crops: A meta-analysis of recent studies in Germany. Int. J. Plant Prod. 8, 33–50.

Kjellerup, V. (1991). Tørstofudbytte, kvælstofoptagelse og –udvaskning ved anvendelse af gylle iblandet nitrifikationshæmmere. Beretning nr. S2139. Tidsskrift for Planteavls Specialserie, 77 pp.

Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F.-M., Collins, W., et al. (2013). "Chapter 8: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing" (PDF). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. pp. 659–740.

Nair, D., Baral, K.R., Abalos, D., Strobel, B.W., Petersen, S.O. (2020). Nitrate leaching and nitrous oxide emissions from maize after grass-clover on a coarse sandy soil: Mitigation potentials of 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP). J. Environ. Manage. 260, 110165.

NaturErhvervstyrelsen (2015). Salg af Handelsgødning i Danmark, 2015. https://naturerhverv.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Virksomheder/Handelsgoedning/Statistik_salg_af_handelsgoedning/Statistik_salg_af_handelsgoedning_i_DK_2013-14.pdf

NaturErhvervstyrelsen (2016). Gødningsfortegnelse. https://naturerhverv.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Handelsgoedning/Goedningsfortegnelse16-02-11_1_.pdf

OECD (2016a). Test No. 232: Collembolan Reproduction Test in Soil, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/9789264264601-en.

OECD (2016b). Test No. 220: Enchytraeid Reproduction Test, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/9789264264472-en.

OECD (2016c). Test No. 222: Earthworm Reproduction Test (Eisenia fetida/Eisenia andrei), OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/9789264264496-en.

OECD (2000). Test No. 217: Guideline for the testing of chemicals. Soil Microorganisms: Carbon Transformation Test.

Olesen, J.E., Petersen, S.O., Lund, P., Jørgensen, U., Kristensen, T., Elsgaard, L., Sørensen, P., Lassen, J. (2018). Katalog over virkemidler til reduktion af landbrugets klimagasser. DCA Rapport nr. 130, 119 pp.

Oversigt over Landsforsøgene (2016) Forsøg og undersøgelser i Dansk Landbrugsrådgivning. SEGES Planter og Miljø.

Oversigt over Landsforsøgene (2018) Forsøg og undersøgelser i Dansk Landbrugsrådgivning. SEGES Landbrug & Fødevarer PlanteInnovation.

Oversigt over Landsforsøgene (2020) Forsøg og undersøgelser i Dansk Landbrugsrådgivning. SEGES Plante- og MiljøInnovation.

Oversigt over Landsforsøgene (2020) Forsøg og undersøgelser i Dansk Landbrugsrådgivning. SEGES Plante- og MiljøInnovation.

Qiao, C., Liu, L., Hu, S., Compton, J.E., Greaver, T.L., Li, Q. (2015). How inhibiting nitrification affects nitrogen cycle and reduces environmental impacts of anthropogenic nitrogen input. Glob. Chang. Biol. 21, 1249–1257.

Schmidt, R. et al. (2022). The nitrification inhibitor nitrapyrin has non-target effects on the soil microbial community structure, composition, and functions. Applied Soil Ecology 171, 104350.

Silva, D. M., Jacques, R.J.S., Silva, D.A.A., Santana, N.A., Vogelmann, E., Eckhardt, D.P., Antoniolli, Z.I. (2016). Effects of pig slurry application on the diversity and activity of soil biota in pasture areas. Ciência Rural [online]. 2016, v. 46, n. 10 [Accessed 14 September 2022] , pp. 1756-1763. Available from: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141869>. Epub Oct 2016. ISSN 1678-4596.

Tariq, A., Larsen, K.S., Hansen, L.V., Jensen, L.S., Bruun, S. (2022). Effect of nitrification inhibitor (DMPP) on nitrous oxide emissions from agricultural fields: Automated and manual measurements. Sci Total Environ. (i trykken; doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.157650.)

Wakelin S., Lombi E., Donner E., MacDonald L., Black A., O'Callaghanet M. (2013). Application of MicroRespTM for soil ecotoxicology. Environmental Pollution 179 (2013) 177e184

8 Arealanvendelse

8.1 Udtag af omdriftsareal til permanent ugødet brak (KVM8.2)

Forfatter(e): Gitte Blicher-Mathiesen, Institut for Ecoscience og Mathias Neumann Andersen, Institut for Agroøkologi

Fagfællebedømmer: Søren O. Petersen, Institut for Agroøkologi

Landbrugsarealer, der permanent udtages af landbrugsdrift, vil overgå til en anden arealanvendelse. Udtagning kan både være til veje, byudvikling, etablering af natur som f.eks. overdrev eller skov.

8.1.1 Anvendelse

I nærværende afsnit vurderes udtagning af omdriftsjord til tør natur med et plantedække af græs. Udtagning til skov eller til energiafgrøder vil have en lidt anden effekt, idet der her vil være en større kulstofopbygning i den over- og underjordiske vedbiomasse.

En vigtig forudsætning for at opnå en reduktion i nitatudvaskning er, at der på arealet er et ophør af jordbearbejdning, stop for tilførsel af handels- og husdyrgødning, og at der er et veletableret plantedække.

Udvaskningen vil fortsat være lav på udtagne arealer, der afgræsses ekstensivt. Med ekstensiv afgræsning skal husdyrtrykket afpasses til produktionen af biomasse. Et husdyrtryk på mellem 0,5 og 1,0 DE/ha vil ofte være et niveau, hvor afgræsningen kan holde trit med biomasseproduktionen (Gundersen og Buttenschøn., 2005) samt under forudsætning af at dyrene ikke fodres med udefra kommende fodertilskud.

8.1.2 Relevans og potentiale

Reference for nitratudvaskning og dyrkningsforhold.

I forbindelse med effektfastsættelse af virkemidler, hvor jorden udtages af almindelig landbrugsmæssig drift, er effekten på nitratudvaskning hovedsageligt fastsat i forhold til et modelberegnet gennemsnit for nitratudvaskning fra jord i omdrift. Det gælder f.eks. for skovrejsning, brak og energiafgrøder. I Virkemiddelkataloget fra 2014 (Eriksen et al., 2014) udgjorde referencen for den årlige gennemsnitlige udvaskning for hele landet ca. 62 kg N/ha. Denne udvaskning var beregnet med NLES4-modellen med landbrugsdata for 2007-2011 (Børgesen et al., 2013). En genberegning baseret på data fra 2017 har vist, at den opgjorte referenceudvaskning svarer til ca. 66 kg N/ha for landbrugsafgrøder i omdrift og ca. 61 kg N/ha for hele det dyrkede areal (Gitte Blicher-Mathiesen, AU, upubliceret). Referenceudvaskningen ligger altså reelt på samme niveau som anvendt i Eriksen et al. (2014). Ved den her gennemførte opdatering, er der for de virkemidler, der er fastsat på baggrund af referenceudvaskningen, hovedsageligt taget udgangspunkt i den reviderede værdi på 61 kg N/ha.

Anvendes den gennemsnitlige referenceudvaskning til fastsættelse af en effekt af et givent virkemiddel, antages i princippet, at udbredelsen af virkemidlet er jævnt fordelt uden hensyntagen til bonitet og øvrige dyrkningsforhold. Dette vil ofte ikke være tilfældet i praksis, men en mere detaljeret effektfastsættelse forudsætter, at udvaskningen før f.eks. etablering af energiafgrøder og brak blev bestemt for den forudgående arealanvendelse.

Potentiale for virkemidlet permanent udtagning er hele det dyrkede areal.

8.1.3 Effekt på drivhusgasudledning

Kvælstofeffekt: For landbrugsarealer, der udtages permanent til ekstensivt udnyttede græsarealer, vil den årlige udvaskning af nitrat efter en årrække være lavere end for arealer i omdrift. Udvaskningsniveauet for de udtagne arealer vil især være påvirket af, hvor meget husdyrgødning arealet har fået tilført i årene forud for udtagningen. Men størrelsen af perkolation og jordtype har også en væsentlig betydning. For landbrugsarealer på mineraljorde, som har fået tilført moderate mængde af husdyrgødning og hvor arealet udtages til vedvarende græs med et lavt græsningstryk eller med høslæt, viser målinger, at den årlige udvaskning falder til mellem 1 og 10 kg N/ha det første år efter udtagning (Blicher-Mathiesen et al. 2020). Udvaskningen vil yderligere falde til mellem 0 og 6 kg N/ha efter 2-5 års udtagning og til mellem under 1 og 3 kg N/ha efter 6-14 år med udtagning. Modelberegninger gennemført med rodzonemodellen DAISY for 3 arealer udtaget til brak omkring en drikkevandsboring på Tunø viser, at den årlige udvaskning over tid igen vil kunne stige lidt på grund af ændringer i jordens organiske puljer til mellem 2 og 5 kg N/ha inden for et 100 årigt tidsperspektiv, idet intervallet afspejler jordens variation i humusindhold på 1,4-2,8 % (Jensen og Thirup, 2006).

For landbrugsarealer, der udnyttes intensivt, og som har fået tilført store mængder af husdyrgødning i mange år, viser målinger fra to jordvandsstationer i Landovervågningen, at udvaskningen stadig kan være høj indtil tre år efter udtagning og herefter falde til et niveau omkring 6-26 kg N/ha (Blicher-Mathiesen et al., 2020).

Idet der kun eksisterer et begrænset antal målinger af udvaskning ved udtagning af arealer fra landbrugsproduktion, og disse ikke tilstrækkeligt dækker den variation, der eksisterer for effekten af virkemidlet bl.a. relateret til tilførsel af husdyrgødning i årene før udtagning og størrelsen af perkolationen, er det ikke muligt på baggrund af målinger at opskalere måleresultaterne til et landsgennemsnit.

Hidtil er der som gennemsnit for hele landet anvendt en årlig udvaskning på 12 kg N/ha for arealer, der er udtaget af landbrugsproduktion (Børgesen et al., 2013; Eriksen et al., 2014). Dette niveau ligger nogenlunde midt mellem de to estimater for arealer med henholdsvis begrænset og intensiv tilførsel af husdyrgødning før udtagning. Det anbefales at bibeholde dette gennemsnitsestimat for effekten af permanent udtagning af arealer, idet der som førnævnt ikke eksisterer tilstrækkelige måledata til at ændre eller verificere dette niveau. Der er tilknyttet en stor usikkerhed på det gennemsnitlige estimat, idet målinger af udvaskningen

som førnævnt viser, at effekten afhænger af, hvor meget husdyrgødning landbrugsarealet har fået før udtagning, samt af jordtype og størrelsen af perkolationen. Med en referenceudvaskning på 61 kg N/ha (se kapitlet Koncept for anvendelse og effektfastsættelse af kvælstofvirkemidler, denne rapport) bliver den generelle effekt af permanent udtagning 49 kg N/ha.

Udvaskning fra naturarealer, der har været natur i mange år, er lav på 0,5-5 kg N/ha (Blicher-Mathiesen et al., 2020). Grunden til at udvaskningen er højere på naturarealer etableret på tidligere landbrugsjord er, at dyrkede jorde har et højere indhold af kvælstof bundet i labilt organisk stof end arealer, der har været natur i mange år. For naturarealer, der udnyttes med ekstensiv afgræsning, vil udvaskningen fortsat være lav.

Kvælstofgødningsinputtet til braklagte arealer er 0 kg N/ha mod 171 kg N/ha i referencesædskiftet (Tabel 7.5). Med hensyn til C-input antages, at det er højere end C-inputtet i planterester i referencesædskiftet, således at jordens kulstofbalance ændres til positiv. Da hele planteproduktionen tilbageføres til arealet, vil der med tiden udvikles et robust plantedække med dybtgående rødder, der er i stand til at optage både vand og mineralisert N meget effektivt. Hvor stor effekten er afhænger dog af jordens bonitet og mineraliseringsevne. Sammenlignet med korndyrkning (referencesituationen), kan reduktionen i lattergasemission fra kvælstofgødning, ammoniakfordampning og nitratudvaskning beregnes (se bilag 2) til at være henholdsvis 801, 32 og 106 kg CO_2-ækv/ha. Det antages at der lagres knap 150 kg C/ha svarende til en reduktion i udledning på 500 kg CO_2-ækv./ha. Endvidere vil besparelsen på kalkning være 94 kg CO_2 ækv/ha og fossil energi ved undgået dyrkning 361 kg CO_2-ækv/ha. Samlet vil klimaeffekten være 1800 kg CO_2-ækv./ha.

Kulstofeffekt: Udenlandske undersøgelser under klimaforhold, der nærmer sig danske indikerer, at selvom ennet stadig er omdiskuteret bidrager braklægning til C-binding i jorden og at denne binding er større, jo mere langvarig braklægningen er (Kozak and Pudelko, 2021, Yang et al. 2022). Yang et al. (2019) fandt således at den årlige kulstofbinding var større i anden del af den undersøget periode (13-22 år efter braklægning) end i perioden forud. Der er behov for tilsvarende danske undersøgelser for at kvantificere effekten under danske klima- og jordbundsforhold.

Tabel 8.1. Effekter på kvælstofbalance og øvrige klimarelateredere forhold ved omlægning af landbrugsareal (reference) til permanent brak

Dyrkningsforhold for permanent udtagning	Udtaget areal	Reference
N input i handelsgødning	0 kg N/ha	171 kg N/ha
N input i planterester	70 kg N/ha	70 kg N/ha
Nitratudvaskning	12 kg N/ha	61 kg N/ha
Ammoniakfordampning	0 kg N/ha	6,8 kg N/ha

Kalkning	0 kg CO_2 ækv/ha	94 kg CO_2 ækv/ha
C-input	500 kg CO_2 ækv/ha	0 kg CO_2 ækv/ha
Jordbearbejdning	0 kg CO_2 ækv/ha	361 kg CO_2 ækv/ha

8.1.4 Samspil til andre virkemidler

Virkemidlet omlægning til permanent ugødet brak kan ikke anvendes sammen med andre fladevirkemidler, der involverer ændrede gødningstilførsler og -strategier eller plantedyrkning. . Reduceret kvælstofudvaskning ved benyttelse af virkemidlet vil betyde, at der kvantitativt kan fjernes mindre kvælstof ved samtidig anvendelse af dræn- og vandløbsvirkemidler.

8.1.5 Usikkerheder

Det er usikkert hvor meget længden af braklægningsperioden påvirker klimaeffekten både med hensyn til C binding i jorden og N udledningerne. Det samme gælder for benyttelsen af brakmarkerne. Længerevarende brak må forventes at have større effekt end en et-årig udtagning. Dette gælder i øvrigt også for biodiversiteten.

Referencer:

Blicher-Mathiesen, G., Olesen, J.E., Jung-Madsen, S. (red). (2020). Opdatering af baseline 2021. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 140 s. -Teknisk rapport nr. 162. http://dce2.au.dk/pub/TR162.pdf

Blicher-Mathiesen et al. 2020. Permanent udtagning og kortvarig brak i omdrift. I: Eriksen, J., et al., (red.). Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastning til vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA – Nationale Center for Fødevarer og Jordbrug. DCA rapport nr. 174. s 115-126. https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport174.pdf

Børgesen, C.D., Nordemann Jensen, P., Blicher-Mathiesen, G., Schelde, K. (editors) (2013). Udviklingen i kvælstofudvaskning og næringsstof-overskud fra dansk landbrug for perioden 2007-2011 Evaluering af implementerede virkemidler til reduktion af kvælstofudvaskning samt en fremskrivning af planlagte virkemidlers effekt frem til 2015. DCA rapport nr. 31.

Eriksen, J., Jensen, P.N., Jacobsen, B.H. (red.) (2014). Virkemidler til realisering af 2. generations vand-planer og målrettet arealregulering. DCA Rapport 052. http://web.agrsci.dk/djfpublikation/djfpdf/Virkemiddelkatalog_web.pdf

Gundersen, P., Buttenschøn, R.M. (2005). Vegetationsudvikling og nitratudvaskning ved ændret arealanvendelse – eng, overdrev og skovrejsning i Drastrup projektet 1998-2005. Aalborg Kommune og Forskningscenter for Skov og Landskab, 50 sider.

Jensen, J.C.S., Thirup, C. (2006). Nitratudvaskning I indsatsområde Tunø. Rapport udgivet af Århus Amt. 42 sider.

Randzoner på mineraljord (KVM8.2)

Forfatter: Brian Kronvang og Mathias Neumann Andersen

Randzoner er smalle striber af udyrket land langs vandløb og omkring søer, som hverken gødes eller sprøjtes. Der findes to typer af randzoner, den tørre som etableres uden ændring af hydrologien i randzonen og den våde randzone hvor hydrologien ændres, typisk i forbindelse med afskæring af dræn og/eller ændret vandføringsevne i vandløb. Denne rapport behandler kun de tørre randzoner på mineraljord.

8.2.1 Anvendelse

Randzoner etableres for at beskytte vandløb og søer mod tilførsel af sediment, kvælstof, fosfor og bekæmpelsesmiddel rester fra overfladisk afstrømning på tilstødende marker (Kronvang et al., 2014). Randzonen fremstår derfor i landskabet som en braklagt stribe land. I 1992 blev det med en opdatering af Vandløbsloven lovpligtigt at udlægge en 2 m udyrket bræmme langs alle offentlige og højt målsatte vandløb (Skov- og Naturstyrelsen, 2002). I 2011 blev randzoner lovpligtige med vedtagelsen af Randzoneloven hvor udyrkede randzoner inkl. en evt. 2 m bræmme skulle etableres med en bredde på 10 m langs alle vandløb og søer større end i 100 m^2. I 2014 blev randzoneloven revideret og der skulle nu etableres 9 m randzoner omkring alle offentlige og vandplan-vandløb. Ved etableringen af de 'tørre'randzoner på mineraljord ændres der kun på dyrkningen (forbud mod dyrkning, gødskning og sprøjtning) og ikke på hydrologien af randzonen. I randzonen kan der efter braklægning vokse græs og urter, men der kan også på sigt etableres træer i en randzone. Dog var i den gamle randzonelov pligtigt at slå vegetationen i randzonen mindst hvert andet år for at undgå fremvækst af træer.

I dag er der også udviklet andre typer af randzoner, som intelligente randzoner og mættede randzoner, hvor man ændrer på hydrologien i randzonen for at fremme kvælstoffjernelsen i det drænvand, som ellers løber frit under de almindelige randzoner (Eriksen et al., 2020; Andersen et al., 2020).

8.1.2 Relevans og potentiale

Etablering af randzoner er stadigvæk en mulighed for landmænd I forbindelse med Miljøfokusområder (MFO)-ordningen (Landbrugsstyrelsen, 2021). Randzoner er relevante at etablere på udpegede risikoarealer for jorderosion og overfladisk afstrømning (Heckrath et al., 2010; Kronvang et al., 2014). Randzoner skal i givet fald etableres med en bredde som er tilpasset forholdene langs den enkelte mark og vil ofte skulle være bredere end de 10 m, der blev anvendt i randzoneloven fra 2011. Efter den gamle randzonelov med 10 m randzone var der etableret ca. 50.000 ha randzoner, men en stor del af disse er

opdyrket igen. Ved en eventuel målrettet etablering af randzoner må der forventes at blive udlagt væsentligt færre end 50.000 hektar randzoner, måske i størrelsesordenen 10.000 ha, hvor der er størst risiko for tab af jord og fosfor med overfladisk afstrømning (Onnen et al., 2019).

I 2023 bliver det med den nye landbrugsrefom pligtigt for landmænd at udlægge 3 m udyrkede, ugødede og usprøjtede bræmmer langs alle de vandløb, hvor der er i dag er lovpligtig 2 m bræmme. Det vil øge randzonearealet med i størrelsesordenen 5.000-6.000 ha – alt afhængig af hvor meget randzone der i forvejen er udlagt.

De normale randzoner, hvor vegetationen slås, må sidestilles med braklagte arealer (se afsnit 7.6 og 8.1), da ændringen i forhold til virkemiddel-effekt mod klimagasser er, at der sker en reduktion af udvaskningen af nitrat-N fra arealerne, hvilket vil reducere lattergas emissionen fra randzonen.

Desuden forventes at braklægningen med tiden øger puljen af kulstof i jorden i randzonen pga. stoppet for jordbearbejdning og et permanent vegetationsdække. Desuden kan en eventuel tilvækst af træer i randzonen binde kulstof over tid. Effekter for kvælstof og fosfor er beskrevet I de to seneste virkemiddelrapporter (Eriksen et al., 2020; Andersen et al., 2020).

Effekt på drivhusgasudledning

Reduktionen af udledningerne beregnes på samme måde, som for permanent braklægning (afsnit 8.1 ovenfor) med den undtagelse at randzonerne langs vandløb forventes hovedsageligt at befinde sig på arealer med god forsyning af vand og næringsstoffer. Der forventes derfor en større planteproduktion og kulstofbinding i jorden. Kvælstofgødningsinputtet til randzoner er 0 kg N/ha mod 171 kg N/ha i referencesædskiftet (Tabel 7.5). Med hensyn til C-input antages, at det er højere end C-inputtet i planterester i referencesædskiftet, således at jordens kulstofbalance ændres til positiv. Da hele planteproduktionen tilbageføres til arealet, vil der med tiden udvikles et robust plantedække med dybtgående rødder, der er i stand til at optage både vand og mineraliseret N meget effektivt.. Sammenlignet med korndyrkning (referencesituationen), kan reduktionen i lattergasemission fra kvælstofgødning, ammoniakfordampning og nitratudvaskning beregnes (se bilag 2) til at være henholdsvis 801, 32 og 106 kg CO_2-ækv/ha. Det antages at der lagres 400 kg C/ha svarende til en reduktion i udledning på 1500 kg CO_2-ækv./ha. Endvidere vil besparelsen på kalkning være 94 kg CO_2 ækv/ha og fossil energi ved undgået dyrkning 361 kg CO_2-ækv/ha. Samlet vil klimaeffekten være 2800 kg CO_2-ækv./ha.

Samspil til andre virkemidler

De tørre randzoner som er behandlet her har samspil til braklægning af landbrugsjord på mineraljord. Udover at de formindsker det dyrkede areal, har randzoner ikke indflydelse på andre fladevirkemidler eller virkemidler, der involverer gødskning.

Usikkerheder

De største usikkerheder er formentlig forbundet med forventninger til potentialet om hvor mange hektar randzone der vil blive etableret langs vandløb og søer i landet.

Referencer

Andersen, H.E. (red.), Rubæk, G.H. (red.), Hasler, B. (red.), Jacobsen, B.H. (red.), Martinsen, L., Heckrath, G.J., Olsen, P., Munkholm, L.J., Hoffmann, C.C., Zak, D.H., Kronvang, B., van't Veen, S.G.M., Strandberg, B., Bruus, M., Lærke, P.E., Gundersen, P., Kudsk, P., Jørgensen, L.N., Hutchings, N., Egemose, S., Reitze, K., Jensen, H.S., Søndergaard, M., Pedersen M.F. Martinsen, L. (2020). Virkemidler til reduktion af fosforbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. 284 s. (Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi; Nr. 379, Bind 2020).

Eriksen, J., Thomsen, I.K., Hoffmann, C.C., Hasler, B., Jacobsen, B.H., Baattrup-Pedersen, A., Strandberg, B., Christensen, B.T., Boelt, B., Iversen, B.V., Kronvang, B., Børgesen, C.D., Abalos Rodriguez, D., Zak, D.H., Hansen, E.M., Blicher-Mathiesen, G., Rubæk, G.H., Ørum, J.E., Rasmussen, J., Audet, J., & 20 flere, (2020). Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus: Aarhus Universitet - DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 454 s. (DCA rapport; Nr. 174).

Heckrath, G. J., Børgesen, C. D., Kjærgaard, C., & Vinther, F. P., (2010). Vedrørende udpegning af randzoner med risiko for overfladeafstrømning af fosfor, Nr. 749634, 5 s., nov. 08, 2010. Kronvang, B., Blicher-Mathiesen, G., Andersen, H.E., Kjeldgaard, A., Larsen, S.E. (2014). Effekt af "intelligent" udlagte randzoner 46 s.. 2014. (Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi).

Landbrugsstyrelsen (2021). Faktaark om krav om 5 % Miljøfokusområder. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri. 2 sider.

Onnen, N., Heckrath, G., Stevens, A., Olsen, P., Greve, M.B., Pullens, J.W.M., Kronvang, B., Van Oost, K., (2019). Distributed water erosion modelling at fine spatial resolution across Denmark.I: Geomorphology. 342, s. 150-162 13 s.

Skov- og Naturstyrelsen (2002). Vejledning om bræmmer langs vandløb og søer. Miljøministeriet ISBN: 77-7279-423-2.

8.2 Paludikultur (KVM8.4)

Forfatter(e): Poul Erik Lærke, Institut for Agroøkologi

Fagfællebedømmer: Nicholas J. Hutchings, Institut for Agroøkologi

8.2.1 Anvendelse

Viden om paludikultur findes primært fra forsøg på lavbundsarealer med højt indhold af organisk stof (tørvejorde, >12 % C), da hovedformålet med paludikultur er at undgå nedbrydning af tørv der forekommer på drænede tørvejorde, men i princippet kan der også etableres paludikultur på lavbundsarealer, der indeholder mindre end 12 % organisk kulstof, hvor eksempelvis noget af tørven allerede er forsvundet som følge af mange års dræning. Dette omfatter også jorde med 6-12 % organisk kulstof som i Danmark normalt inkluderes under betegnelsen kulstofrige lavbundsjorde.

Det er nødvendigt at hæve vandstanden på de kulstofrige (>6 % organisk stof) landbrugsarealer for at reducere udledningen af drivhusgasser og bevare tørvejorden som vigtigt økosystem. Når dræning med rør og grøfter afbrydes, kan disse landbrugsarealer ikke længere benyttes til produktion af traditionelle enårige afgrøder i omdrift, men paludikultur er måske en mulighed. Paludikultur er produktion af biomasse fra planter, der trives på marker med høj vandstand (Wichtmann et al., 2016). Tanken er at høste den del af afgrøden, der kun i ringe grad bidrager til tørvedannelse.

Afgrøder velegnet til paludikultur er flerårige, der ofte ikke kan anvendes direkte som foder og fødevarer. Derimod er der mulighed for at anvende biomassen til bioraffinering og bioenergi eller direkte til bæredygtigt byggeri. På nuværende tidspunkt er det muligt at afsætte græs til biogasproduktion og tagrør til strågtækning. Derudover vil græs kunne anvendes til proteinekstraktion hvis afgrøden har en høj kvælstofforsyning og dermed højt proteinindhold.

Nogle planter, der egner sig til paludikultur, er særdeles produktive under de rette betingelser (Geurts and Fritz, 2018; Karki et al., 2019), men der er et behov for bedre at definere forskellige former for paludikultur for at kunne vurdere udbytte, miljø og klimaeffekter. Den brede definition af paludikultur omfatter både ekstensiv paludikultur, hvor naturlig vegetation høstes uden ekstra tildeling af næringsstoffer og intensiv paludikultur, hvor der etableres højproduktive arter, som eksempelvis tagrør og dunhammer på de vådeste arealer, eller rørgræs og strandsvingel på arealer med lidt lavere vandstand. Intensiv paludikultur vil typisk omfatte tildeling af næringsstoffer, enten via drænvand eller som mineralsk gødning, mens der normalt ikke er behov for pesticider.

Der er et stort behov for mere viden om egnede afgrøder, etableringsmetoder, produktionspotentiale, høstomkostninger og anvendelsesmuligheder. Nogle potentielle afgrøder betragtes som vilde sumpplanter, og er derfor ikke støtteberettiget som traditionelle landbrugsafgrøder. Ændret lovgivning på dette område forudsætter dokumentation af det landbrugsmæssige produktionspotentiale.

8.2.2 Relevans og potentiale

Drænede kulstofrige landbrugsjorde udgør blot 7 % af landbrugsarealet men bidrager til ca. 40 % af landbrugets udledning af drivhusgasser med de gældende emissionsfaktorer. Potentialet for at reducere udledningen af drivhusgasser ved at hæve vandstanden på disse jorde er derfor stort. Mulighederne efter vådlægning kan opdeles i tre kategorier:

a. Intensiv paludikultur: etablering af bestemte vådområdeplanter under intensiv management med henblik på at producere det højeste udbytte af biomasse med den højeste kvalitet
b. Ekstensiv paludikultur: Høst og fjernelse af den spontant fremkomne vegetation uden yderligere management
c. Vådområder: Ingen høst af biomasse men afgræsning når vandstanden tillader. Fokus på at maksimere naturværdi og biodiversitet.

Det bør undersøges nærmere om kategorierne skal have forskellige emissionsfaktorer. Dybt drænede tørvejorde har det højeste reduktionspotentiale for udledning af CO_2, hvis vandstanden kan hæves til tæt på jordoverfladen. Med de nuværende tilskudsordninger og priser vurderes det at stort biomasseudbytte af god kvalitet pr. arealenhed er afgørende for at opnå en acceptabel forretningsplan, og derved kan konceptet måske bidrage til at dække omkostningerne ved vådlægning af lavbundsjorden.

Høst og fjernelse af biomasse på vådlagte lavbundsjorde har imidlertid særlige udfordringer pga. jordens nedsatte bæreevne, og omkostningerne ved høste og transportere græsset til eks. et biogasanlæg vil være væsentligt større sammenlignet med produktion på mineralske jorde. I Holland findes flere firmaer med maskiner der kan løse opgaven, og i Danmark bliver der udviklet en tilsvarende maskine som en del af GUDP projektet HøSTTEK, der kan færdes på bløde lavbundsarealer. Implementering af paludikultur er betinget af, at høstomkostninger reduceres med de nuværende priser på biomasse. Dette kan ændre sig, hvis der i fremtiden bliver større mangel på kulstofbaserede råvarer.

I 2020-21 blev i forbindelse med Canapé projektet etableret nogle større demonstrationsparceller med strandsvingel, rørgræs og dunhammer på et udrænet areal i St. Vildmose der tidligere havde været anvendt til kartoffeldyrkning. Parcellerne var enten ugødet eller fik tilført i alt 200 kg N/ha fordelt til 3 slæt. Det var muligt at høste et årligt udbytte på op til 18 t tørstof pr. ha etableret med rørgræs foregående år ved tildeling af blot 200 kg N/ha (upubliseret). Proteinindholdet var for lavt til at græsset kunne anvendes til proteinekstraktion, men anvendelse til biogasproduktion var en afsætningsmulighed (Kandel et al. 2017). Tørvejorde i ådale er typisk mere næringsrige og her har parcelforsøg vist tilstrækkelig højt proteinindhold i rørgræs til proteinekstraktion ved tildeling af 200 kg N/ha til 2 eller 3 slæt (Nielsen et al., 2021). Resultaterne fra St. Vildmose viste også at produktionen af de valgte paludikultur-afgrøder uden tilførsel af gødning var meget lav (3-4 t tørstof pr. ha af græs og ca. 8 t tørstof pr. ha af dunhammer tilført drænvand med lavt indhold af næringsstoffer). I mindre parcelforsøg med rørgræs, dyrket ved vandstand tæt på jordoverfladen og tildelt 160 kg N pr. ha til 2 slæt, kunne der årligt høstes 12-14 t tørstof pr. ha over to år (Karki et al. 2019).

Demonstrationsprojektet i St. Vildmose viste endvidere at det kan være vanskeligt at opnå den ønskede høje vandstand i sommerperioden ved blot at stoppe dræningen. Vandstanden faldt til under 50 cm i sommerperioden og var i gennemsnit 44 cm under jordoverfladen i vækstperioden. Højere vandstandsniveauer kræver sandsynligvis genetablering af spagnum, som var den naturlige vegetation inden arealerne blev drænet med henblik på landbrugsproduktion. Der er udført forsøg med spagnum som

paludikultur i andre europæiske lande (Wichmann et al. 2020). Idéen med "Spagnum farming" er at høste blot de øverste få cm til anvendelse som vækstmedie således at planterne kan fortsætte væksten efter høst. Der er kun få studier på større arealer med paludikultur, som kan vise et mere realistisk potentiale, for den type produktion, i praksis. Holland er et af de få steder, hvor der er etableret nogle større demonstrationsarealer med paludikultur (Geurts og Fritz, 2018). Her rapporteres om årlige udbytter i dunhammer (Typha latifolia) på ca. 10 t tørstof pr. ha, når der blev høstet én gang i juli (Pijlman et al., 2019). Ved høst flere gange om året (hver 6. uge) faldt det årlige udbytte til 6 t tørstof pr. ha.

8.2.3 Effekt på drivhusgasudledning

Udledning af CO_2 reduceres som følge af, at oxidation af tørven reduceres markant når vandstanden hæves, men omvendt vil vandmættede forhold øge udledningen af metan. Forøgelsen af metan vil i de fleste tilfælde være mindre end CO_2 reduktionen og dertil kommer at udledning af lattergas også vil reduceres når vandstanden hæves (Greve et al., 2021).

Paludikultur er godkendt af FAO og IPCC som en driftsform, der bevarer tørvejords (Biancalani og Avagyan, 2014; Hiraishi et al., 2014). Derfor forventes som udgangspunkt samme effekt af vådlægning på klimaet som beskrevet for kulstofrige lavbundsjorde i Greve et al. (2021) i overensstemmelse med Danmarks nationale emissionsopgørelse. Vådlægning af jorde i omdrift og vedvarende græs reducerer dermed udledningen af drivhusgas med henholdsvis 41 og 28 t CO_2-ækv. ha^{-1} $år^{-1}$. Her antages jorde inden vådlægning at være dybt drænet, og at de bliver CO_2-C neutrale når dræning afbrydes og de ikke længere betragtes som landbrugsarealer. Hvert af to tal omfatter således et fald i CO_2 og N_2O, samt en stigning i CH_4 og forskellen på de to tal skyldes alene, at udledningen fra de to dyrkningssystemer er forskellig i drænet tilstand. Reduktionspotentialet afhænger som udgangspunkt ikke af anvendelsen af arealet efter vådlægning, dvs. om det er kategori a, b eller c angivet under afsnit 2.

Når der høstes biomasse, skal drivhusgasreduktions-potentialet dog reduceres med den mængde kulstof der fjernes med den høstede biomasse omregnet til CO_2-ækv. Anvendes biomassen til fortrængning af fossile ressourcer vil udledningen fra den høstede biomasse blive reduceret tilsvarende. Der vil dog fortsat være et fossilenergiforbrug til markoperationer, transport og evt. forarbejdning af den høstede biomasse, hvilket skal indregnes i den samlede drivhusgasbalance, men for at kvantificere dette kræves en egentlig LCA beregning for den specifikke produktion. Hvis der tilføres gødning i forbindelse med intensiv paludikultur antages det at 1 % af den tilførte mængde N udledes som lattergas.

8.2.4 Samspil til andre virkemidler

Kvælstof

Når dræning af lavbundsjorde afbrydes og vandstanden hæves forventes i lighed med etablering af vådområder at N fjernes ved denitrifikation. Derudover vil der kunne fjernes N med den høstede afgrøde

og den fjernede N vil potentielt kunne mobiliseres via eksempelvis et biogasanlæg til anvendelse som gødning på marker i oplandet, men det er usikkert i hvor høj grad fjernelse af N med den høstede biomasse fra lavbundsjorden yderligere vil kunne reducere tabet af N til vandmiljøet.

Fosfor

Fjernelse af fosfor fra lavbundsarealet kan ikke som N fjernes med luften, så derfor har fjernelse af fosfor ved høst af biomasse stor betydning for arealet fosforniveau. Danske forsøg har vist at der årligt kan fjernes 6-37 kg P/ha hvor niveauet primært afhænger af biomasseudbyttet.

Skadegørere og pesticider.

Der normalt ikke behov for pesticidbehandling i en veletableret paludikulturafgrøde. Der kan dog være behov for ukrudtsbekæmpelse ved etablering af afgrøden mens der ikke på noget tidspunkt vurderes at være behov for hverken fungicider eller insekticider.

Natur og biodiversitet

Biodiversiteten vurderes til at være højere i paludikultur sammenlignet traditionel landbrugsdrift der omfatter en-årige afgrøder i omdrift. Derimod forventes mindre biodiversitet sammenlignet med et natur-vådområde, da paludikultur primært omfatter produktive flerårige i monokultur. Naturlige arter for det pågældende økosystem vil sandsynligvis langsomt invadere paludikulturen efter etablering, og genetablering af paludikulturen efter en årrække kan være en forudsætning for at opretholde høje biomasseudbytter, men det vil afhænge af arealets hydrologi og den valgte paludikultur-afgrøde.

8.2.5 Usikkerheder

De nuværende danske emissionsfaktorer for udledning af drivhusgasser fra drænede tørvejorde stammer fra danske forsøg udført i 2008-09. Siden disse første målinger har resultater fra senere danske forsøg vist at IPCC emissionsfaktorerne angivet i Wilson et al. (2016) kan være mere retvisende. Wilson et al. (2016) angiver at udledning af drivhusgas i gennemsnit reduceres med henholdsvis 26, 17 og 5 CO_2-ækv. ha^{-1} $år^{-1}$ efter vådlægning af arealer i omdrift, dybt drænet permanent græs på næringsrige arealer og dårligt drænet permanent græs. Disse gennemsnitsværdier dækker over meget stor variation især for metanudledning. Der arbejdes p.t. på en revision af emissionsfaktorer for danske kulstofrige lavbundsjorder.

Reduktionspotentialet afhænger primært af grundvandstandstanden før og efter dræning ophører. Lavbundjorde i ådale er ofte ikke fuldt drænet inden udtagning mens afbrydning af dræn i højmoser, som eks. St. Vildmose, sandsynligvis ikke fører til en vandstand der høj nok til at opfylde klassifikationskravene for et vådområde, hvor årsmiddelvandstanden ikke må blive dybere end 30 cm under jordoverfladen. Endelig indikerer et nyt litteraturstudie at spagnum som paludikultur har en væsentlig lavere emissionsfaktor end de øvrige nævnte paludikultur-afgrøder (Bianchi et al., 2021).

Referencer:

Biancalani, R., Avagyan, A. (2014). Towards climate-responsible peatlands management. Mitigation of Climate Change in Agriculture Series (MICCA).

Bianchi, A., Larmola, T., Kekkonen, H., Saarnio, S., Lång, K. (2021). Review of greenhouse gas emissions from rewetted agricultural soils. Wetlands 41, 1-7.

CANAPÉ projektet. Creating a new approach to peatland ecosystems. https://naturstyrelsen.dk/naturbeskyttelse/naturprojekter/interreg-canape/

Geurts, J., Fritz, C. (2018). Paludiculture pilots and experiments with focus on cattail and reed in the Netherlands-Technical report-CINDERELLA project FACCE-JPI ERA-NET Plus on Climate Smart Agriculture.

Greve, M.H., Greve, M.B., Peng, Y., Pedersen, B.F., Møller, A., Lærke, P.E. et al. (2021). Vidensyntese om kulstofrig lavbundsjord. Rådgivningsrapport fra DCA – National Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, Tjele, Denmark. Journalnummer: 2020-0047924.

Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., Troxler, T. (2014). 2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. IPCC, Switzerland.

HØSTTEK projektet. Ny høstteknologi til klimavenlig dyrkning af lavbundsjord. https://gudp.lbst.dk/nyheder/nyhed/nyhed/ny-hoestteknologi-til-klimavenlig-dyrkning-af-lavbundsjord/

Kandel, T.P., Ward, A.J., Elsgaard, L., Møller, H.B., Lærke, P.E. (2017). Methane yield from anaerobic digestion of festulolium and tall fescue cultivated on a fen peatland under different harvest managements. Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science 67, 670-677.

Karki, S., Kandel, T.P., Elsgaard, L., Labouriau, R., Lærke, P.E. (2019). Annual CO2 fluxes from a cultivated fen with perennial grasses during two initial years of rewetting. Mires and Peat 25, (01), 1–22.

Nielsen, C.K., Stodkilde, L., Jorgensen, U., Laerke, P.E. (2021). Effects of Harvest and Fertilization Frequency on Protein Yield and Extractability From Flood-Tolerant Perennial Grasses Cultivated on a fen Peatland. Frontiers in Environmental Science 9:619258.

Pijlman, J., Geurts, J., Vroom, R., Bestman, M., Fritz, C., van Eekeren, N. (2019). The effects of harvest date and frequency on the yield, nutritional value and mineral content of the paludiculture crop cattail (Typha latifolia L.) in the first year after planting. Mires & Peat 25, (04), 1–19.

Wichmann, S., Krebs, M., Kumar, S., Gaudig, G. (2020). Paludiculture on former bog grassland: Profitability of Sphagnum farming in North West Germany. Mires and Peat 26, 1-18.

Wichtmann, W., Schröder, C., Joosten, H. (2016). "Paludiculture-productive use of wet peatlands," Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart, Germany.

Wilson, D., Blain, D., Couwenberg, J., Evans, C., Murdiyarso, D., Page, S., Renou-Wilson, F., Rieley, J., Sirin, A., Strack, M. (2016). Greenhouse gas emission factors associated with rewetting of organic soils. Mires and Peat 17, 1-28.

8.3 Vådområder på mineral jord (KVM8.5)

Forfatter(e): Joachim Audet, Institut for Ecoscience

Fagfællebedømmer: Brian Kronvang, Institut for Ecoscience

Vådområder på mineraljord defineres som vådområder beliggende på jord med et kulstofindhold < 6 % organisk kulstof i de øverste 30 cm af jorden. Vådområder på mineraljord i Danmark findes primært i de vandløbsnære arealer, hvor grundvandspejlet periodisk kan svinge omkring jordfladen og enten ligge tæt ved jordoverfladen eller over denne (fx under tidvise oversvømmelser fra vandløbet). For at et vådområde skal fungere, skal der være udveksling af vand og stof mellem området og de omkringliggende arealer og/eller det nærliggende vandløb. Det er de naturlige, hydrologiske forhold, der er afgørende for, hvor og hvordan processerne foregår, og det er således en forudsætning, at vådområdet er ført tilbage til en naturnær tilstand uden dræning og grøftning, samt – hvis området oversvømmes – at vandløbet har en vandføringsevne som betinger at det tidvist kan gå over sine bredder. Kystnære vådområder er ikke inkluderet i dette kapitel.

8.3.1 Anvendelse

Virkemidlet er målrettet formindskelse af drivhusgasemission samt tilbageholdelse af næringsstoffer og øget biodiversitet.

8.3.2 Relevans og potentiale

De fleste vandløb i Danmark er kanaliserede, og mange nærliggende vandløbsarealer er påvirkede af dræning og grøftning. Dyrket areal med et kulstofindhold < 6 % på lavbund udgør i alt ca. 3.692 km^2. Det er derfor et stort potentiale for reetablering af vådområder på mineraljord.

8.3.3 Effekt på drivhusgasemission

Genetablering af vådområder har stor betydning for indholdet af kulstof i jorden (Andersen et al., 2020). Når grundvandspejlet er tæt på jordoverfladen eller når der er tidvise oversvømmelser af ådalen kan dette fremme metan (CH_4)-emissionen, særligt på næringsrige jorder med en stor pulje af letomsætteligt organisk stof (Zak et al., 2015). Under tidvise oversvømmelser om vinteren i vådområdet bør CH_4 emissionen ikke være af større omfang, da CH_4-produktionen bliver begrænset af lave temperaturer. Et vandspejl tæt

på jordoverfladen vil dog bremse emissionen af CO_2 og potentielt også af lattergas (N_2O) pga af mindre jordmineralisering. Et vandspejl tæt på jordoverfladen kan endog fremme CO_2-binding, hvis en ny tørvedannende vegetation har udviklet sig efter vådlægningen. Oversvømmede arealer kan også opsamle organisk kulstofrigt sediment fra vandløbet og dermed bidrage til kulstoflagring (Kronvang et al., 2009). Således vil vådlægning af lavbundsjorder med sikkerhed begrænse CO_2-emissionen, men der kan være en risiko for øget emission af CH_4. Den potentielle reduktion i husdyr- og handelsgødningstilførslen til området og mindre jordmineralisering under vådlagte forhold vil sandsynligvis mindske N_2O emissionen. Der kan dog være relativt høj N_2O emission ved den kvælstoffjernelse, der vil finde sted i vådområdet efter afskæring af dræn og grøfter. Men den potentielt øgede N_2O emission i vådområdet pga af kvælstoffjernelse vil også betyde, at der sker mindre N_2O emission fra vandløb, fjorde og havet pga af reduceret kvælstoffudledning.

Der findes kun få studier af drivhusgas emission fra vådområder på mineraljord, idet de fleste undersøgelser fokuserer på organisk jord. Et par studier har undersøgt CH_4-emission efter genetablering af vådområder på mineraljord under danske forhold (Herbst et al., 2011 og Audet et al., 2013). Herbst et al. målte drivhusgas emissionen (CO_2, CH_4 og N_2O) et år i en restaureret våd enge ved Skjern å. Konklusionen var at engen netto bandt kulstof (C) med i alt 703 (±105) g CO_2 ækvivalents m^{-2} $år^{-1}$ (Herbst et al., 2011). Audet et al. undersøgte ændringer i drivhusgas emissionen før og efter genetableringen af et vådområde (Audet et al., 2013). I sidstnævnte undersøgelse var CH_4-emissionen markant højere efter genetableringen af vådområdet, men lavere emissioner af CO_2 og N_2O kompenserede for denne stigning.

Etablering af vådområder vil normalt ske ved en omlægning af landbrugsjorden, og dermed vil der ske en reduktion i husdyr- og handelsgødningstilførslen til området. Hvis området bliver lagt om fra en mark i omdrift, kan man forvente en øget kulstoflagring i jorden. Forøgelsen vil være mindre, hvis marken allerede har vedvarende plantedække. Der vil også være et mindre fossilt energiforbrug til markdriften.

På grund af manglende data beregnes effekter af drivhusgasemission ved hjælp af IPCC-metoden for "Inland wetland on mineral soil" (Wickland et al., 2013) og de danske nationale opgørelser af drivhusgasemissioner (Nielsen et al., 2022).

Metanestimatet er 235 kg CH_4 ha^{-1} yr^{-1} for den tempererede klimaregion (tabel 5.4 i Wickland et al., 2013).

Kuldioxid-emissionen som følge af ændring i kulstofindholdet i jord sættes til 0 ifølge sektion 6.5.14 i Nielsen et al., 2022.

Lattergas-emissionen anses for at være for usikker (Wickland et al., 2013) til at kunne bruges til beregning af et estimat og sættes derfor til 0.

8.3.4 Samspil til andre virkemidler

Der kan være overlap med reetablering af organisk lavbundsjorder og N-og P-vådområder.

8.3.5 Usikkerheder

På grund af manglende danske studier er beregninger af CH_4-effekten baseret på 21 internationale studier samlet i Wickland et al. (2013) med en konfidensinterval på ±95%. CO_2-emissionen i de restaurerede områder vil sandsynligvis være negativ dvs. at der vil foregå en lagring af kulstof.

Lattergas-emissionen efter vådlægning er meget usikker, da svingende vandstand og deraf følgende ændringer i iltforholdet i jorden kan fremme N_2O-emissionen (Jørgensen et al., 2012). Disse emissioner burde være begrænsede pga. mindsket mineralisering og stop af gødning.

Referencer:

Andersen, H.E., Rubæk, G.H., Hasler, B., Jacobsen, B.H. (redaktører) (2020). Virkemidler til reduktion af fosforbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 284 s. - Videnskabelig rapport nr. 379 http://dce2.au.dk/pub/SR379.pd

Audet, J., Elsgaard, L., Kjaergaard, C., Larsen, S.E., Hoffmann, C.C. (2013). Greenhouse gas emissions from a Danish riparian wetland before and after restoration. Ecological Engineering, 57, 170-182.

Herbst, M., Friborg, T., Ringgaard, R., Soegaard, H. (2011). Catchment-wide atmospheric greenhouse gas exchange as influenced by land use diversity. Vadose Zone Journal, 10(1), 67-77.

Jørgensen, C.J., Struwe, S., Elberling, B. (2012). Temporal trends in N2O flux dynamics in a Danish wetland–effects of plant-mediated gas transport of N2O and O2 following changes in water level and soil mineral-N availability. Global Change Biology, 18(1), 210-222.

Kronvang, B., Hoffmann, C.C., Dröge, R. (2009). Sediment deposition and net phosphorus retention in a hydraulically restored lowland river floodplain in Denmark: combining field and laboratory experiments. Marine and Freshwater Research, 60(7), 638-646.

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

Wickland, K.P., Krusche, A.V., Kolka, R.K., Kishimoto-Mo, A.W., Chimner, R.A., Ogle, S., Srivastava, N. (2013). Inland wetland mineral soils. In: 2013 Supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: wetlands. [Place of publication unknown]: Intergovernmental Panel on Climate Change: 5.1-5.34. Chapter 5, 5-1.

Zak, D., Reuter, H., Augustin, J., Shatwell, T., Barth, M., Gelbrecht, J., McInnes, R. J. (2015). Changes of the CO2 and CH4 production potential of rewetted fens in the perspective of temporal vegetation shifts. Biogeosciences, 12(8), 2455-2468.

Konklusioner, igangværende projekter og vidensbehov

De foregående kapitler 5-8 giver en gennemgang af en række virkemidler til reduktion af udledning af drivhusgasser fra landbruget. De mulige reduktioner kan opdeles i tre kategorier:

- Reduktion af udledninger af metan og lattergas fra landbrugsmæssige aktiviteter
- Lagring af kulstof i jord og vegetation
- Reduktion af brændstofforbrug i landbrug og transport, herunder substitution af fossil energi gennem produktion af biogas til transportsektoren.

Som det ses i beskrivelserne af de enkelte virkemidler, er der betydelig variation i deres effekt, potentiale og mulighederne for at kombinere tiltag. Der vil desuden være en betydelig variation i deres i deres omkostningseffektivitet, som f.eks. beregnet af Dubgaard og Ståhl (2018). Til at udpege relevante virkemidler, kan følgende kriterier opstilles (Olesen et al., 2018):

- Virkemidlet skal have en betydende og reel effekt på de samlede udledninger
- Virkemidlet skal være dokumenteret i internationalt gransket litteratur, så det kan godkendes af det internationale review-panel under Klimakonventionen
- Virkemidlet skal være økonomisk konkurrencedygtigt med andre mulige tiltag, altså det må ikke samfundsøkonomisk eller budgetøkonomisk være for dyrt
- Virkemidlet skal kunne implementeres i praksis, og det skal gennem økonomiske eller regulerings-mæssige tiltag være muligt at sikre denne implementering
- Omfanget af gennemførelse af virkemidlet skal kunne opgøres, således at reduktionen kommer til at indgå i den nationale emissionsopgørelse
- Virkemidlet må ikke have væsentlige negative sideeffekter på fx miljø eller sundhed.

På grundlag af disse kriterier har vi i tabel 9.1 givet en oversigt over virkemidler med hensyn til potentiale for reduktion af udledning af drivhusgasser i landbruget. Alle de beregnede effekter af virkemidlerne kan ses i bilag 1 med værdier udover AR4 også beregnet i henhold til AR5 og AR6.

Tabel 9.1 Reduktionspotentialet for drivhusgasser ved brug af virkemidler opgjort i kt CO2-ækv/år i 2030 for tiltag opgjort ud fra basisfremskrivningen (2020) og Feilberg et al. (2022). Nogle af virkemidlerne er opgjort for forskellige grupper af dyr eller typer af husdyrgødning. Reduktion i udledningerne er beregnet som den samlede effekt af reduktion i lattergas og metan, øget kulstoflagring og reduktion af fossil energi i land-

brug og transport. Desuden er det anført om virkemidlet umiddelbart kan indgå i den nationale emissions-opgø-relse, samt om der er væsentlige tekniske, miljømæssige og sundhedsmæssige barrierer for implementeringen.

Virkemiddel	Reduktion i alt	Emissions-opgørelse	Væsentlige barrierer
Husdyrproduktion			
Anvendelse af metanreducerende tilsætningsstoffer i foder til kvæg	724	Ja	Nej
Generelle ændringer i foderrationen	165	Ja	Nej
Øget fodring med fedt til kvæg	155	Ja	Nej
Genetisk selektion af malkekvæg	?	Ja	Nej
Husdyrgødning			
Forsuring af gylle i stalden	1.470	Nej	Nej
Køling af gylle i grisestalde	80	Nej	Ja
Hyppig udslusning fra stalde	553	Nej	Ja
Lavdosis forsuring i gyllelagre	1.017	Nej	Nej
Bioforgasning af gylle	1.864[2]	Ja	Nej
Opsamling af gas i gyllelagre og afbrænding	930	Nej	Ja
Overdækning af gylletanke med ventileret flydelag	581	Nej	Nej
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og bioforgasning	1.847[2]	Nej	Ja
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og overdækning af gylletanke med ventileret flydelag	1.043	Nej	Ja
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og opsamling af gas i gyllelagre og afbrænding	1.337	Nej	Ja
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og lavdosis forsuring i gyllelagre	1.410	Nej	Ja
Køling af gylle i grisestalde og bioforgasning	695	Nej	Ja
Afgrødeproduktion			
Efterafgrøder (1 mio. ha)	900	Ja	Nej
Mellemafgrøder (0,6 mio. ha)	300	Ja	Nej
Nedmuldning af halm	0	Nej	Nej
Halm til forgasning (pyrolyse) med biochar retur (100.000 ha)	200	Ja	Nej
Braklægning i sædskiftet (200.000 ha)	260	Ja	Nej
Ompløjningstidspunkt for fodergræs og efterfølgende afgrødevalg (50.000 ha)	14	Ja	Nej
Flerårige energiafgrøder i sædskiftet (100.000 ha)	132	Ja	Nej
Reduceret jordbearbejdning og forbud i visse perioder (1 mill ha)	75	Ja	Ja
Præcisionsjordbrug (1 mill ha)	190	Ja	Ja
Reduceret kvælstofnorm (hele landbrugsarealet)	295	Ja	Nej

Større opbevaringskapacitet af husdyrgødning og ændring er forbud mod udbringning af husdyrgødning om efteråret	2,2	Ja	Nej
Afgrøder med høj N-optagelse (500.000 ha)	350	Ja	Ja
Skærpet udnyttelseskrav for N i udvalgte typer husdyrgødning	40	Ja	Nej
Nitrifikationshæmmere til husdyrgødning+handelsgødning	568	Ja	Nej[1]
Arealanvendelse			
Udtag af omdriftsareal til permanent ugødet brak (100.000 ha)	180	Ja	Nej
Randzoner på mineraljord (100.000 ha)	280	Ja	Nej
Paludikultur – tidligere drænet omdrift + vedvarende græs (10.000 ha)	350	Ja	Ja
Vådområder på mineral jord (1.000 ha)	-6	Ja	Nej

[1]Der kan i forbindelse med anvendelse af nitrifikationshæmmere være effekter på økotoksikologi og udvaskning af tilsætnings- og nedbrydningsprodukter til grundvand, som bør afklares inden udbredt anvendelse. Kvælstofindhold i husdyrgødning estimeret fra Børsting et al. (2021). [2]I beregningen af potentialerne antages at alt gylle kan afgasses, hvorimod ikke alt gylle kan udsluses hyppigt før det afgasses – kun i nye stalde.

De samlede effekter er beregnet som sum af de enkelte tiltag. I visse tilfælde konkurrer tiltagene (biogas med/uden brug af køling/hyppig udslusning og udtagning af organogen jord med/uden ophør af dræning), og der er derfor beregnet et interval for effekter mellem en minimum og en maksimum effekter.

Oversigt over igangværende projekter, der bidrager til at beregne effekter af virkemidler på drivhusgasudledning samt liste over identificerede forskningsbehov

Husdyrproduktion

Forskningsbehov

I de nuværende projekter hvor der måles metan i private besætninger på baggrund af sniffermetoden, er det kun muligt at måle metan i de besætninger hvor køerne malkes i malkerobotter (ca. 25 % af malkekøerne). For at kunne måle metan i flere typer af besætninger, og dermed kunne forbedre de genomiske modeller til avlsværdivurdering og opnå en bedre estimering af forskellige typer af besætningers samlede emission af metan, er der et forskningsmæssigt behov for at udvikle af en sniffer som kan anvendes for køer i besætninger uden malkerobotter.

Sammensætningen af køernes vom-mikrobiom har stor indflydelse på dannelsen af metan hos den enkelte ko. Vom-mikrobiomet påvirkes bl.a. af koens genetik og fodring, herunder foderadditiver. Der er et forskningsmæssigt behov for at få identificeret gener og mikrobearter og samspillet mellem disse, som har en væsentlig indflydelse på metanemissionen hos malkekøer. Dette kan være med til at belyse årsager til variationen mellem dyr og forstå de underliggende biologiske mekanismer med betydning for udskillelsen af metan, så oplysningerne bl.a. kan indgå i avlsarbejdet med malkekøer, som sigter mod at reducere klimabelastningen fra kvægbruget.

Der er behov for et større forskningsmæssig fokus på, hvorledes strukturelle ændringer af kvægavlen påvirker klimabelastningen. Dette gælder fx produktion af en større mængde oksekød på baggrund af malkekvæg og tilsvarende reduktion på baggrund af kødkvæg, hvilket kan ske som følge af en ændring i avlsmålet hos malkekvæg til en "toformålsrace" med en større vægtning af kødproduktion. Dette gælder ligeledes systematisk anvendelse af kønssorteret sæd til at producere kvier, og anvendelse af kødkvægssæd på resterende køer til at producere slagtedyr af høj kvalitet. Der er også et behov for en afklaring af den klimamæssige gevinst ved systematisk krydsning af racer med henblik på at opnå krydsningsfrodighed på egenskaber såsom sundhed og holdbarhed.

Husdyrgødning

Forskningsbehov

Der er behov for bedre viden omkring netto-energiproduktion ved afbrænding af forskellige typer husdyrgødning under praktiske forhold. Energiproduktionen har betydelig indflydelse på den beregnede drivhusgaseffekt ved afbrænding af husdyrgødning.

Afgrødeproduktion

På området præcisionsgødskning er der et løbende udviklingsbehov, som omfatter mere præcis bestemmelse af afgrøders N-behov og mere præcis tildeling af gødning inklusiv husdyrgødning. Dette omfatter også nye tildelingsmetoder som f.eks. bladgødskning.

Da der kan være stor risiko for udvaskning efter ompløjning af græs- og kløvergræsmarker og stor variation mellem år og lokaliteter, er der forskningsbehov på området 'ompløjningstidspunkt for fodergræs og efterfølgende afgrødevalg' (KVM7.7) mht. at bestemme udvaskning efter ompløjning af kløvergræs, græs i renbestand gødet efter gældende normer samt efter afgræsning. Desuden mangler der data for 2. års udvaskning efter ompløjning af græs eller kløvergræs med forskellig alder.

Forbedrede og mere præcise N_2O emissionsfaktorer for tilført kvælstofgødning vil kunne forbedre den beregnede effekt af ændrede udnyttelseskrav, ligesom de har betydning for den beregnede effekt af ændrede N normer.

Der er behov for øget viden omkring nitratudvaskning ved efterårstilførsel af husdyrgødning og betydning for udledningen af lattergas. Dette har betydning for at vurdere effekten af ændret opbevaringskapacitet og ændrede udbringningsperioder.

Der er betydelig usikkerhed om effekten af flerårige energiafgrøder på jordens kulstofindhold. Det gælder dels den årlige effekt under en rotation på 10-30 år, dels hvad ompløjning af en ældre kultur og nyetablering betyder. Endelig mangler viden om, hvor mange år en stigning i jordens kulstofindhold kan fortsætte før et nyt ligevægtsniveau indtræder. Der er derfor behov for meget velplanlagte forsøg over lang tid, hvis denne parameter skal bestemmes mere nøjagtigt. Der er desuden tegn på, at den nuværende N-kvote for pil er for høj. En norm-sænkelse ville have en betydelig klimaeffekt og bør derfor undersøges.

Kvælstofkrævende afgrødetyper med lav kvælstofeffektivitet og høj andel af kvælstofrige afgrøderester har hidtil ikke været nævneværdigt inddraget i vurdering af klimavirkemidler. Dette gælder i høj grad afgrøder der anvendes direkte som fødevarer så som grøntsager (overvejende til frisk konsum) og bælgfrugter der dyrkes til modenhed (fx forarbejdning til proteinprodukter til fødevareindustrien). Grøntsager (fx salater, kåltyper, rodfrugter, løg) kræver generelt høj kvælstofgødskning og efterlader meget nitrat og kvælstofrige afgrøderester i jorden ved høst. Det giver høj risiko for udvaskning og lattergasemission (Tei et al. 2020). Flere tilsvarende problemstillinger gælder for bælgfrugter (bortset fra højt gødskningsbehov). Da disse højværdiafgrøder ofte indgår i sædskifter med korn opnås ikke nær den maksimale effekt af virkemiddelkrav, fordi avlerens fokus for optimal dyrkning er på højværdiafgrøderne (stort økonomisk afkast), mens N-normer, efterafgrødekrav etc. sættes ind på kornmarkerne. Her er reduktionspotentialet meget mindre. Et igangværende projekt 'Sædskiftemodel med grøntsagsforsøg' (LBST Bedriftsnære indsatser I 2021-2025) tager hul på nogle af disse problemstillinger for økologiske og konventionelle grøntsagssædskifter (nitratudvaskning og planterester), men der er behov for målinger og viden om virkemidlers effekt i disse særligt kvælstofrige produktionssystemer, herunder især effekter på klimagasudledning og nitratudvaskning af målrettede virkemidler (fx efterafgrøder, præcisions-/eftergødskning, nitrifikationshæmmere, skovlandbrug) på de største afgrøder på flere jordtyper. Jordtypen er vigtig da foreliggende viden især stammer fra sandblandet lerjord (fx Hefner et al, 2022; Shanmugam et al, 2022 og igangværende projekter afsnit 9.5), mens strukturudviklingen de senere år har rykket grøntsagsproduktionen i Danmark over på sandjord.

Referencer

Hefner, M, Sorensen, JN, De Visser, R, Kristensen, HL (2022) Sustainable intensification through double-cropping and plant-based fertilization: production and plant-soil nitrogen interactions in a 5-year crop rotation of organic vegetables. Agroecology and Sustainable Food Systems, 2022, 46(8): 1118–1144 doi.org/10.1080/21683565.2022.2104419

Shanmugam, S, M. Hefner, R. Labouriau, A. Trinchera, K. Willekens, H. L. Kristensen (2022). Intercropping and fertilization strategies to progress sustainability of organic cabbage and beetroot production European Journal of Agronomy 140 (2022) 126590 (preview) https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126590

Tei, F, De Neve, S, de Haan, J, Kristensen, HL (2020) Nitrogen management of vegetable crops. Agricultural Water Management 240, 1 October 2020, 106316 https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106316

Forskningsbehov

På området præcisionsgødskning er der et løbende udviklingsbehov, som omfatter mere præcis bestemmelse af afgrøders N-behov og mere præcis tildeling af gødning inklusiv husdyrgødning. Dette omfatter også nye tildelingsmetoder som f.eks. bladgødskning.

Da der kan være stor risiko for udvaskning efter ompløjning af græs- og kløvergræsmarker og stor variation mellem år og lokaliteter, er der forskningsbehov på området 'ompløjningstidspunkt for fodergræs og efterfølgende afgrødevalg' (KVM7.7) mht. at bestemme udvaskning efter ompløjning af kløvergræs, græs i renbestand gødet efter gældende normer samt efter afgræsning. Desuden mangler der data for 2. års udvaskning efter ompløjning af græs eller kløvergræs med forskellig alder.

Forbedrede og mere præcise N_2O emissionsfaktorer for tilført kvælstofgødning vil kunne forbedre den beregnede effekt af ændrede udnyttelseskrav, ligesom de har betydning for den beregnede effekt af ændrede N normer.

Der er behov for øget viden omkring nitratudvaskning ved efterårstilførsel af husdyrgødning og betydning for udledningen af lattergas. Dette har betydning for at vurdere effekten af ændret opbevaringskapacitet og ændrede udbringningsperioder.

Der er betydelig usikkerhed om effekten af flerårige energiafgrøder på jordens kulstofindhold. Det gælder dels den årlige effekt under en rotation på 10-30 år, dels hvad ompløjning af en ældre kultur og nyetablering betyder. Endelig mangler viden om, hvor mange år en stigning i jordens kulstofindhold kan fortsætte før et nyt ligevægtsniveau indtræder. Der er derfor behov for meget velplanlagte forsøg over lang tid, hvis denne parameter skal bestemmes mere nøjagtigt. Der er desuden tegn på, at den nuværende N-kvote for pil er for høj. En norm-sænkelse ville have en betydelig klimaeffekt og bør derfor undersøges.

Kvælstofkrævende afgrødetyper med lav kvælstofeffektivitet og høj andel af kvælstofrige afgrøderester har hidtil ikke været nævneværdigt inddraget i vurdering af klimavirkemidler. Dette gælder i høj grad afgrøder der anvendes direkte som fødevarer så som grøntsager (overvejende til frisk konsum) og bælgfrugter der dyrkes til modenhed (fx forarbejdning til proteinprodukter til fødevareindustrien). Grøntsager (fx salater, kåltyper, rodfrugter, løg) kræver generelt høj kvælstofgødskning og efterlader meget nitrat og kvælstofrige afgrøderester i jorden ved høst. Det giver høj risiko for udvaskning og lattergasemission (Tei et al. 2020). Flere tilsvarende problemstillinger gælder for bælgfrugter (bortset fra højt gødskningsbehov). Da

disse højværdiafgrøder ofte indgår i sædskifter med korn opnås ikke nær den maksimale effekt af virkemiddelkrav, fordi avlerens fokus for optimal dyrkning er på højværdiafgrøderne (stort økonomisk afkast), mens N-normer, efterafgrødekrav etc. sættes ind på kornmarkerne. Her er reduktionspotentialet meget mindre. Et igangværende projekt 'Sædskiftemodel med grøntsagsforsøg' (LBST Bedriftsnære indsatser I 2021-2025) tager hul på nogle af disse problemstillinger for økologiske og konventionelle grøntsagssædskifter (nitratudvaskning og planterester), men der er behov for målinger og viden om virkemidlers effekt i disse særligt kvælstofrige produktionssystemer, herunder især effekter på klimagasudledning og nitratudvaskning af målrettede virkemidler (fx efterafgrøder, præcisions-/eftergødskning, nitrifikationshæmmere, skovlandbrug) på de største afgrøder på flere jordtyper. Jordtypen er vigtig da foreliggende viden især stammer fra sandblandet lerjord (fx Hefner et al, 2022; Shanmugam et al, 2022 og igangværende projekter afsnit 9.5), mens strukturudviklingen de senere år har rykket grøntsagsproduktionen i Danmark over på sandjord.

Referencer

Hefner, M, Sorensen, JN, De Visser, R, Kristensen, HL (2022) Sustainable intensification through double-cropping and plant-based fertilization: production and plant-soil nitrogen interactions in a 5-year crop rotation of organic vegetables. Agroecology and Sustainable Food Systems, 2022, 46(8): 1118–1144 doi.org/10.1080/21683565.2022.2104419

Shanmugam, S, M. Hefner, R. Labouriau, A. Trinchera, K. Willekens, H. L. Kristensen (2022). Intercropping and fertilization strategies to progress sustainability of organic cabbage and beetroot production European Journal of Agronomy 140 (2022) 126590 (preview) https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126590

Tei, F, De Neve, S, de Haan, J, Kristensen, HL (2020) Nitrogen management of vegetable crops. Agricultural Water Management 240, 1 October 2020, 106316 https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106316

Igangværende projekter husdyrproduktion

Projekttitel	Formål og kort beskrivelse	Projektleder	Projektperi-ode	Bevillingsgiver
Fodring og fænotype af den klimaeffektive malkeko	Projektets overordnede formål er at udvikle nye foderadditiver samt undersøge allerede kendte foderadditiver mht effekt på enterisk metan, foderoptagelse og produktion og at undersøge om dyr med forskellig fænotype responderer forskelligt til en given strategi. I projektet indgår der dyreforsøg og in vitro forsøg. Dyreforsøgene har fokus på tildeling af fedt, nitrat og 3-NOP samt at undersøge om dyr med forskellig fænotype responderer forskelligt til en given strategi. Der indgår endvidere in vitro forsøg med det formål at udvikle nye foderadditiver og for at vurdere om rangering af dyr in vivo afspejles in vitro.	Peter Lund, ANIVET	2019-2023	Landbrugsstyrelsen
Reduceret klimaaftryk på ko- og bedriftsniveau	At bidrage til en mere bæredygtig mælkeproduktion ved en betydelig forskningsindsats baseret på: 1) Respons til ekstreme foderrationer og tilsætningsstoffer og undersøgelse af om respons til en given fodringsstrategi til reduktion af metan produktion er afhængig af ydelsesniveau, 2) Validering af sammenhæng mellem metanproduktion og fodereffektivitet, 3) Videreudvikling af laboratoriemetoder til screening for metan nedsættende effekt af foderingredienser og af bioinformatiske metoder til karakterisering af det mikrobielle samfund i vommen og 4) Effektvurdering i forhold til mælkeproduktionen i 2030.	Peter Lund, ANIVET	2019-2023	Mælkeafgiftsfonden
Reduceret metanproduktion med optimeret mælkeproduktion: Udnyttelse af samspillet mellem foderadditiver, den enkelte kos genetik og vommens mikrober	Projektets overordnede formål er at anvise strategier til reduktion af metanemissionen, således at vi kan fastholde en betydelig mælkeproduktion i Danmark og samtidigt bane vejen for en samlet reduktion på 50% i enterisk metan. Projektet vil opnå dette ved at undersøge samspillet mellem det enkelte dyr (genotype og fænotype), foderrationen og brug af foderadditiver,	Martin Riis Weisbjerg, ANIVET	2022-2026	Mælkeafgiftsfonden

Projekttitel	Formål og kort beskrivelse	Projektleder	Projektperi-ode	Bevillingsgiver
	samt vommikrobiomet. Projektet vil være afgørende for at brug af additiver accepteres, at additiver anvendes optimalt under hensyntagen til dyrets genetiske anlæg, samt for at avlsarbejdet kan tilpasses derefter.			
Klima, dyrevelfærd og økonomi i sunde køer (KlimaKS)	En stor del af klimabelastningen fra malkekøer skyldes sygdomme som reducerer effektiviteten og holdbarheden. De mest betydende sygdomskomplekser er mastitis, stofskifte- og klovlidelser. De kan forebygges med mange forskellige tiltag, men forskning viser, at det sker for sjældent. Det er projektets formål at løse det ved at udvikle to værktøjer: 1) et nyt system til besætningsspecifik sygdomsovervågning og tidlig forebyggelse (Surveil) og 2) et nyt beslutningsstøttesystem til prioritering af forebyggelsestiltag under hensyntagen til klima og økonomi (KlimaKS-dashboard).	Søren Østergaard, ANIVET	2022-2025	GUDP
Model for kvægbesætningens udledning af enterisk metan under forskellige management strategier	Projektets formål er at analysere og dokumentere, hvad valget af managementstrategi betyder for den individuelle kvægbesætnings klimaaftryk. Målet er, at udvikle en model for besætningens udledning af enterisk metan under forskellige management strategier, samt en model der kan beregne cost-benefit på eksisterende og nye forslag om tiltag til at reducere klimaaftryk fra kvægbesætninger.	Søren Østergaard, ANIVET	2021-2024	Landbrugsstyrelsen
Beet silage for future sustainable dairy production (UNBEETABLE)	Ensilerede roer er et nyt fodermiddel, som har potentiale til at reducere klima- og miljøpåvirkningen af mælkeproduktionen betragteligt. Dette sker ved at fastholde de gode dyrknings-egenskaber ved roer (højt udbytte, lav N-udvaskning, højere biodiversitet), mens de negative egenskaber ved traditionel fodring med friske roer (arbejdskrævende og kort holdbarhed) undgås. Nye roesorter gør det nu muligt at kon-	Mogens Larsen, ANIVET	1/9 2021 – 31/3 2025	GUDP

Projekttitel	Formål og kort beskrivelse	Projektleder	Projektperi-ode	Bevillingsgiver
	servere roer ved ensilering. Fodring med ensilerede roer vil reducere udledningen af enterisk metan, så mælkeproduktionen samlet set bliver mere bæredygtig. Dyrkning af roer vil også bidrage til at opfylde EU's krav om tre afgrøder i sædskiftet og øge biodiversiteten i det åbne land.			
Måling af metanudledning af 5-10.000 individuelle køer mhp. Forbedrede bedriftsregnskaber og avl for mindre metanudledning	Projektet har til formål at bestemme variationen i metan på individniveau, indenfor og mellem bedrifter og anvende denne information til at analysere de komplekse relationer mellem den bedriftsspecifikke fodring og management, således at der kan dokumenteres nogle generelle effekter, som kan danne grundlag for en bedre estimering af besætningens samlede emission af metan. Dette kan anvendes i klimaregnskabet af den enkelte bedrift men også i nationale regnskaber. De mange målinger på individuelle køer vil desuden give en unik fremtidssikret dataplatform til at udvikle og implementere et avlsindeks som gør det muligt at nedbringe metanudledningen fra malkekvæg gennem systematisk avl for mindre metanbelastning	Trine Villumsen, QGG	2021-2024	LBST
ONIMIT	Projektets formål er at opnå viden om de avlsmæssige sammenhænge mellem metanudledning, fodereffektivitet og produktionssygdomme med henblik på at reducere metanudskillelsen samtidig med at den velfungerende ko bibeholdes. Variation mellem bedrifter og individuelle køer indenfor bedrift anvendes til analyse af de komplekse relationer mellem den bedriftsspecifikke fodring og management.	Mogens Sandø Lund, QGG	2022-2025	GUDP
C-FIT	Projektets formål er at anvende 3-D billedanalyse til at estimere fodereffektivitet, negativ energibalance og tidlig advarsel om sygdom for individuelle dyr baseret på automatiske storskala-	Jan Lassen, QGG	2021-2024	Innovationsfonden

Projekttitel	Formål og kort beskrivelse	Projektleder	Projektperiode	Bevillingsgiver
	målinger i private besætninger. Der skal ligeledes udvikles genomiske modeller til avlsværdivurdering for egenskaberne.			
Bæredygtig slagtekalvefodring nu	Projektets formål er at give grundlag for en bæredygtig slagtekalveproduktion, så slagtekalveproducenterne kan fodre på en måde, der giver sund vom, god velfærd, billig fodring, lavt klimaaftryk, høj tilvækst og god økonomi	Mogens Vestergaard, ANIVET	2021-2023	Kvægafgiftsfonden
GrOBEat – High Quality Grass-fed Organic Beef for Sustainable Eating behavior	GrOBEat ønsker at udvikle en bæredygtig strategi for den økologiske oksekødsproduktion til fremtidens forbruger, hvor kvalitet erstatter kvantitet, hvilket i følge de nyeste hypoteser i forbrugervidenskab bidrager til sundere spisevaner og øget tilfredsstillelse.	Margrethe Therkildsen, FOOD	2021-2024	GUDP Organic-RDD6
Sustainable protein ingredient for animal feed (SUPIAF)	Formålet med projektet er at videreudvikle bakterielt proteins potentiale i foder til smågrise og opdrætsfisk. Produktet vil blive optimeret i forhold til næringsstofbehovet hos ovennævnte opdrætsarter, så det fremadrettet kan indgå i foderfirmaers foderblandinger som en bæredygtig proteiningrediens eller et funktionelt additiv.	Michael Jensen, Unibio A/S, DK. AU ansvarlig: Mette Olaf Nielsen, ANIVET	2019-2023	GUDP
Algae Based Climate Feed Additive for Methane Reduction in Dairy Cows (ClimateFeed)	The project will develop a novel climate friendly algae-based feed additive with a significant methane reduction (30%) in dairy cows with improved overall feed efficiency and productivity. The feed additive will replace synthetic additives. Algae farmers, Danish producers of feed and minerals, dairy companies and farmers will share the value of (estimated) 1.4 billion DKK/year in DK alone. The investment will be used at Danish universities, GTS institutes and Danish companies to develop and document (by in vitro and in vivo test) the novel zoo-technical algae-based feed additive.	Anne Christine Hastrup, DTI, DK. ANIVET ansvarlig: Mette Olaf Nielsen	2019-2023	IFD
Reducing ruminant methane emission by inactivating methanogenic archaea with viruses	Rumen archaea are the only known microorganisms responsible for the synthesis of methane in the forestomachs of ruminants. The project will	Dennis Sandris Nielsen, University of Copenhagen,	2021-2023	FTP

Projekttitel	Formål og kort beskrivelse	Projektleder	Projektperiode	Bevillingsgiver
	address the production and manipulation of archaeal viruses that will reduce methane emission through repression of methanogenic archaea in the rumen.	DK. ANIVET responsible: Mette Olaf Nielsen		
Novel triple action feed additive approach to reduce enteric methane emission from cattle by blocking the enzymatic process, draining the hydrogen substrate and suppressing methanogenic archaea (No-Methane)	The project will develop and document (in vitro and in vivo tests) a novel, safe triple action feed additive (TAFA) for cattle, which reduces enteric methane emission by up to 50% without negative impacts on productivity. The novelty of TAFA is that different compounds/probiotics are combined to target in a synergistic way 3 separate rate-limiting factors in the synthesis of methane from CO2 and H2.	Mette Olaf Nielsen, ANIVET, AU	2021-2025	IFD
Identification and elucidation of bioactivity of new compounds excreted into milk as the result of introduction of novel feeds and/or anti-methanogenic feed additives in diets for cattle (BIO-MILK)	Methane reduction efficiency and safety assessed of 3 new anti-methanogenic feed additives are presently being researched at AU as part of IFD projects. In this PhD: 1) Validated targeted methods will be refined to accurately quantify compound X and possible break-down products in biological samples (e.g. blood, milk and meat). 2) Untargeted metabolomics and cell culture study approaches will be used to identify compounds excreted into milk and their safety.	Mette Olaf Nielsen, ANIVET, AU	2021-2024	AU-Arla Fellowship
Algae and Climate	The aim of the study is to provide the European Commission's Directorate General for Maritime Affairs and Fisheries (DG MARE) with sound and up-to-date knowledge on the potential impacts of scaling up the production of marine algae through aquaculture in the EU. This includes evaluation of the share of (today and future) animal's feed requirements that could be met by algae production.	Pierre Strosser, Acteon Environment, Fr. ANIVET responsible: Mette Olaf Nielsen	2021-2022	European Commission
Macroalgae bioactives to reduce methane emission from cows (MABICOW)	The project aim is to develop a novel feed additive based on safe bioactive component(s) isolated from Northern hemisphere macroalgae to reduce methane formation by >45%, when the	Mette Olaf Nielsen, ANIVET, AU	2022-2025	AgroFoodTure/IFD

Projekttitel	Formål og kort beskrivelse	Projektleder	Projektperi-ode	Bevillingsgiver
	additive is included in rations for dairy cows. This involves identification and isolation of bioactive components from target species, and proof-of concept will be provided that best-bid bioactives, when added to cow diets, can reduce methane formation by >45% without compromising cow productivity, health or milk quality/safety traits.			
Bæredygtigt dansk rapsprotein til grise (RAPS)	At optimere danske rapskager og -skrå på en omkostningslet måde med probiotika og enzymer, for at forbedre næringsværdien og tilgængeligheden af proteinet og P, når raps bruges som proteinfodermiddel til slagtesvin. Klimaeffekten vil reduceres med 113 CO2-ækv./slagtesvin ved udfasning af soja samt mindre lattergasemission grundet øget udnyttelse af N i raps.	Danish Agro	2022-2025	GUDP
Reducing methane emissions and improving growth performance and health with a novel enzyme applied to swine - MethEnzwine	Formålet er at forbedre grisenes sundhed, reducere udledningen af klimagasser. Der udvikles et enzym, som gør, at der frigives præbiotiske substrater i mavetarmkanalen hos grisene, der påvirker tarmens mikrobiota med færre metanogene arkæer, som producerer klimagassen metan.	IFF	2022-2025	Innovationsfonden

Igangværende projekter husdyrgødning

Projekttitel	Formål og kort beskrivelse	Projektleder	Projektperi-ode	Bevillingsgiver
Nationale emissionsfaktorer for lattergas fra kvælstofgødning og sædskifter (NATEF)	Projektet er bygget op om et forsøgsdesign, hvor relevante sædskifter er etableret på fire lokaliteter med forskellige jordtype-klima kombinationer, som er relevante for dansk landbrug. Hver parcel omfatter en høstparcel, hvor også langtidsmoniteringen af lattergas sker, og et værkstedsareal med miniplots på 1 m^2, hvor forårskampagner gennemføres. Der er	Søren O. Petersen, AGRO	2019-2024	Landbrugsstyrelsen

Projekttitel	Formål og kort beskrivelse	Projektleder	Projektperi-ode	Bevillingsgiver
	gennemført to års målinger af lattergasemission i hele sædskifter, og forårskampagner med forskellige gødningsmaterialer, på fire lokaliteter. Begge år viste nogen afvigelse fra gennemsnitlige vejrforhold i forårsperioden, og en potentielt vigtig forskel mellem handels- og husdyrgødning. Der er bevilget en fortsættelse af måleprogrammerne for at opnå mere robuste estimater for lattergasemissionen.			
Metanfjernelse i flydelag på gyllelagre med dynamisk ventilationskontrol (CH4VENT)	Dette projekt skal validere en ny strategi til begrænsning af metanemissioner fra gyllelagre under praktiske opbevaringsforhold. Teknologien er baseret på stimulering af mikrobiel metanoxidation i naturlige flydelag ved hjælp af aktivt kontrolleret ventilation. Et igangværende forskningsprojekt har leveret bevis for konceptet i pilotskala, og det nye projekt har følgende specifikke mål: i) udvikling af en teknisk løsning i fuld skala, der skal installeres på gylletank med teltoverdækning; ii) udvikling af metode til stabilisering af flydelag under omrøring og eksport af gylle; iii) karakterisering af methanotrofer i flydelag; og iv) kvantificering af metanreduktion over et helt år.	Søren O. Petersen, AGRO	2022-2024	Innovationsfonden
Lavdosis-forsuring af gylle i lagertanken	Udvikling og dokumentation af et praktisk anvendeligt koncept til forsuring af gylle i lagertanken med henblik på reduktion af metan under opbevaringen, samt dokumentation af effekten på emissioner af metan og andre gasser. Konkrete opgaver: i) Undersøgelse af strategier til omrøring i lagertanken på basis af gylleegenskaber; ii) Dokumentation af metanreduktion og samlet klimaeffekt af lavdosis-forsuring; og iii) Analyse af driftsomkostninger, og omkostningseffektivitet for drivhusgasreduktion ved de undersøgte forsuringsstrategier.	Søren O. Petersen, AGRO	2022-2024	Miljøministeriet
SOWEMIS	Formålet med nærværende projekt er at udvikle stalde og gyllesystemer til løse diegiven-de søer, hvor der både kan opnås en høj dyrevelfærd for so og pattegrise samt en lav emission af ammoniak,	Michael Jørgen Hansen, BCE	2020-2023	GUDP

Projekttitel	Formål og kort beskrivelse	Projektleder	Projektperi-ode	Bevillingsgiver
	lugt og drivhusgasser sammenlignet med stalde med et normalt gyllesystem. Det forventede resultat af projektet er, at der udvikles et gyllesystem baseret på tragtformede gyllekummer med en lav fordampningsoverflade og dermed en lav emission. I det tragtformede gyllesystem vil der være implementeret punktudsugning, så-ledes at der opnås den mindst mulige emission fra både punktudsugning og den resteren-de ventilation i stalden. I projektet vil der endvidere blive udviklet et fluxkammer, hvor der kan genereres afgørende ny viden om den emissionsmæssige dynamik i forhold til ved-hæftning af gødning på overflader, gyllekumme og spaltegulv, betydningen af gødnings-afsætning på det faste gulv i samspil med andelen af fast i staldsystemet og effekten af punktudsugning på opsamling af emissioner. Projektet vil endvidere generere ny viden i forhold til staldklima, management og stidesign og hvordan der kan opnås minimal gød-ningsafsætning på det faste gulv i stier med delvist fast gulv og dermed opnå det fulde emissionsmæssige potentiale for de tragtformede gyllekummer. Den overordnede effekt af projektet vil være at incitamentet til at implementere stier til løse diegivende søer øges, da der både opnås en funktionsdygtig sti med høj dyrevelfærd og lav emission af ammo-niak, lugt og drivhusgasser.			
INTEgreret Reduktion af METhan-emission fra husdyrgødning (INTERMET)	Lagring af husdyrgødning i stald og udendørs lager repræsenterer ca. 1/3 af de samlede metan-emissioner fra dansk landbrug. Projektet vil give forbedret mulighed for at opnå markant reduktion af landbrugets klimapåvirkning ved at udvikle og dokumentere integrerede strategier til reduktion af metan-emissioner fra husdyrgødning (gylle) lagret på kvæg- og svine-bedrifter. Projektet adresserer metan-emission i hele kæden fra udskillelse til endt lagring og retter	Anders Feilberg, BCE	2019-2023	Landbrugsstyrelsen

Projekttitel	Formål og kort beskrivelse	Projektleder	Projektperi-ode	Bevillingsgiver
	sig mod eksisterende såvel som nye stalde. Strategierne vil kombinere optimeret hyppig udslusning, nye staldindretninger og udslusningssystemer, efterbehandling af gyllekanaler for at hæmme vækst af metan-producerende mikroorganismer, optimeret strategi for produktion af biogas fra hyppigt udsluset gylle og en ny teknologi til kontrolleret oxidation af metan i gyllelagre. Projektet omfatter eksperimentelle undersøgelser og anvendelse af state-of-the-art metoder og måleudstyr. Parallelt udvikles modelværktøjer, som kan give en dynamisk beskrivelse af metan-produktionen i hele kæden samt simulere effekterne af at implementere nye virkemidler. Samlet set vil projektet tilvejebringe nye omkostnings-effektive virkemidler, der er veldokumenterede og kan fungere i praksis. Projektet vil desuden give myndigheder bedre muligheder for at iværksætte implementering af klimateknologi i landbruget. Endvidere vil de nationale emissionsopgørelser på baggrund af projektet løbende kunne opdateres i takt med indførelse af nye virkemidler.			
A Novel Greenhouse Gas Mitigation Technology for Livestock Manure Slurry (NoGas)	Ny teknologi til reduktion af drivhusgasser fra gylle (NoGas): Den danske produktion af svin og kvæg medfører årligt ca. 35 millioner tons gylle. Gyllen indeholder bakterier, som danner drivhusgasser (primært metan), og dermed bidrager gyllen til Danmarks samlede udledning af klimagasser. Formålet med NoGas-projektet er at udvikle og optimere en helt ny teknologi til reduktion af drivhusgasser fra gyllen. Desuden ønsker forskerne at få en forståelse af de biokemiske mekanismer i gyllen som påvirkes af den nye teknologi. Efterfølgende vil den nyudviklede teknologi blive testet i en svinestald med tilhørende gylletank med henblik på at demonstrere teknologiens potentiale.	Anders Feilberg, BCE	2019-2023	Landbrugsstyrelsen

Projekttitel	Formål og kort beskrivelse	Projektleder	Projektperi-ode	Bevillingsgiver
	Den nye teknologi udspringer af nogle spændende resultater, som forskerne bag projektet har fra et tidligere projekt, hvor de har opfundet en ny teknologi til reduktion af ammoniakdannelse fra gylle. I udviklingen af den nye teknologi til reduktion af drivhusgasser vil der være fokus på at gøre teknologien så effektiv, billig, og miljøvenlig/bæredygtig som muligt. Forskerne bag projektet forventer at den nye teknologi kan halvere mængden af drivhusgasser (primært metan) fra gylle til en så lav omkostning at dansk landbrug kan forblive konkurrencedygtigt på det internationale marked. Hvis den nye teknologi implementeres og fremadrettet bruges til behandling af 50% af gyllen i Danmark, vurderes det at landbruget årligt kan reducere mængden af dannede drivhusgasser med 0.4 - 1 million tons CO2-ækvivalenter.			
Greenslurry	Projektets mål er at udvikle en vaskerobotteknologi som reducerer metanemissionen fra svinestalde ved at minimere overførsel af restgylle med metanproducerende mikroorganismer mellem produktionshold. Der evalueres nye gylleadditiver, der udvikles vaskerobot til slagtesvinestalde, som kan vaske gyllekummen ren for inokulum, og der gennemføres forsøg med grise i metankamre for udvikling af en model for enterisk metan fra slagtesvin.	Michael Jørgen Hansen, BCE	2020-2023	GUDP
Reduktion af drivhusgasudledninger og øget kulstoflagring i jord via stabilisering af gødningsfibre som biochar (STABIL)	Udledning af drivhusgas fra landbruget sker primært som metan fra drøvtyggere, lagring af gylle, og som lattergas fra jorden foranlediget af brug af kvælstofgødning. Derudover udle-des store mængder kuldioxid fra nedbrydning af jordens kulstofpulje. Det er en stor udfor-dring at reducere disse udledninger til et niveau der er i tråd med regeringens klimamål.	Anders Feilberg, BCE	2021-2024	GUDP

Projekttitel	Formål og kort beskrivelse	Projektleder	Projektperi-ode	Bevillingsgiver
	I STABIL undersøges hvordan svinegylle og afgasset biomasse kan stabiliseres ved sepa-ration, damptørring og pyrolyse. Herved produceres biochar der kan indarbejdes i land-brugsjord og dermed reduceres drivhusgasudledning fra opbevaring og anvendelse af hus-dyrgødning, samtidig med at der bindes og akkumuleres atmosfærisk kulstof i jorden. Projektet gennemføres via følgende program: 1. Optimering af et system til separation, damptørring og pyrolyse af gylle og afgasset biomasse med fokus på næringsstofforde-ling, oprensning af tungmetaller, energieffektivitet, kulstofstabilitet samt gødningsværdi 2. Produktion og drift af et 100 kW anlæg til demonstration og test, emissionsmålinger og afklaring af energibalancer 3. Bestemmelse af reduktionspotentialet for teknologien i for-hold til drivhusgas- og ammoniakudledning fra lagring og i marken og effekten på jordens fertilitet 4. Demonstrationsaktiviteter med fremvisning af procesanlæg og anvendelse af biochar i grønsagsdyrkning 5. Vurdering af miljø- og klimapåvirkninger 6. Incitament- og aktøranalyse til afklaring af potentialer og barrierer for udrulning i Danmark			
Nutrient recycling for soil fertility and improved organic livelihood (FertiHood)	Økologisk planteproduktion har utilstrækkelig adgang til næringsstoffer, er afhængig af konventionel gødning og har stor klimapåvirkning pr. produceret enhed. Vi vil øge udbytte og reducere klimaaftryk igennem forbedring af jordens frugtbarhed og evne til at frigive næringsstoffer ved recirkulering af restprodukter fra landbrug og samfund. Målet er at skabe økologiske gødninger og bestemme effekten på jordens frugtbarhed og biodiversitet, samt at udvikle næringsstofrådgivning til øget udbytte, optimeret økonomi og bæredygtighed. Specifikt vil vi: 1) identificere affaldsstrømme og screene for implimenterbarhed, 2) undersøge poten-	Henrik Møller, BCE	2021-2024	GUDP

Projekttitel	Formål og kort beskrivelse	Projektleder	Projektperi-ode	Bevillingsgiver
	tialet for restprodukters forbedring af jordens frugtbarhed, 3) teste indikatorer for jordfrugtbarhed inklusiv Albrecth-Kinsey-systemet, 4) optimere input til biogasanlæg med henblik på balanceret gødning, 5) optimere biogasprocesser mht. tilgængelighed af kvælstof og kulstoflagring i jord, 6) optimere svovlgødningsværdi af afgasset materiale, 7) udvikle økologiske gødningsnormer og gennemføre økonomisk optimering af næringsstofforsyningen på tværs af bedriftstyper og industrier til forbedring af økologien som levevej, og 8) vurdere klima- og miljømæssige konsekvenser som motivation for økologiske landmænd.			
Automatisk dataflow ved håndtering af husdyrgødning, eGylle	Fra 2020 øges kravene til udnyttelse af kvælstof i gylle med 5 procentenheder, og alle landmænd er nødt til at optimere gyllehåndteringen yderligere for at undgå undergødskning af afgrøderne. Alle led i håndteringskæden skal derfor ses efter i sømmene, og de svageste led skal styrkes. Erfaringer fra bl.a. Landbrugsstyrelsens Pilotprojekt for præcisionslandbrug viser, at styring af gyllehåndteringen er et svagt led, og at der på grund af store variationer i gyllens sammensætning sjældent tilføres præcis den tilstræbte mængde kvælstof pr. ha. Manglende automatisering af data mellem planlægningssystemer og udbringningsudstyr anses for at være en af de afgørende årsager til, at leddet er svagt. Det er projektets formål at forbedre landmandens økonomi og reducere miljøpåvirkningerne fra gylle ved at sikre, at kvælstoftildelingen i den enkelte mark sker ved korrekt indregning af mængde og effekten af tildelt gylle. I eGylle udvikles et sammenhængende system, hvor hele datakæden om planlægning og udbringning af gylle og handelsgødning håndteres dynamisk og automatisk. Beregninger viser, at eGylle har et potentiale for at øge landmandens høstud-	Anders Peter Adamsen, BCE	2021-2023	GUDP

Projekttitel	Formål og kort beskrivelse	Projektleder	Projektperi-ode	Bevillingsgiver
	bytte med 2,2 hkg korn pr. hektar og samtidig reducere kvælstofudvaskningen med mindst 1.400 ton pr. år. De deltagende virksomheder kan forvente et provenu på salg af produkter og ydelser på i alt 2,7 mio. kr. i år tre efter projektets afslutning.			
Forøget energiudbytte og nye grønne produkter fra biogas-anlæg	Biogasanlæg er ude af stand til at omsætte store dele af biomassen de behandler til energi: Lignin-delen kan ikke konverteres under anaerobiske for-hold og hemicellulose og cellulose "fanget" i ligni-nen er svær at tilgå. Det betyder, at op til 40% af energien i biomassen ikke kan udnyttes. Endvidere er næringsstofferne (N, P, K, S) fra biomassen ofte problematiske og be-tragtes som oftest som affald og ikke som værdifulde produkter som fx gødning og brændsel. Det overordnede formål med EUDP-projektet er at demonstrere levedygtigheden af et multi-partner cir-kulært system med grøn energiproduktion, samtidig med at det transformerer tidli-gere problematiske biomasserestprodukter til grønne produkter med høj værdi. Med en suc-cesfuld demonstration af det cir-kulære system og efterfølgende markedsudbredelse af tekno-logien vil biogasanlæg i fremtiden opnå bedre kapacitetsudnyttelse og bedre effektivitet i biogasproduktionen, samt bedre udnyttelse af grøn energi generelt og samtidig sikre energi-besparelser og erstatte fossile brændstoffer i produktions-, op-varmnings- og transportsekto-ren.	Henrik Møller, BCE	2021-2023	EUDP
Udvidet Normtal	Det danske Normtalsystem for Husdygødning blev etableret for mere end 20 år siden, med det formål at beskrive husdyrgødningens indhold af N, P og K for kombinationer af husdyr, staldtyper og lagerfor-hold, der anvendes i dansk landbrug, mens tab af kvælstof i stalde og lagre er mindre præcist beskre-	Christian Børs-ting, ANIVET	2022-2024	NIFA

Projekttitel	Formål og kort beskrivelse	Projektleder	Projektperi-ode	Bevillingsgiver
	vet. Der er et stigende behov for at kvantificere ud-ledning af drivhusgasser, iscær metan fra dyr, stalde og lagre. Formålet er at udvide det nuværende Normtalssy-stem til også at omfatte normtal for kul-stof og gøre systemet transparent ved at offentliggøre både al-goritmer og database. Udvi-delsen vil inkludere om-sætningen af kulstof til CO2 og enterisk metan fra dyrene, samt indarbejde mangement faktorer som fodring, effekt af gyllens opholdstid i stald og lager samt temperatur, mængde af restgylle etc. på emis-sion af metan. Der regnes på kvælstof-flowet, fordi det nuværende Normtalssystem for husdyrgødning alene beskriver indholdet af N, P og K samt emissio-nen af ammoniak. Der er behov for bedre at kunne estimere dan-nelse og emission af lattergas, hvilket også vil blive forsøgt, fordi lattergas har en ekstrem kraftig drivhuseffekt. Projektet vil føre til ét sammen-hængende Normtalssystem, hvor den nyeste viden på området integreres, og hvor der er overensstem-melse mellem husdyr-gødningens indhold af kvæl-stof og kulstof og hele processen gennem dyr, stald og lager. Målet er, at resultaterne kan indgå som in-put i den nationale opgørelse for landbrugets driv-husgasemissioner			
Metoder til reduktion af Am-moniaktab og øget meta-nudbytte fra biogasGylle (MAG)	Afgasning af gylle sammen med organiske restpro-dukter i biogasanlæg, ændrer de fysiske og kemiske egenskaber af gyllen. Tørstofindhold og viskositet ændres, indholdet af am-monium-kvælstof (TAN), pH forøges, hvilket øger potentialet for ammoniak-udledning un-der lagring og udbringning. Hidtil har det være antaget at bioforgasning ikke medførte højere ammoniakudledning. Nye studier 1 viser imid-lertid en højere ammoniakudledning fra den afgas-sede gylle og det reducerer gyllens værdi for land-mændene og deres forde-le ved at modtage bio-gasgylle. Dette projekt vil udvikle teknologier til at	Henrik Møller, BCE	2021-2025	GUDP

Projekttitel	Formål og kort beskrivelse	Projektleder	Projektperi-ode	Bevillingsgiver
	øge omsætning af det organisk materiale i biogasre-aktor og som konsekvens reduceres ammoniak-tabspo-tentialet. Altså en forhåbentlig omkostnings-neutral NH3-reduktion. Det vil blive undersøgt hvor-dan råvaresammensætning kan medvirke til at re-ducere pH i den afgassede gylle, samt hvorledes så-kaldt "in-line" behandling af tungtomsættelige orga-niske forbindelser kan øge gasudbyttet og være med til at reducere viskositet og dermed infiltrati-onsha-stighed af gylle i jord, hvorved ammoniak-tabspotentialet reduceres.			
Metoder til måling af emissio-ner af klimagasser og ammo-niak fra gylletanke og lagring af fast gødning (konceptnote)	Alle strategier til reduktion af metan fra husdyrgød-ningskæden efterlader en udfordring med at hånd-tere emissionen fra udendørs lagring i tanke. Tiltag på staldniveau og f. eks. bioforgasning skal kombi-neres med en indsats for at reducere emissionerne fra lagret for at opnå en høj reduktion fra hele kæ-den. I et fremtidigt teknologiscenarie vil lageremis-sio-nen af metan være den klart dominerende kilde, hvis ikke der udvikles og dokumenteres løsninger hertil. Måling af emissioner fra lagertanke er imidler-tid en udfordring, og der fin-des i øjeblikket ikke en alment accepteret og valideret metode til formålet. AU har i 2020 indført og afprøvet en ny mikro-mete-orologisk metode til både metan og ammoniak i fuld skala, men metoden stiller store krav til placering af tanke og omgivelser (andre kilder, bygninger, be-voksninger mv). Der er derfor behov for at udvikle og validere mere fleksible alternativer og udføre paral-lelle kampagner. Endelig er der behov for generelt acceptere-de metoder og protokoller, hvilket kan styrkes via internationalt samarbejde.	Anders Feilberg, BCE		
Udvikling og validering af me-toder til måling af klima-gas-ser og ammoniak fra na-turlig ventilerede stalde (NatVent) (konceptnote)	Måling af udledning af gasser fra naturligt ventile-rede (åbne) stalde er en udfordring og forbundet med større usikkerhed end ved mekanisk ventile-rede stalde. I forskningsprojekter kan man tilsætte en	Anders Feilberg, BCE	2021-2023	Miljøministeriet

Projekttitel	Formål og kort beskrivelse	Projektleder	Projektperi-ode	Bevillingsgiver
	kunstigt sporgas i en kendt dosis i stalden, og efterfølgende måle forholdet mellem sporgas og den ønskede gas i forskellige punkter i stalden. Metoden forudsætter dog en god fordeling af traceren i staldrummet. Et alternativ, der ofte bruges i produktionsstalde er baseret på anvendelse af dyrenes egen CO2-produktion som sporgas (tracer-ratio-metoden), idet denne kan modelberegnes ud fra vægt, foderforbrug, mælke-produktion, aktivitet og tilvækst. Der er imidlertid et akut behov for en kritisk evaluering af de modellerede CO2-udledninger og anvendelsen til emissionsmålinger. Der er derudover behov for at få udviklet og afklaret metoder der er tilpasset danske forhold, hvor der ofte er opdelinger i stalden, fx afsnit for goldkøer og kvier, evt. med dybstrøelse samt lakterende dyr. Der skal desuden tages hensyn til forskelle i f. eks. hydrauliske opholdstider, udformning af gyllesystem og gulvtyper m.v.			
Case studie: Sammenligning af empirisk og modelleret metanemission fra slagte-svinestalde (METEMIS)	I forbindelse med Danmarks klimapolitiske målsætning om at reducere drivhusgasemissionerne har brancheorganisationen Landbrug & Fødevarer fastsat et mål om at det danske landbrugs- og fødevareerhverv skal være klimaneutralt i 2050. Reduktioner i udledninger af drivhusgasser fra dansk landbrug kan opnås gennem innovative miljøteknologier, der kan reducere emissionen af drivhusgasser. Metanemissionen fra svineproduktionen antages at udgøre ca. 2 mio. CO2ækv [1], hvoraf det forventes at ca. 70% kommer fra gødningen, men den resterende del kommer fra dyrenes enteriske produktion [2]. En væsentlig forudsætning for at udvikle innovative miljøteknologiske løsninger er at der foreligger empiriske data eller modeller for emissionen for en given produktionsgren, således at reduktionspotentialet kan estimeres. Det vil være en omfattende og omkostningsfuld opgave at fastlægge emissionen	Michael Jørgen Hansen, BCE	2021-2023	Landbrugsstyrelsen

Projekttitel	Formål og kort beskrivelse	Projektleder	Projektperi-ode	Bevillingsgiver
	alene baseret på empiriske data og det vil derfor være nødvendigt at kombinere dette med modellering. Der er beskrevet en række mere eller mindre avancerede modeller for metanemission fra stald og lager [3-5]. Fælles for modellerne er at de kræver inputdata som eksempelvis omsætteligt kulstof, temperatur eller metan emissionsfaktor. Det er derfor af stor relevans at der gennemføres en test af modellernes estimat for metanemissionen og at det undersøges om modellerne kan optimeres ved at anvende specifikke input data for en staldtype. De input data som genereres i det nærværende projekt vil kunne implementeres i datagrundlaget for modellering af metanemission fra svinestalde.			
LESS	Projektets formål er at udvikle og teste teknologier, som kan anvendes til at reducere metanemissionen fra gyllelagre. Projektets output vil være én eller flere teknologier, som vil kunne anvendes til at reducere metanemissionen fra gyllelagre. Målet med at inddrage flere mulige strategier for metanreduktion i gyllelagre er at udpege den mest optimale strategi både i forhold til metanreduktion, implementerbarhed og omkostningseffektivitet. I projektet udvikles et fuldskala gyllelager som kan opblandes til en homogen sammensætning i procesforløbet, renholdes ved omrøring og tømmes effektivt og dermed minimere overførsel af restgylle med metanproducerende mikroorganismer (inokulum) til næste lagringsperiode. I projektet opbygges pilotskala gyllelagre, hvor det er muligt at undersøge effekten af effektiv tømning i kombination med behandling af restgylle med additiver, løbende behandling med additiver i løbet af lagringsperioden og kontrolleret oxidation med beluftning. I projektet undersøges endvidere effekten af at lave en tættere overdækning af gyllelagre i kombination med en gasfakkel til afbrænding af metangas. Den overordnede effekt af projektet er at der	Lise Bonne Guldberg, BCE	2022-2024	GUDP

Projekttitel	Formål og kort beskrivelse	Projektleder	Projektperi-ode	Bevillingsgiver
	opnås én eller flere implementerbare og omkostningseffektive teknologier til gyllelagret der i kombination med hyppig udslusning af gylle fra stalde kan reducere metanemissionen i kæden fra stald og lager med 40-80%.			
MethEnzwine	Formålet er at forbedre grisenes sundhed, reducere udledningen af klimagasser. Der udvikles et enzym, som gør, at der frigives præbiotiske substrater i mavetarmkanalen hos grisene, der påvirker tarmens mikrobiota med færre metanogene arkæer, som producerer klimagassen metan.	Michael Jørgen Hansen	2022-2025	Innovationsfonden
Forbedret grundlag for opgørelse af landbrugets emissioner af drivhusgasser og ammoniak på bedrifts- og nationalt niveau	DCE – Det Nationale Center for Miljø og Energi og DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug har gennem mange år etableret et tæt samarbejde omkring håndtering af de landbrugsdata, som er nødvendige for at udarbejde opgørelse for emissioner af drivhusgasser og ammoniak fra det danske landbrug. Klimaudfordringen og målet om en yderligere reduktion af drivhusgasser og ammoniak skaber behov for at kunne detaljere og forbedre emissionsopgørelsen, således at der opnås en bedre refleksion af de faktiske forhold og muligheden for at reflektere fremtidige emissionsreducerende tiltag, herunder tiltag rettet mod den enkelte bedrift. Dette vil stille store krav til opbygning af vidensgrundlaget og videreudvikling af beregningsmetoder.	Mette Hjorth Mikkelsen, ENVS	2022-2024	
Metoder til måling af emissioner af klimagasser og ammoniak fra gylletanke og lagring af fast gødning (LagerMet) (konceptnote)	Alle strategier til reduktion af metan fra husdyrgødningskæden efterlader en udfordring med at håndtere emissionen fra udendørs lagring i tanke. Tiltag på staldniveau og f. eks. biofor-gasning skal kombineres med en indsats for at reducere emissionerne fra lagret for at opnå en høj reduktion fra hele kæden. I et fremtidigt teknologiscenarie vil lageremissionen af metan være den klart dominerende kilde, hvis ikke der udvikles og dokumenteres løsninger hertil. Måling af emissioner fra lagertanke er imidlertid en udfordring, og der findes i øjeblikket ikke en	Anders Feilberg	2021-2023	Miljøministeriet

Projekttitel	Formål og kort beskrivelse	Projektleder	Projektperi-ode	Bevillingsgiver
	alment accepteret og valideret metode til formålet. AU har i 2020 indført og afprøvet en ny mikro-meteorologisk metode til både metan og ammoniak i fuld skala, men metoden stiller store krav til placering af tanke og omgivelser (andre kilder, bygninger, bevoksninger mv). Der er derfor behov for at udvikle og validere mere fleksible alternativer og udføre parallelle kam-pagner. Endelig er der behov for generelt accepterede metoder og protokoller, hvilket kan styrkes via internationalt samarbejde.			

Igangværende projekter afgrødeproduktion

Projekttitel	Formål og kort beskrivelse	Projektleder	Projektperi-ode	Bevillingsgiver
Kvantificering og dokumentation af effekten af præcisionsgødskning på nitratudvaskning og lattergasemission	Præcisionsgødskning, især nye teknologier såsom robotter til registrering og styring af kvælstof (N), er ikke tilstrækkeligt evalueret med hensyn til deres potentiale for at reducere N-tab via udvaskning og dannelse af lattergas. Brugen af disse nye systemer kan derfor ikke pt. integreres og kvantificeres tilstrækkeligt i modeller og regulering af arealbaserede N-tab. Der er et presserende behov for at undersøge potentialet i disse nye teknologier, herunder brugen af satellit- og dronebaserede målinger. Dette inkluderer, hvordan den bedriftsdokumentation, de leverer, kan integreres i udledningsbaserede reguleringssystemer.	Davide Cammarano, AGRO	2022-2025	Landbrugsstyrelsen
Såtidsforsøg med efterafgrøder	Efterafgrøder er et vigtigt virkemiddel til reduktion af nitratudvaskning. I praksis kan det være vanskeligt for landbrugere at opfylde kravet om såning før 20. august, hvorfor der er indført mulighed for senere såning mod samtidigt kvotetræk. Formålet med projektet er at opnå et mere solidt datagrundlag end det nuværende for beregning af kvotereduktion og evt.	Elly Møller Hansen, AGRO	2022-2024	Landbrugsstyrelsen

Projekttitel	Formål og kort beskrivelse	Projektleder	Projektperi-ode	Bevillingsgiver
	bonus ved såning af efterafgrøder henholdsvis senere eller tidligere end 20. august. Formålet er således at opnå forsøgsdata, der repræsenterer et større geografisk område med forskellige jordbunds- og klimaforhold og forskellige tidspunkter for destruktion af efterafgrøderne.			
Effekter af brak på kvælstof-udvaskning, lattergas og kulstoflagring (BRAK).	Braklagte arealer forventes at spille en stor rolle i den kommende landbrugsreform, hvor braklægning vil blive en nødvendighed for mange bedrifter i forbindelse med opfyldelsen af konditionalitetskrav. Projektet BRAK belyser den miljø- og klimamæssige effekt ved braklægning efter det nugældende regelsæt. Der gennemføres målinger af udvaskning samt emission af lattergas foruden biomassebestemmelse og karakterisering af plantebiomasse efterår. På baggrund af biomassebestemmelsen estimeres mængden af kulstof, der afsættes i jorden.	Ingrid K. Thomsen, AGRO	2021-2024	Landbrugsstyrelsen
Tools for improving grass-land biomass production and delivering multiple ecosystem services (GrassTools	GrassTools will provide knowledge to farmers to ensure that reductions of GHG emission and nitrate leaching from grassland produc-tion will be in the upper-third of the variation space. The science behind the tools for opti-mizing novel perennial grass systems will be 1) determining above-and below-ground biomass production in grasses, legumes and grass-legume-forb mixtures 2) quantifying C and nitrogen (N) flows to assess and enhance soil C storage and reduce N losses 3) as-sessing overall climate and environmental effects at local & national level. Tools for im-plementation: 1) grass and legume varieties with documented C allocation to roots 2) improved algorithms for use of the Yara N-sensor in grassland 3) improved & more user friendly model to evaluate on-farm effects on soil C and N losses 4) implementation of soil C in farm-tools for Climate Check.	Uffe Jørgensen, AGRO	2021-2026	Innovationsfonden

Projekttitel	Formål og kort beskrivelse	Projektleder	Projektperiode	Bevillingsgiver
ClimateVeg – Improving climate and environmental profile of Danish organic vegetables	Den danske efterspørgsel efter økologiske grøntsager vokser markant og er nu den største økologiske varegruppe, højere end mælk, ost og æg til sammen. Grøntsager vil i en fremtidig klimaoptimeret kost delvis erstatte animalske produkter, jvnf. de nationale kostanbefalinger. Den nuværende klima- og miljøprofil for økologiske grøntsager udfordres af en høj risiko for N-udvaskning og tab af kulstof fra jorden i frilandsgrøntsager og et højt energiforbrug til drivhusgrøntsager. Formålet med ClimateVeg er at dokumentere klima- og miljøprofilen for danske økologiske grøntsager og identificere forbedringer i tæt samarbejde med store økologiske producenter, herunder at teste muligheder for erstatning af husdyrgødning med plantebaserede organiske gødninger kombineret med helårs plantedække til reduktion af N-udvaskning.	Hanne Lakkenborg Kristensen, FOOD	2019-2023	RDD4/GUDP
ComCrop – New compost technology for C-N recycling for on-farm nutrient and carbon recycling to organic soils and high-value crops	Efterspørgslen efter økologiske plantebaserede fødevarer stiger hurtigt, men tilliden hertil svækkes pga konventionelle gødningskilder. Tilgængeligheden af økologiske plantebaserede kilder må øges. De største barrierer for at rette op på dette er: a) Mangel på gårdskala-teknologi til bæredygtig og effektiv recirkulering af biomasse til hygiejniseret gødning og jordforbedringsmidler. b) Viden om brug og langsigtede effekter af plantebaserede gødninger. Målet for ComCrop er at øge recirkulering af lokale biomasser så udnyttelse, jordfrugtbarhed og kulstoflagring øges, gennem udvikling af en ny gårdskala komposterings-teknologi, kompost og gødning. Testes i intensiv grønsagsproduktion på nitratudvaskning.	Hanne Lakkenborg Kristensen, FOOD	2019-2024	RDD5/GUDP
SoilCom - Sustainable soils by quality compost with defined properties	The North Sea region is an area of intensive farming characterised by rapid soil degradation. The shared territorial challenges will be tackled in this project by i) designing tailor-made composts based on biological wastes, both at on-farm (local) and compost-	Hanne Lakkenborg Kristensen, FOOD	2019-2023	EU Interreg Northsea

Projekttitel	Formål og kort beskrivelse	Projektleder	Projektperi-ode	Bevillingsgiver
	company (regional) scale; ii) testing and defining quality standards for composts; iii) increasing the awareness, production and use of compost; and iv) developing guidelines to align and improve certification and regulation for quality compost in the North Sea Region. SOILCOM will transform 'waste' to 'resource', supporting EU policy on circular economy and increasing carbon storage, water and nutrient use efficiency, productivity of horticultural and compost enterprises.			
KlimÆPro - Klimavenlig produktion af plantebaserede fødevarer fra danske ærter	Fødevareproducenter og forbrugere efterspørger i stigende grad danske ærter til plantebaserede fødevarer. Formålet med KlimÆPro er, at igangsætte og styrke en ny fødevareværdikæde, målrettet en klimavenlig produktion af forarbejdede plantebaserede fødevarer fra danskproducerede modne ærter, og reducere import af soja og andre proteinafgrøder. I projektet forædles og testes ærtesorter for dyrkningsegnethed og højt proteinindhold i konventionelle og økologiske prøvedyrkninger. Der testes for kvalitet af proteinfraktioner og ekstraktionsmetoder optimeres til fødevareingredienser. Der beregnes klimavenlig produktion vha livscyklusanalyse.	Mette Damborg, SEGES	2021-2025	GUDP
Sædskiftemodel udvidet med grøntsagsforsøg med effekter på N-udvaskning, ammoniak, lattergas og kulstoflagring	Grønsagsforbruget ventes at stige kraftigt de kommende år. Da grønsagsproduktion er intensiv og kvælstofkrævende kan N-udvaskningen være betydelig. NLES5-modellen er en empirisk model til estimering af N-udvaskning fra rodzonen, men NLES5 er svagt repræsenteret i datagrundlaget for grøntsagssædskifter. Kalibreringsgrundlaget til NLES5 udvides og modellen justeres med nye afgrødeklasser og jordtyper. Landbrugsdata (sædskifte og N-gødskning), målinger af udvaskning og kvælstofrige afgrøderester samt jordbundsdata fra grøntsagssædskifter vil danne grundlag for at estimere udvaskning, NH3-fordampning fra udbragt husdyrgødning, denitrifikation, N2O-emmission og jordens kulstofbinding vha	Christen Duus Børgesen, AGRO	2021-2025	Landbrugsstyrelsen

Projekttitel	Formål og kort beskrivelse	Projektleder	Projektperi-ode	Bevillingsgiver
	modellering. Resultater præsenteres på brugerflade via et ESRI DASHBORD.			

Bilag 1. Klimatabel

Bilag 1. Klimavirkemiddeltabellen. Reduktion af klimagasudledninger pr. produktionsenhed for virkemidler indenfor husdyrproduktion, husdyrgødning, afgrødeproduktion og arealanvendelse beregnet i henhold til IPCC AR4, AR5 og AR6 Global warming potentials (GWP-100) for CO_2, CH_4 og N_2O.

AR4	**Drivhusgasreduktioner/effekter**					**Enhed**	**TRL***	**Sikker positiv klimaeffekt**	**Bemærkninger**
Virkemidlet **Husdyrproduktion**	CO_2/ LU-LUCF	CH_4	N_2O	CO_2/energiforbrug	Netto klimaeffekt	ton CO_2-ækv/ha eller kg CO_2-ækv/ton husdyrgødning			
Holstein: Øgning af kraftfoderandel med 10%-enheder (KVM5.1)	0	400	0	0	400	Kg CO_2-ækv/årsko	7	Ja	Gælder for malkekøer. Ugunstig klimapåvirkning ved dyrkning af mere kraftfoder. Kan ikke anvendes af økologer.
Jersey: Øgning af kraftfoderandel med 10%-enheder (KVM5.1)	0	200	0	0	200	Kg CO_2-ækv/årsko	7	Ja	
Konventionel: Effekt af ekstra 20 g fedtsyrer/kg tørstof i foderet (KVM5.2)	0	330	0	0	330	Kg CO_2-ækv/årsko	10	Ja	Gælder for malkekøer. Effekten til øvrige kategorier af kvæg er usikker
Øko: Effekt af ekstra 20 g fedtsyrer/kg tørstof i foderet (KVM5.2)	0	250	0	0	250	Kg CO_2-ækv/årsko	10	Ja	
Anvendelse af metanreducerende tilsætningsstoffer i foder til kvæg (KVM5.3)	0	1200	0	0	1200	Kg CO_2-ækv/årsko	9	Ja	
Genetisk selektion af malkekvæg (KVM5.4)		?			?	Kg CO_2-ækv/årsko	6	sandsynligvis	Ikke kvantificeret
Husdyrgødning									
Forsuring af gylle i stalden (svin)	0	74	0	0	74	Kg CO_2-ækv/t svinegylle		Ja	

Forsuring af gylle i stalden (kvæg)	0	44	0	0	44	Kg CO_2-ækv/t kvæg		Ja	
Køling af gylle i grisestalde	0	5,6	0,33	-1,3	4,6	Kg CO_2-ækv/t gylle		Ja	
Hyppig udslusning af gylle fra stalde (svin)	0	17	0	0	17	Kg CO_2-ækv/t svinegylle		Ja	
Hyppig udslusning af gylle fra stalde (kvæg)	0	37	0	0	37	Kg CO_2-ækv/t kvæggylle		Ja	For kvæggylle er det en stald med lang opholdstid gylle sammenlignet med en stald med kort opholdstid
Lav-dosis forsuring i gyllelagre (svin)	0	43	0	0	43	Kg CO_2-ækv/t svinegylle		Ja	
Lav-dosis forsuring i gyllelagre (kvæg)	0	15	0	0	15	Kg CO_2-ækv/t kvæggylle		Ja	
Gylle og bioforgasning (svin)	0	54	0	34	88	Kg CO2-ækv/t svinegylle		Ja	
Gylle og bioforgasning (kvæg)	0	11	0	38	49	Kg CO2-ækv/t kvæggylle		Ja	
Opsamling af gas i gyllelagre og afbrænding (svin)	0	39	0	0	39	Kg CO2-ækv/t svinegylle		Nej	
Opsamling af gas i gyllelagre og afbrænding (kvæg	0	14	0	0	14	Kg CO2-ækv/t kvæggylle		Nej	
Overdækning af gylletanke med ventileret flydelag (svin)	0	25	0	0	25	Kg CO2-ækv/t svinegylle		Nej	
Overdækning af gylletanke med ventileret flydelag (kvæg)	0	9	0	0	9	Kg CO2-ækv/t kvæggylle		Nej	
Afbrænding af husdyrgødning (fiberfraktion efter separering afgasset gylle, samt fast fjerkrægødning) Svin	0	0	0	8	8	Kg CO2-ækv/t gylle	9	Nej	Emission fra produktion af ekstra handelsgødning ved afbrænding er ikke inkluderet

Afbrænding af husdyrgødning (fiberfraktion efter separering afgasset gylle, samt fast fjerkrægødning) kvæg	0	0	15	15	8	Kg CO2-ækv/t gylle	9	Nej	Emission fra produktion af ekstra handelsgødning ved afbrænding er ikke inkluderet
Afbrænding af husdyrgødning (fiberfraktion efter separering afgasset gylle, samt fast fjerkrægødning) Fjerkræ	0	0	0	23	23	Kg CO2-ækv/t gødning	9	Nej	
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og bioforgasning (svin)	0	78	0	38	116	Kg CO2-ækv/t svinegylle			
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og bioforgasning (kvæg)	0	49	0	40	89	Kg CO2-ækv/t kvæggylle			
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og overdækning af gylletanke med ventileret flydelag (svin)	0	45	0	0	45	Kg CO2-ækv/t svinegylle		Nej	
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og overdækning af gylletanke med ventileret flydelag (kvæg)	0	46	0	0	46	Kg CO2-ækv/t kvæggylle		?	
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og opsamling af gas i gyllelagre og afbrænding (svin)	0	61	0	0	61	Kg CO2-ækv/t svinegylle		?	
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og opsamling af gas i gyllelagre og afbrænding (kvæg)	0	51	0	0	51	Kg CO2-ækv/t kvæggylle			

Hyppig udslusning af gylle fra stalde og lavdosis forsuring i gyllelager (svin)	0	66	0	0	66	Kg CO2-ækv/t svinegylle		Ja	
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og lavdosis forsuring i gyllelager (kvæg)	0	53	0	0	53	Kg CO2-ækv/t kvæggylle			
Køling af svinegylle og bioforgasning	0	62	0	35	97	Kg CO2-ækv/t svinegylle		Ja	
Afgrødeproduktion									
Efterafgrøder, uden N fiksering (KVM7.1)	990	0	-28	-5	958	Kg CO_2-ækv/ha/år	10	Ja	Relativt sikkert, men effekt varierer mellem år og vil set over mange år aftage da LULUCF er dominerende effekt
Efterafgrøder, med N fiksering (KVM7.1)	990	0	-173	-5	812	Kg CO_2-ækv/ha/år	10	Ja	
Mellemafgrøder (KVM7.2)	495	0	-64	-5	427	Kg CO_2-ækv/ha/år	10	Ja	Effekten antages at udgøre ca. halvdelen af en efterafgrøde
Tidlig såning af vintersæd (KVM7.3)	0	0	37	0	37	Kg CO_2-ækv/ha/år	10	Ja	Forholdsvis sikker meroptagelse af N
Nedmuldning af halm (KVM7.4)	0	0	0	0	0	Kg CO_2-ækv/ha/år	10	Nej	Vurderet i forhold til at halm alternativt tilbageføres via husdyrgødning
Halm til forgasning med biochar retur (KVM7.5)	2000	0	?	Ikke beregnet	2.000	Kg CO_2-ækv/ha/år	7	Ja	Effekt set i forhold til at halm nedmuldes. Sandsynlig effekt på lattergas ikke medregnet
Braklægning i sædskiftet (KVM7.6)	0	0	941	361	1.302	Kg CO_2-ækv/ha/år	10	Ja	Det er usikkert hvor meget længden af braklægningsperioden påvirker klimaeffekten
Ompløjningstidspunkt for fodergræs og efterfølgende afgrødevalg (KVM7.7)	0	0	280	0	280	Kg CO_2-ækv/ha/år	10	Ja	Fra reduktion i udvaskning. Øvrige sædskifteeffekter ikke indregnet

Flerårige energiafgrøder i sædskiftet (KVM7.8)	660	0	444	191	1.295	Kg CO_2-ækv/ha/år	9	Ja	Kan variere lidt mellem arter af energiafgrøder samt deres management
Pløjefri dyrkning og forbud mod jordbearbejdning i visse perioder (KVM7.9)	0	0	0	102	102	Kg CO_2-ækv/ha/år	10	Ja	Effekter på C lagring og lattergasemission er usikre. Spænd fra 51-102 kg CO_2 ækv/ha/år for hhv. jordbearbejdning og direkte såning
Præcisionsjordbrug (KVM7.10)	0	0	153	37	190	Kg CO_2-ækv/ha/år	7	Ja	Effekt mellem 127 og 190 kg CO_2 ækv/ha/år
Reduceret kvælstofnorm (KVM7.11): Min. (5% reduktion i norm)	-26	0	93	0	67	Tons CO_2-ækv/år (hele DK)	10	Ja	Spændet i tallene dækker en reduceret norm reduktion fra 5 – 15%
Reduceret kvælstofnorm (KVM7.11): Max. (15% reduktion i norm)	-113	0	408	0	295	Tons CO_2-ækv/år (hele DK)	10	Ja	
Større opbevaringskapacitet af husdyrgødning og ændring er forbud mod udbringning af husdyrgødning om efteråret (KVM7.12)	0	0	2.200	0	2.200	Tons CO_2-ækv/år (hele DK)	9	Ja	Tallet er anslået på baggrund af husdyrgødningsmængder for hele landet samlet
Afgrøder med høj N-optagelse (KVM7.13):						Kg CO2-ækv/ha/år	10		
Roer – top fjernes	-550	0	290	0	-260			Nej	
Roer – top fjernes ikke	-275	0	-25	0	-300			Nej	
Fodergræs – renbestand	2.341	0	-1.376	-446	519			Ja	
Fodergræs – med bælgplanter	2.341	0	-662	-446	1.233			Ja	

Frøgræs	2.900	0	69	0	2.969			Ja	Tal for kulstoflagring i frøgræs er ikke underbygget
Skærpet udnyttelseskrav for N i udvalgte typer husdyrgødning (KVM7.14)	0	0	5,3	0	5,3	Kg CO_2-ækv /reduceret kg N input/år	9	Ja	Reduceret emission fra reduceret produktion af handelsgødning er ikke inkluderet. Skærpede udnyttelseskrav er indført fra 2020-21
Nitrifikationshæmmere til husdyrgødning	0	0	1,7	0	1,7	Kg CO2-ækv/kg N	9	Ja	
Nitrifikationshæmmere på handelsgødning	0	0	1,0	0	1,0	Kg CO2-ækv/kg N	9	Ja	
Arealanvendelse									
Udtag af omdriftsareal til permanent ugødet brak (KVM8.1)	500	0	940	360	1.800	Kg CO2-ækv/ha	10	Ja	Afhængig af hvornår brak er etableret og jordbonitet
Randzoner på mineraljord (KVM8.2)	1.500	0	940	360	2.800	Kg CO2-ækv/ha	10	Ja	LULUCF bidrag er afhængig af hvornår randzone er etableret
Paludikultur – tidligere drænet omdrift (8.3.1)	42,2	-7,2	6,1	0	41,1	Ton CO_2-ækv/ha/år	6-7	Ja	Ingen tal for energiforbrug
Paludikultur – tidligere drænet vedvarende græs (8.3.2)	30,8	-7,2	3,8	0	28,2	Ton CO_2-ækv/ha/år	6-7	Ja	
Vådområder på mineraljord (KVM8.4)	0	-5.875	0	360	-5.515	Kg CO2-ækv/ha	10	Nej	Usikkerhed om LULUCF, metan og lattergasestimater

* Technology readiness level

AR5	Drivhusgasreduktioner/effekter					Enhed	TRL*	Sikker positiv klimaeffekt	Bemærkninger
Virkemidlet **Husdyrproduktion**	CO_2/ LU-LUCF	CH_4	N_2O	CO_2/energiforbrug	Netto klimaeffekt	ton CO_2-ækv/ha eller kg CO_2-ækv/ton husdyrgødning			
Holstein: Øgning af kraftfoderandel med 10%-enheder (KVM5.1)	0	448	0	0	448	Kg CO_2-ækv/årsko	7	Ja	Gælder for malkekøer. Ugunstig klimapåvirkning ved dyrkning af mere kraftfoder. Kan ikke anvendes af økologer.
Jersey: Øgning af kraftfoderandel med 10%-enheder (KVM5.1)	0	224	0	0	224	Kg CO_2-ækv/årsko	7	Ja	
Konventionel: Effekt af ekstra 20 g fedtsyrer/kg tørstof i foderet (KVM5.2)	0	369,6	0	0	369,6	Kg CO_2-ækv/årsko	10	Ja	Gælder for malkekøer. Effekten til øvrige kategorier af kvæg er usikker
Øko: Effekt af ekstra 20 g fedtsyrer/kg tørstof i foderet (KVM5.2)	0	280	0	0	280	Kg CO_2-ækv/årsko	10	Ja	
Anvendelse af metanreducerende tilsætningsstoffer i foder til kvæg (KVM5.3)	0	1.344	0	0	1.344	Kg CO_2-ækv/årsko	9	Ja	
Husdyrgødning									
Forsuring af gylle i stalden (svin)	0	83	0	0	83	Kg CO2-ækv/t svinegylle		Ja	
Forsuring af gylle i stalden (kvæg)	0	49	0	0	49	Kg CO2-ækv/t kvæg		Ja	
Køling af gylle i grisestalde	0	6	0	-1	5	Kg CO2-ækv/t gylle		Ja	
Hyppig udslusning af gylle fra stalde (svin)	0	19	0	0	19	Kg CO2-ækv/t svinegylle		Ja	

Hyppig udslusning af gylle fra stalde (kvæg)	0	41	0	0	41	Kg CO2-ækv/t kvæggylle		Ja	For kvæggylle er det en stald med lang opholds-tid gylle sammenlignet med en stald med kort opholdstid
Lav-dosis forsuring i gyllelagre (svin)	0	48	0	0	48	Kg CO2-ækv/t svinegylle		Ja	
Lav-dosis forsuring i gyllelagre (kvæg)	0	17	0	0	17	Kg CO2-ækv/t kvæggylle		Ja	
Gylle og bioforgasning (svin)	0	60	0	34	94	Kg CO2-ækv/t svinegylle		Ja	
Gylle og bioforgasning (kvæg)	0	12	0	38	50	Kg CO2-ækv/t kvæggylle		Ja	
Opsamling af gas i gyllelagre og afbræn-ding (svin)	0	44	0	0	44	Kg CO2-ækv/t svinegylle		Nej	
Opsamling af gas i gyllelagre og afbræn-ding (kvæg	0	16	0	0	16	Kg CO2-ækv/t kvæggylle		Nej	
Overdækning af gylle-tanke med ventileret flydelag (svin)	0	28	0	0	28	Kg CO2-ækv/t svinegylle		Nej	
Overdækning af gylle-tanke med ventileret flydelag (kvæg)	0	10	0	0	10	Kg CO2-ækv/t kvæggylle		Nej	
Afbrænding af husdyr-gødning (fiberfraktion efter separering afgas-set gylle, samt fast fjer-krægødning) Svin	0	0	0	8	8	Kg CO2-ækv/t gylle	9	Nej	Emission fra produktion af ekstra handelsgød-ning ved afbrænding er ikke inkluderet
Afbrænding af husdyr-gødning (fiberfraktion efter separering afgas-set gylle, samt fast fjer-krægødning) kvæg	0	0	13	15	28	Kg CO2-ækv/t gylle	9	Nej	Emission fra produktion af ekstra handelsgød-ning ved afbrænding er ikke inkluderet

Afbrænding af husdyr-gødning (fiberfraktion efter separering afgas-set gylle, samt fast fjer-krægødning) Fjerkræ	0	0	0	23	23	Kg CO2-ækv/t gødning	9	Nej	
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og bio-forgasning (svin)	0	87	0	38	125	Kg CO2-ækv/t svinegylle			
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og bio-forgasning (kvæg)	0	55	0	40	95	Kg CO2-ækv/t kvæggylle			
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og overdækning af gylle-tanke med ventileret flydelag (svin)	0	50	0	0	50	Kg CO2-ækv/t svinegylle		Nej	
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og overdækning af gylle-tanke med ventileret flydelag (kvæg)	0	52	0	0	52	Kg CO2-ækv/t kvæggylle		?	
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og op-samling af gas i gylle-lagre og afbrænding (svin)	0	68	0	0	68	Kg CO2-ækv/t svinegylle		?	
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og op-samling af gas i gylle-lagre og afbrænding (kvæg)	0	57	0	0	57	Kg CO2-ækv/t kvæggylle			
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og lav-dosis forsuring i gylle-lager (svin)	0	74	0	0	74	Kg CO2-ækv/t svinegylle		Ja	
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og lav-	0	59	0	0	59	Kg CO2-ækv/t kvæggylle			

dosis forsuring i gylle-lager (kvæg)									
Køling af svinegylle og bioforgasning	0	69	0	35	104	Kg CO2-ækv/t svinegylle		Ja	
Afgrødeproduktion									
Efterafgrøder, uden N fiksering (KVM7.1)	990	0	-25	-5	960	Kg CO_2-ækv/ha/år	10	Ja	Relativt sikkert, men effekt varierer mellem år og vil set over mange år aftage da LULUCF er dominerende effekt
Efterafgrøder, med N fiksering (KVM7.1)	990	0	-154	-5	831	Kg CO_2-ækv/ha/år	10	Ja	
Mellemafgrøder (KVM7.2)	495	0	-57	-5	433	Kg CO_2-ækv/ha/år	10	Ja	Effekten antages at udgøre ca. halvdelen af en efterafgrøde
Tidlig såning af vintersæd (KVM7.3)	0	0	33	0	33	Kg CO_2-ækv/ha/år	10	Ja	Forholdsvis sikker meroptagelse af N
Nedmuldning af halm (KVM7.4)	0	0	0	0	0	Kg CO_2-ækv/ha/år	10	Nej	Vurderet i forhold til at halm alternativt tilbageføres via husdyrgødning
Halm til forgasning med biochar retur (KVM7.5)	2000	0			2.000	Kg CO_2-ækv/ha/år	7	Ja	Effekt set i forhold til at halm nedmuldes. Sandsynlig effekt på lattergas ikke medregnet
Braklægning i sædskiftet (KVM7.6)	0	0	837	361	1.198	Kg CO_2-ækv/ha/år	10	Ja	Det er usikkert hvor meget længden af braklægningsperioden påvirker klimaeffekten
Ompløjningstidspunkt for fodergræs og efterfølgende afgrødevalg (KVM7.7)	0	0	249	0	249	Kg CO_2-ækv/ha/år	10	Ja	Fra reduktion i udvaskning. Øvrige sædskifteeffekter ikke indregnet
Flerårige energiafgrøder i sædskiftet (KVM7.8)	660	0	395	191	1.246	Kg CO_2-ækv/ha/år	9	Ja	Kan variere lidt mellem arter af energiafgrøder samt deres management

Pløjefri dyrkning og forbud mod jordbearbejdning i visse perioder (KVM7.9)	0	0	0	102	102	Kg CO_2-ækv/ha/år	10	Ja	Effekter på C lagring og lattergasemission er usikre. Spænd fra 51-102 kg CO_2 ækv/ha/år for hhv. jordbearbejdning og direkte såning
Præcisionsjordbrug (KVM7.10)	0	0	136	37	173	Kg CO_2-ækv/ha/år	7	Ja	Effekt mellem 127 og 190 kg CO_2 ækv/ha/år
Reduceret kvælstofnorm (KVM7.11): Min. (5% reduktion i norm)	-26	0	83	0	57	Tons CO_2-ækv/år (hele DK)	10	Ja	Spændet i tallene dækker en reduceret norm reduktion fra 5 – 15%
Reduceret kvælstofnorm (KVM7.11): Max. (15% reduktion i norm)	-113	0	363	0	250	Tons CO_2-ækv/år (hele DK)	10	Ja	
Større opbevaringskapacitet af husdyrgødning og ændring er forbud mod udbringning af husdyrgødning om efteråret (KVM7.12)	0	0	1.956	0	1.956	Tons CO_2-ækv/år (hele DK)	9	Ja	Tallet er anslået på baggrund af husdyrgødningsmængder for hele landet samlet
Afgrøder med høj N-optagelse (KVM7.13):						Kg CO2-ækv/ha/år	10		
Roer – top fjernes	-550	0	258	0	-292			Nej	
Roer – top fjernes ikke	-275	0	-22	0	-297			Nej	
Fodergræs – renbestand	2.341	0	-1.224	-446	671			Ja	
Fodergræs – med bælgplanter	2.341	0	-589	-446	1.306			Ja	
Frøgræs	2.900	0	61	0	2.961			Ja	Tal for kulstoflagring i frøgræs er ikke underbygget

Skærpet udnyttelses-krav for N i udvalgte typer husdyrgødning (KVM7.14)	0	0	4,7	0	4,7	Kg CO_2-ækv /re-duceret kg N in-put/år	9	Ja	Reduceret emission fra reduceret produktion af handelsgødning er ikke inkluderet. Skærpede udnyttelses-krav er indført fra 2020-21
Nitrifikationshæmmere til husdyrgødning	0	0	1,5	0	1,5	Kg CO2-ækv/kg N	9	Ja	
Nitrifikationshæmmere på handelsgødning	0	0	0,89	0	0,89	Kg CO2-ækv/kg N	9	Ja	
Arealanvendelse									
Udtag af omdriftsareal til permanent ugødet brak (KVM8.1)	500	0	836	360	1.696	Kg CO2-ækv/ha	10	Ja	Afhængig af hvornår brak er etableret og jordbonitet
Randzoner på mine-raljord (KVM8.2)	1.500	0	836	360	2.696	Kg CO2-ækv/ha	10	Ja	LULUCF bidrag er af-hængig af hvornår randzone er etableret
Paludikultur – tidligere drænet omdrift (8.3.1)	42	-8,1	5,4	0	40	Ton CO_2-ækv/ha/år	6-7	Ja	Ingen tal for energifor-brug
Paludikultur – tidligere drænet vedvarende græs (8.3.2)	31	-8,1	3,4	0	26	Ton CO_2-ækv/ha/år	6-7	Ja	
Vådområder på mine-raljord (KVM8.4)	0	-6.580	0	360	-6.220	Kg CO2-ækv/ha	10	Nej	Usikkerhed om LULUCF, metan og lattergasesti-mater

AR6	Drivhusgasreduktioner/effekter					Enhed	TRL*	Sikker positiv klimaeffekt	Bemærkninger
Virkemidlet **Husdyrproduktion**	CO_2/ LU-LUCF	CH_4	N_2O	CO_2/energiforbrug	Netto klimaeffekt	ton CO_2-ækv/ha eller kg CO_2-ækv/ton husdyrgødning			
Holstein: Øgning af kraftfoderandel med 10%-enheder (KVM5.1)	0	435,2	0	0	435,2	Kg CO_2-ækv/årsko	7	Ja	Gælder for malkekøer. Ugunstig klimapåvirkning ved dyrkning af mere kraftfoder. Kan ikke anvendes af økologer.
Jersey: Øgning af kraftfoderandel med 10%-enheder (KVM5.1)	0	217,6	0	0	217,6	Kg CO_2-ækv/årsko	7	Ja	
Konventionel: Effekt af ekstra 20 g fedtsyrer/kg tørstof i foderet (KVM5.2)	0	359	0	0	359	Kg CO_2-ækv/årsko	10	Ja	Gælder for malkekøer. Effekten til øvrige kategorier af kvæg er usikker
Øko: Effekt af ekstra 20 g fedtsyrer/kg tørstof i foderet (KVM5.2)	0	272	0	0	272	Kg CO_2-ækv/årsko	10	Ja	
Anvendelse af metanreducerende tilsætningsstoffer i foder til kvæg (KVM5.3)	0	1.306	0	0	1.306	Kg CO_2-ækv/årsko	9	Ja	
Husdyrgødning									
Forsuring af gylle i stalden (svin)	0	81	0	0	81	Kg CO2-ækv/t svinegylle		Ja	
Forsuring af gylle i stalden (kvæg)	0	48	0	0	48	Kg CO2-ækv/t kvæg		Ja	
Køling af gylle i grisestalde	0	6	0	-1	5	Kg CO2-ækv/t gylle		Ja	
Hyppig udslusning af gylle fra stalde (svin)	0	18	0	0	18	Kg CO2-ækv/t svinegylle		Ja	

Hyppig udslusning af gylle fra stalde (kvæg)	0	40	0	0	40	Kg CO2-ækv/t kvæggylle		Ja	For kvæggylle er det en stald med lang opholds-tid gylle sammenlignet med en stald med kort opholdstid
Lav-dosis forsuring i gyllelagre (svin)	0	47	0	0	47	Kg CO2-ækv/t svinegylle		Ja	
Lav-dosis forsuring i gyllelagre (kvæg)	0	16	0	0	16	Kg CO2-ækv/t kvæggylle		Ja	
Gylle og bioforgasning (svin)	0	59	0	34	93	Kg CO2-ækv/t svinegylle		Ja	
Gylle og bioforgasning (kvæg)	0	12	0	38	50	Kg CO2-ækv/t kvæggylle		Ja	
Opsamling af gas i gyllelagre og afbræn-ding (svin)	0	42	0	0	42	Kg CO2-ækv/t svinegylle		Nej	
Opsamling af gas i gyllelagre og afbræn-ding (kvæg	0	15	0	0	15	Kg CO2-ækv/t kvæggylle		Nej	
Overdækning af gylle-tanke med ventileret flydelag (svin)	0	27	0	0	27	Kg CO2-ækv/t svinegylle		Nej	
Overdækning af gylle-tanke med ventileret flydelag (kvæg)	0	10	0	0	10	Kg CO2-ækv/t kvæggylle		Nej	
Afbrænding af husdyr-gødning (fiberfraktion efter separering afgas-set gylle, samt fast fjer-krægødning) Svin	0	0	0	8	8	Kg CO2-ækv/t gylle	9	Nej	Emission fra produktion af ekstra handelsgød-ning ved afbrænding er ikke inkluderet
Afbrænding af husdyr-gødning (fiberfraktion efter separering afgas-set gylle, samt fast fjer-krægødning) kvæg	0	0	14	15	29	Kg CO2-ækv/t gylle	9	Nej	Emission fra produktion af ekstra handelsgød-ning ved afbrænding er ikke inkluderet

Afbrænding af husdyr-gødning (fiberfraktion efter separering afgas-set gylle, samt fast fjer-krægødning) Fjerkræ	0	0	0	23	23	Kg CO2-ækv/t gødning	9	Nej	
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og bio-forgasning (svin)	0	85	0	38	123	Kg CO2-ækv/t svinegylle			
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og bio-forgasning (kvæg)	0	53	0	40	93	Kg CO2-ækv/t kvæggylle			
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og overdækning af gylle-tanke med ventileret flydelag (svin)	0	49	0	0	49	Kg CO2-ækv/t svinegylle		Nej	
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og overdækning af gylle-tanke med ventileret flydelag (kvæg)	0	50	0	0	50	Kg CO2-ækv/t kvæggylle		?	
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og op-samling af gas i gylle-lagre og afbrænding (svin)	0	66	0	0	66	Kg CO2-ækv/t svinegylle		?	
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og op-samling af gas i gylle-lagre og afbrænding (kvæg)	0	55	0	0	55	Kg CO2-ækv/t kvæggylle			
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og lav-dosis forsuring i gylle-lager (svin)	0	72	0	0	72	Kg CO2-ækv/t svinegylle		Ja	
Hyppig udslusning af gylle fra stalde og lav-	0	58	0	0	58	Kg CO2-ækv/t kvæggylle			

dosis forsuring i gylle-lager (kvæg)									
Køling af svinegylle og bioforgasning	0	67	0	35	102	Kg CO2-ækv/t svinegylle		Ja	
Afgrødeproduktion									
Efterafgrøder, uden N fiksering (KVM7.1)	990	0	-26	-5	959	Kg CO_2-ækv/ha/år	10	Ja	Relativt sikkert, men effekt varierer mellem år og vil set over mange år aftage da LULUCF er dominerende effekt
Efterafgrøder, med N fiksering (KVM7.1)	990	0	-158	-5	827	Kg CO_2-ækv/ha/år	10	Ja	
Mellemafgrøder (KVM7.2)	495	0	-59	-5	431	Kg CO_2-ækv/ha/år	10	Ja	Effekten antages at udgøre ca. halvdelen af en efterafgrøde
Tidlig såning af vintersæd (KVM7.3)	0	0	34	0	34	Kg CO_2-ækv/ha/år	10	Ja	Forholdsvis sikker meroptagelse af N
Nedmuldning af halm (KVM7.4)	0	0	0	0	0	Kg CO_2-ækv/ha/år	10	Nej	Vurderet i forhold til at halm alternativt tilbageføres via husdyrgødning
Halm til forgasning med biochar retur (KVM7.5)	2.000	0			2.000	Kg CO_2-ækv/ha/år	7	Ja	Effekt set i forhold til at halm nedmuldes. Sandsynlig effekt på lattergas ikke medregnet
Braklægning i sædskiftet (KVM7.6)	0	0	862	361	1.223	Kg CO_2-ækv/ha/år	10	Ja	Det er usikkert hvor meget længden af braklægningsperioden påvirker klimaeffekten
Ompløjningstidspunkt for fodergræs og efterfølgende afgrødevalg (KVM7.7)	0	0	257	0	257	Kg CO_2-ækv/ha/år	10	Ja	Fra reduktion i udvaskning. Øvrige sædskifteeffekter ikke indregnet
Flerårige energiafgrøder i sædskiftet (KVM7.8)	660	0	407	191	1.258	Kg CO_2-ækv/ha/år	9	Ja	Kan variere lidt mellem arter af energiafgrøder samt deres management

Pløjefri dyrkning og forbud mod jordbearbejdning i visse perioder (KVM7.9)	0	0	0	102	102	Kg CO_2-ækv/ha/år	10	Ja	Effekter på C lagring og lattergasemission er usikre. Spænd fra 51-102 kg CO_2 ækv/ha/år for hhv. jordbearbejdning og direkte såning
Præcisionsjordbrug (KVM7.10)	0	0	140	37	177	Kg CO_2-ækv/ha/år	7	Ja	Effekt mellem 127 og 190 kg CO_2 ækv/ha/år
Reduceret kvælstofnorm (KVM7.11): Min. (5% reduktion i norm)	-26	0	85	0	59	Tons CO_2-ækv/år (hele DK)	10	Ja	Spændet i tallene dækker en reduceret norm reduktion fra 5 – 15%
Reduceret kvælstofnorm (KVM7.11): Max. (15% reduktion i norm)	-113	0	374	0	261	Tons CO_2-ækv/år (hele DK)	10	Ja	
Større opbevaringskapacitet af husdyrgødning og ændring er forbud mod udbringning af husdyrgødning om efteråret (KVM7.12)	0	0	2.015	0	2.015	Tons CO_2-ækv/år (hele DK)	9	Ja	Tallet er anslået på baggrund af husdyrgødningsmængder for hele landet samlet
Afgrøder med høj N-optagelse (KVM7.13):						Kg CO_2-ækv/ha/år	10		
Roer – top fjernes	-550	0	266	0	-284			Nej	
Roer – top fjernes ikke	-275	0	-23	0	-298			Nej	
Fodergræs – renbestand	2.341	0	-1.261	-446	634			Ja	
Fodergræs – med bælgplanter	2.341	0	-606	-446	1.289			Ja	
Frøgræs	2.900	0	63	0	2.963			Ja	Tal for kulstoflagring i frøgræs er ikke underbygget

Skærpet udnyttelses-krav for N i udvalgte typer husdyrgødning (KVM7.14)	0	0	4,9	0	4,9	Kg CO_2-ækv /re-duceret kg N in-put/år	9	Ja	Reduceret emission fra reduceret produktion af handelsgødning er ikke inkluderet. Skærpede udnyttelses-krav er indført fra 2020-21
Nitrifikationshæmmere til husdyrgødning	0	0	1,6	0	1,6	Kg CO_2-ækv/kg N	9	Ja	
Nitrifikationshæmmere på handelsgødning	0	0	1	0	1	Kg CO_2-ækv/kg N	9	Ja	
Arealanvendelse									
Udtag af omdriftsareal til permanent ugødet brak (KVM8.1)	500	0	861	360	1.721	Kg CO_2-ækv/ha	10	Ja	Afhængig af hvornår brak er etableret og jordbonitet
Randzoner på mine-raljord (KVM8.2)	1.500	0	861	360	2.721	Kg CO_2-ækv/ha	10	Ja	LULUCF bidrag er af-hængig af hvornår randzone er etableret
Paludikultur – tidligere drænet omdrift (8.3.1)	42,2	-7,8	5,6	0	40	Ton CO_2-ækv/ha/år	6-7	Ja	Ingen tal for energifor-brug
Paludikultur – tidligere drænet vedvarende græs (8.3.2)	30,8	-7,8	3,5	0	26	Ton CO_2-ækv/ha/år	6-7	Ja	
Vådområder på mine-raljord (KVM8.4)	0	-6.392	0	360	-6.032	Kg CO_2-ækv/ha	10	Nej	Usikkerhed om LULUCF, metan og lattergasesti-mater

Bilag 2. Beregningsmetoder

1. Husdyrgødning

Forfatter: Anders Peter Adamsen og Frederik Rask Dalby, Institut for Bio og kemiteknologi

Fagfællebedømmer: Anders Feilberg, Institut for Bio og kemiteknologi

For hver teknologi (klimavirkemiddel) er der valgt et referencesystem, som klimaeffekten relateres til. For deciderede teknologier, fx gyllekøling eller hyppig udslusning af gylle, er referencesystemerne tilsvarende stalde uden gyllekøling eller med udslusning ved en gyllehøjde på ca. 35 cm. Der er i enkelte tilfælde også sammenlignet staldsystemer f.eks. ved malkekøer, selvom et staldsystem som sådan ikke er en teknologi, der uden videre kan implementeres. Dette er for at vise potentialerne og kan bruges til fremtidige valg af staldsystemer der både har lav emissioner af ammoniak og klimagasser.

Potentialet af en teknologi er nu vurderet ud fra udbredelsen af teknologien i et givet staldsystem eller lager, en vurdering af maksimal udbredelse, samt udbredelsen af det pågældende staldsystem. Den grundlæggende enhed er mængden af udskilt organisk stof (kaldet VS efter flygtigt stof, på dansk glødetab, på engelsk Volatile Solids) fra dyrene. Dette benyttes til at estimere metanproduktionen. For at estimere ammoniakemissionen, som er kilde til den såkaldte indirekte lattergasproduktion regnes der også i gyllemængder. I den seneste klimavirkemiddeltabel anvendes der en gennemsnitlig svine- og kvæggylle, hvilket var tilstrækkeligt tidligere. I de sidste par år har der været stor fokus på hyppig (ugentlig eller oftere) udslusning af gylle, som er blevet modelleret på staldtypeniveau.

I forbindelse med de mere detaljerede beregninger, så har det været nødvendigt at definere reference-situationer mere præcist. For teknologier som hyppig udslusning er det let, idet referencen er udslusning ved maksimal acceptabel gyllehøjde eller efter afslutning af et hold. Det samme med gyllekøling, hvor referencen er tilsvarende stald uden gyllekøling. For teknologier som omfatter staldtyper, er det mere kompliceret. Et staldsystem til kvæg med spalter og med gylle opbevaret i en ringkanal har en væsentlig højere emission af metan end stalde med fast gulve og hyppig skrabning hen til en tværkanal. Men her er der tale om forskellige staldtyper, som ikke umiddelbart kan ændres.

Det er forsøgt at opgive klimaeffekterne i CO2-ækv. per ton gylle. I de fleste beregninger er der anvendt ton gylle ab dyr, hvor vandspild og vaskevand ikke indgår. Mængden af gylle varierer mellem ab dyr, ab stald, hvor strøelse, vandspild og vaskevand medregnes, og endelig ab lager, hvor der ved lagre uden vandtæt overdækning også opsamles regnvand og der sker en fordampning.

Ved emissioner af klimagasser fra stalde og lagre er den direkte emission af metan langt den vigtigste klimagas. I nogle af de efterfølgende teknologier er eksempelvis emissioner af indirekte lattergas (dannet fra ammoniak) eller klimagasser til produktion af mineralsk gødning medtaget.

Klimaeffekten er beregnet ud fra IPCC AR4 værdier over en 100-årig periode. Da metan er en gas med en relativ kort levetid i atmosfære (ca. 12 år), så er effekten af at reducere metan på kort sigt langt højere end effekten for lattergas eller CO2. Det understreger vigtigheden af at fokusere på hurtigt at reducere emission af metan fra stalde og lagre og dermed bidrage til faldende atmosfæriske koncentrationer af metan indenfor en kort årrække.

Teknologier er i de følgende afsnit placeret således, at først kommer virkemidler til stalde, derefter virkemidler til lagre, og til sidst kombinationer af virkemidler i både stald og lagre.

1.1.1.1 Beskrivelse af den anvendte model

De efterfølgende emissioner af metan og reduktionseffekter af teknologier (virkemidler) er simuleret i en model i et regneark. Modellen er baseret på Normtal-systemet (Børsting et al., 2021) og en model, der beskriver metanproduktion ud fra omsætning af organisk materiale, kaldet Arrhenius-modellen (Petersen et al., 2016). Denne model er tilsvarende den, der anvendes til de nationale opgørelse af metan.

Ud fra beskrivelse af staldtyper, højder og arealer af gyllekummer, dage mellem udslusninger af gylle og højde af restgylle beregnes gyllen gennemsnitlige opholdstid (Hydraulisk RetentionsTid, HRT) (Adamsen et al., 2021). Der anvendes parameterværdier fra Petersen & Gyldenkærne (2020) og Møller et al. (2022).

1.1.1.2 Usikkerheder på den anvendte model

Der er usikkerheder forbundet med parameterværdierne:

- LnA-værdier
- Gylletemperaturer i stalde og lagre
- Udskilt organisk stof (VS)
- Forhold mellem let-omsætteligt organisk stof (VSd) og tungt-omsætteligt organisk stof (VSnd) i stalde
- Forholdet mellem metan og CO2 i den dannede gas
- Effekt af restgylle
- Omsætning i biogasanlæg
- Udbringningsmønstre for gylle

1.1.1.3 LnA-værdier

LnA er en præ-eksponentiel faktor, som ikke er direkte relateret til et specifikt fysisk fænomen eller en kemisk reaktion. Dette skyldes, at Arrhenius ligningen beskriver summen af processer, der fører til metanproduktion. Man kan derfor sige at lnA afspejler potentialet for en metanproduktion, som påvirkes

af gyllens sammensætning og nedbrydelighed samt mikroorganismernes aktivitet (særligt metanogener, som producerer metan) og tilpasning til miljøet i gyllelageret. Der differentieres mellem lnA og lnA' (lnA mærke). LnA knytter sig til nedbrydning af VS_d og LnA' knytter sig til VS_{tot}. I nærværende model benyttes lnA til simulering af metan-emission fra stalde, da der findes bedre og flere målinger af mængden af letnedbrydeligt organisk materiale (VS_d) fra stalde (Petersen et al., 2016). I lageret benyttes lnA'-værdier, da dokumentation for nedbrydeligt organisk materiale i lagre ikke er veldokumenteret og VS_{tot} og det kun er muligt at estimere VS_{tot}. Desuden skelnes der mellem lnA og lnA' mellem svin og kvæg. I Tabel 1 er angivet benyttede værdier til i nærværende model.

Tabel 1. LnA værdier fra Petersen et al. (2016) og lnA' værdier fra Møller et al. (2022). Disse værdier benyttes i nærværende model til estimering af metanreduktionspotentialer for klimavirkemidler.

	LnA	LnA'
Svinegylle	31,3	30,3
Kvæggylle	31,2	29,2
Afgasset gylle		27,9

1.1.1.4 Gylletemperaturer i stalde og lagre

Der er regnet med en gennemsnitlig temperatur af gylle i svinestalde på 18,6 °C. Nogle stalde har højere rumtemperatur, fx smågrisestalde, men indtil der foreligger bedre data for temperaturer for stalde fastholdes 18,6 °C. For kvæggylle regnes med en gennemsnitlig temperatur på 12,8 °C, der ligger nogle grader over gennemsnitlig udetemperatur.

For gylletanke er der regnet med en gennemsnitlig månedstemperatur, og der er korrigeret for temperatur i gylle som beskrevet i Mikkelsen et al., (2016).

Da metanproduktion inden for relevante temperature i stalde og lagre er en tilnærmelsesvis eksponentiel kurve i forhold til temperatur, så vil varme perioder kunne medføre højere emissioner end beregnet ud fra gennemsnitlige værdier.

1.1.1.5 Udskilt organisk stof (VS)

Organisk stof beregnes ud fra foderindtag, producerede produkter, fx mælk, og tilvækst. Der udregnes en fordøjelighedsfaktor, som i normtallene er baseret på tørstof. Det vil være en fordel, hvis fordøjelighedsfaktor bliver baseret på organisk stof, så vil indholdet af salte være lettere at håndtere.

1.1.1.6 Forholdet mellem let-omsætteligt organisk stof (VS_d) og tungt-omsætteligt organisk stof (VS_{nd}) i stalde

Det er en af de mere komplicerede faktorer. I den såkaldte Arrhenius-modellen (Petersen et al., 2016) er andelen af VS_d estimeret i de udtagne prøver. Dels er den benyttede metode upraktisk at anvende,

og dels er de estimerede forhold baseret på prøver udtaget fra stalde, og dermed er en del af det let-omsættelige organisk stof allerede omsat. Den oprindelig VSd er estimeret ved at "fitte" værdier i modellen. Dette er sammenlignet med værdier fra B_0 og B_u som er henholdsvis den potentielle metanproduktion og den teoretiske mulige (Møller et al., 2004), og der er en god overensstemmelse.

Det er foreslået at undersøge om man kan estimere VS_d ud fra udrådnings-test, der anvendes til at vurdere biogaspotentiale. Fordelen er, at der laves rigtig mange udrådnings-test på gylle til biogasanlæg, så der vil forelægge et større datasæt.

1.1.1.7 Forholdet mellem metan og CO_2 i den dannede gas

Især forholdet mellem metan og CO2 i den dannede gas er kritisk, da det bruges til at beregne hvor meget organisk stof (VS) der er tilgængelig ved næste beregningstrin (følgende døgn). Det er især kritisk for metanproduktionen i lagre. Mikkelsen et al. (2016) har anvendt et CO2/CH4–forhold på 3 (på mol eller volumenbasis). Det stemmer overens med Dinuccio et al. (2008) der fandt et CO2/CH4 forhold på 3 for frisk svinegylle inkuberet ved 25 °C og med et flow af atmosfærisk luft.

For kvæggylle fandt Dinuccio et al. (2008) et CO2/CH4 forhold på 13,6 under tilsvarende forhold.

For gylle opsamlet fra en svinestald og inkuberet under anaerobe (iltfrie) forhold er der fundet CH4/(CH4-CO2)-forhold fra 21 og op til 40% (Feng et al., 2022). Dalby et al. (upubliceret) har fundet store forskelle mellem svinegylle fra en fortank, der blev inkuberet hhv. med et flow med atmosfærisk luft og et flow med kvælstof, hvilket indikerer en oxidation af metan i overfladen, hvor ilt kan diffundere ned (upubliceret data). Det vil ændre på CO2/CH4 forholdet. Grundet de forskellige biologiske processer, som bidrager til henholdsvis CO2 og CH4 produktion i gylle, vil CO2/CO4 forholdet i realiteten ændre sig over tid, hvilket forklarer hvorfor kraftigt varierende CO2/CH4 forhold er blevet rapporteret.

1.1.1.8 Effekt af restgylle

Mængden af gylle efter udslusning (tømning af gylle) i stalden er i modellen brug som et udtryk (proxy) for hvor meget podningsmateriale der er tilstede. Restgylle indgår i at beregne gyllens gennemsnitlige alder kaldet HRT (Hydraulic Retention Time). I tidligere opgørelse er restgylle ikke medtaget, hvilket kan give en underestimering af metanproduktionen.

1.1.1.9 Omsætning i biogasanlæg

Dette er beregnet ud fra DCA-rapporten Bæredygtig Biogas (Olesen et al., 2020).

1.1.1.10 Udbringningsmønstre for gylle

Det er i Mikkelsen et al. (2016) antaget at gylle udbringes i marts og april og derefter akkumuleres i gylletanke hen over året, samt at der ikke forskel i udbringningsmønstre for kvæg- og svinegylle. Opgørelser viser imidlertid, at der er betydelig forskel på hvornår svinegylle og kvæggylle udbringes. Kvæggylle udbringes i højere grad på græsarealer hen over sommeren, ca. 28% af den totale

gyllemængde, hvorimod svinegylle udbringes i forårsmånederne (Birkmose, 2020). Dette er medregnet i modellen i den nuværende opdatering, men er ikke tidligere medregnet i de nationale opgørelser.

1.1.1.11 Sammenligning med litteraturdata

I en review-artikel af Kupper et al. (2020) fandtes en median-emission fra svinegylle i gylletanke på gård-skala på 0,55 g CH4 · m-3 · h-1 (n = 10), hvilket giver 2,0 kg per m3 for en gennemsnitlig opbevaring på 5 måneder.

I samme review-artikelfandtes en median-værdi på 0,75 g CH4 · m-3 · h-1 (n = 7). Da kvæggylle ofte udbringes hen over sommeren på græsarealer, så er den gennemsnitlige opbevaring sat til 3 måneder. Det giver 1,6 kg per m3. Det skal understreges at disse emissionsværdier stammer fra forskellige lande og under forskellige klimatiske forhold

1.1.1.12 Sammenligning med tidligere opgørelser

Ved den sidste opdatering af klimavirkemiddeltabellen i 2020 (Hutchings et al., 2020) anvendtes DCE's estimater af de gennemsnitlige emissioner for kvæg- og svinegylle, som var på henholdsvis 1,48 kg og 2,39 kg CH4 per ton gylle. Fordelingen i emission mellem stald og lager blev ligeledes baseret på DCE's opgørelser. For svinegylle blev det estimeret at ca. 30% af emissionen kom fra lageret, hvorimod det for kvæg var næsten 50%. Senere beregninger med modellen, beskrevet ovenfor, viser dels en højere samlet emission, men også at det for svinegylle er en større andel, der kommer fra lageret. Eksperimentelle data for emissioner af metan fra gyllelagre er baseret på få målinger og behæftet med stor usikkerhed. Emission fra lageret er vigtig, idet teknologier som hyppig udslusning og gyllekøling bevirker at mere organisk stof føres til lager, hvor det vil give en merproduktion af metan i lageret i forhold til en standard-situation.

Der er flere projekter i gang med henblik på at måle emissioner fra gyllelagre, og de kommende år vil give et bedre grundlag for opgørelse af emissioner fra lageret, herunder modelvalidering.

1.1.1.13 Referencestalde

Ved estimering af reduktionspotentialer af drivhusgasser er aktivitetsdata fra DCE benyttet med fordeling af gødningsudskillelse fra forskellige staldtyper. Da dimensionerne af gyllekummer samt restgyllehøjden har betydning for gyllens opholdstid, har disse været nødvendige at fastsætte for hver staldtype. I Tabel 2 er angivet vigtige input-værdier, som er relevante for modelestimaterne for hver enkelt staldtype. Det er i øvrigt anvist hvilke staldetyper som vurderes at kunne praktisere hyppig udslusning.

Tabel 1. Svine og kvægstaldtyper, som opgivet i aktivitets data fra DCE, samt reference værdier brugt til estimering af metanudledninger.

Dyre-kategori	Dyre-type	Stald-Navn[a]	Stald-ID[a]	Produktions-areal, m² / dyr	Kumme-areal, % af produktions-areal	Udslusnings-interval, dage	Rest-gylle-højde efter udslusning, cm	Potentiale for hyppig udslusning[b]
Svin	Små-grise	Toklimastald m. delvis spaltegulv	20	0,3	50	24	3	Ja
		Drænet gulv + spalter (50/50)	46	0,3	100	48	3	Nej
	Søer	Løbe afd., individuel, delvis spalte	60	2,5	39	30	3	Ja
		Løbe afd., løs, delvis spalte	63	2,5	39	30	3	Ja
		Fare afd., kassesti, delvis spalte	64	4,9	50	41	3	Ja
		Fare afd., kassesti, fuldspalte	65	4,9	100	41	3	Nej
	Slagte-svin	Drænet gulv + spalter (33/67)	47	0,65	100	29	3	Ja
		Delvist spaltegulv (50-75 % fast gulv)	72	0,65	33	15	3	Ja
		Delvist spaltegulv (25-49 % fast gulv)	73	0,65	49	22	3	Ja
Kvæg		Sengebåse, spalter, bagskyl/ Ringkanal-anlæg	6	7,99	66	28	40	Ja[c]
		Sengebåse, fast gulv, skraberanlæg	5	7,99	6	1	40	Nej
		Sengebåse, spalter, skraberanlæg	7	7,99	NA[d]	NA[d]	NA[d]	Nej
		Sengebåse, fast gulv, 2% hæld, skrab	49	7,99	NA[d]	NA[d]	NA[d]	Nej

[a] Jf. Stald navn og ID i aktivitetsdata fra DCE

[b] Stalde hvor hyppig udslusning allerede praktiseres fx kvægstalde med daglig udslusning tælles ikke med som en del af potentialet

[c] Hvis hyppig udslusning skal implementeres, antages det at der foretages en staldombygning, således at ringkanalen udfyldes og et nyt gulv monteres på det eksisterende.

[d] Er ikke modelleret og værdier er ikke brugt. I stedet antages emission fra disse stalde at være ens med stald navn "Sengebåse, fast gulv, skrabeanlæg", stald ID "5".

1.1.2 Referencer

Adamsen, A. P. S., Hansen, M. J., & Møller, H. B., (2021). Effekt af hyppig udslusning af gylle på metanproduktion, Nr. 2020-0166155, 9 s., jan. 12, 2021.

Birkmose, T. (2020). Aktivitetsdata for udbragt husdyrgødning, 2016-2020. Notat fra SEGES.

Børsting, C. F. (red.), Hellwing, A. L. F., Sørensen, M. T., Lund, P., van der Heide, M. E., Møller, S. H., Kai, P., Nyord, T., Aaes, O., Clausen, E., Tybirk, P., Holm, M., Hansen , M. N., Jensen, H. B., & Bækgaard, H. (2021). Normtal for husdyrgødning. DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. DCA rapport Nr. 191 https://dcapub.au.dk/djfpublikation/index.asp?action=show&id=1474

Feng, L., Guldberg, L. B., Hansen, M. J., Ma, C., & Ohrt, R. V. (2022). Impact of slurry removal frequency on CH4 emission and subsequent biogas production; a one-year case study. Waste Management, 149, 199-206. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.06.024

Kupper, T., Hani, C., Neftel, A., Kincaid, C., Buhler, M., Amon, B., & VanderZaag, A. (2020). Ammonia and greenhouse gas emissions from slurry storage - A review. Agriculture Ecosystems & Environment, 300. https://doi.org/ARTN 106963 10.1016/j.agee.2020.106963

Mikkelsen, M. H., Albrektsen, R., & Gyldenkærne, S. (2016). Biogasproduktions konsekvenser for drivhusgasudledning i landbruget. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy.

Møller, H. B., Sommer, S. G., & Ahring, B. (2004). Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. Biomass & Bioenergy, 26(5), 485-495. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2003.08.008

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. & Gyldenkærne, S. (2020). Redegørelse omkring forventede justeringer i beregning af metanemission fra husdyrgødning (Number Journal 2020-0066332).

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

2. Afgrødeproduktion og arealanvendelse

Forfatter: Nicholas J. Hutchings, Institut for Agroøkologi,
Fagfællebedømmer: Mathias Neumann Andersen, Institut for Agroøkologi,

Vurderingerne af klimaeffekterne af virkemidler deles i to grupper, afhængig af om implementering betyder eller ikke betyder en ændring i arealanvendelsen og dermed i effekter på jordens kulstofpulje.

Følgende elementer indgår i beregningerne af drivhusgasemissioner relateret til N-virkemidler:

- Den direkte lattergasemission, herunder emissionen fra handels- og husdyrgødning tilførte arealet, planterester og nettomineralisering af organisk stof i jorden.
- Den indirekte lattergasemission fra ammoniakemission og nitratudvaskning.
- Kuldioxid emission fra kalk og urea tilført markerne.
- Fossil energi brugt til markoperationer og tørring af afgrøder.
- Ændring i netto-kulstoflagring i jorden.

Det antages at virkemidlerne ikke påvirker antal husdyr eller husdyrproduktionens sammensætning, og dermed er der heller ikke effekter på emissioner fra husdyr eller husdyrgødningshåndtering. Den udbragte mængde husdyrgødning antages derfor at være uændret, og såfremt et virkemiddel reducerer N-gødskning, sker reduktionen alene i handelsgødning.

I beregningen af klimasideeffekten af N-virkemidler som påvirker arealanvendelse, var referencesituationen (dvs. den nuværende arealanvendelse og driftsledelse) nogle gange et kornsædskifte og nogle gange en gennemsnitlig landbrugsjord. For de sidstnævnte, argumenterede Mikkelsen et al. (2022) at arealanvendelse i praksis også vil være et kornsædskifte. I tilfældet af at et virkemiddel kun påvirker en eller flere tabsposter under den samme arealanvendelse, er det kun nødvendigt at beregne effekten på de relevante tabsposter.

I praksis, vil N-inputtet i planterester, N-tabet via denitrifikation, udvaskning og ammoniakfordampning, samt effekten på kulstoflagring i jorden være afhængig af hvordan og hvor i landet et virkemiddel implementeres. Klimaeffekten af virkemidlerne kan derfor kun beregnes i grove træk

2.1 Standardværdier

2.1.1 Kvælstofrelaterede emissioner

Direkte N_2O fra udbragt gødning = N i udbragt gødning * EF Direkte N_2O

Direkte N_2O fra planterester = N i planterester * EF Direkte N_2O

Indirekte N_2O fra ammoniakfordampning = N i handelsgødning * EF NH_3 fordampning (handelsgødning) * EF Direkte N_2O

Indirekte N_2O fra ammoniakfordampning = N i husdyrgødning * EF NH_3 fordampning (husdyrgødning) * EF Direkte N_2O

Indirekte N_2O fra N-udvaskning = N-udvaskning * EF Indirekte N_2O fra nitrat-udvaskning

Følgende standardværdier er brugt:

Fra IPPC (2006):

GWP N_2O = 298 kg CO_2 ækv./kg N_2O

Konvertering N_2O-N til N_2O = 44/(2×14) = 1,571

Emissionsfaktorer fra DCE (Mette Hjorth Mikkelsen, pers comm.):

- Direkte N_2O: 0,01 kg N_2O-N (kg N)$^{-1}$
- Indirekte N_2O fra nitrat-udvaskning = 0,0046 kg N_2O-N (kg N)$^{-1}$
- NH_3 fordampning (handelsgødning) = 0,04 kg NH_3-N (kg N)$^{-1}$
- NH_3 fordampning (husdyrgødning) = 0,091 kg NH_3-N (kg N)$^{-1}$

2.1.1.1 N input i planterester

En beregning af N input i planterester er især vanskelig og usikker, fordi mængden er afhængig af afgrøde og udbytte. I Eriksen et al. (2020) er N input i planterester beregnet på baggrund af en relation mellem N i planterester og N input med data fra de den gang seneste nationale beregninger fra DCE (Nielsen et al. 2019). Tankegangen var og er, at der er en sammenhæng mellem gødningsnormen for en afgrøde og N-optagelsen i samme afgrøde. Metoden har den fordel, at den er gennemskuelig og kun har brug for N-gødskning som inputdata men har en ulempe i at det er ikke muligt at skelne mellem afgrødetypen og især mellem et-årige afgrøder og græs eller kløvergræs. Takket forskellene i vækstform og driftsledelser, vil metoden formodentlig underestimere N input i planterester fra græs/kløvergræs og overestimere inputtet fra andre afgrødetyper. DCE beregner N input i planterester efter IPCC (2006), som bruger udbyttedata og afgrødetype. Disse inputdata henter DCE fra statistisk kilde på regionsniveauet og er afhængig af afgrødeblanding og udbytteniveauer i det pågældende år. Til at udjævne årsvariationer, har vi her benyttet en relation mellem N i planterester og N input som er et gennemsnit over 10 år og ikke kun det seneste år. Endvidere, har DCE for nylig opdateret deres beregningsmetode for N input i planterester. Tilsammen, er effekten at kg N input i planterester pr kg N input som handels- eller husdyrgødning øges fra 0,21 i Eriksen et al (2020) til 0,41 her.

2.1.2 Kulstoflagring, mineralisering, kalk og urea

I nogle tilfælde, vil et virkemiddel påvirke kulstoflagringen i jorden, fordi der vil være en ændring i kulstofinputtet enten i planterester eller i husdyrgødning. Over tid vil jordens kulstofpuljer tilpasse sig ændringer i kulstofinputtet, og et virkemiddels effekt på kulstoflagring vil dermed aftage med tiden. I den danske afrapportering under UNFCCC, er det estimeret at 12% af kulstof input i organisk forbindelse er langtidslagret i jorden (Mikkelsen et al, 2022). En undtagelse er kulstof i biokul, som håndteres separat. Hvis et virkemiddel resulterer i en ændring i mængden af kulstof input til jorden, regnes derfor ændringen i kulstoflagring (plus eller minus) som 12% af de pågældende mængde. I tilfældet at ændringen i kulstofmængden er negativ, er der antaget en N-mineralisering svarende til ændringen i kulstofmængden/10 (d.v.s. at C:N i det mineraliseret organiskstof er 10:1, som anbefalet af IPCC, 2006). Sådan N-mineralisering ganges med EF Direkte N_2O til at beregne den efterfølgende N_2O emission.

Emissioner af CO_2 fra tilførsel af kalk og ureabaserede handelsgødninger er i gennemsnit 94 kg CO_2 ækv/ha/år og er beregnet som de afrapporterede 244 kt CO_2 emission på landsplan (DCE, 2020), fordelt over det samlede dyrkningsareal. Da ingen virkemidler inkluderer øget forsuring af gylle, er det her antaget at der er ingen ændring i emissioner, når et virkemiddel ikke udtager landbrugsjord og der er ingen eller meget mindre emission fra jorden som er udtaget. Det antages heller ikke at der vil være væsentlige ændringer i anvendelsen af ureabaserede gødninger eller i kalkanvendelse som følge af forsuring forårsaget af ændret gødningsanvendelse.

2.1.3 Forbrug af fossil energi

Tabel 1 viser estimater for fossilenergiforbrug i forbindelsen med korn, græs og roer produktion, fra Mogensen et al. (2018), med de konverteringsfaktorer der er angivet i Tabel 2.

Tabel 1. Forbrug af fossil energi i forbindelsen markoperationer, vanding og tørring til produktion af korn, græs og roer produktion (Mogensen et al., 2018).

		Byg	Hvede	Kløvergræs	Græs	Roer	Sukkerroer
El, vanding	kWh/ha	34	47	161	161	64	60
El, tørring	kWh/ha	98	138	0	0	0	0
Diesel, tørring	liter/ha	8	11	0	0	0	0
Diesel, mark	liter/ha	78	96	89	101	91	91
Nettoudbytte	Mg TS/ha	4,4	6,2	8,1	9,1	12,1	13,2

TS: tørstof

Tabel 2. Konverteringsfaktorer (fra Mogensen et al, 2018)

		kg CO_2 ækv/enhed
Diesel	liter	2.82
El	kWh	0.56

På baggrund af Tabel 1 og 2 estimeres forbruget af fossil energi til at variere mellem 340 CO_2 ækv/ha/år for et kornsædskifte til 445 CO_2 ækv/ha/år for græs med et højt udbytte. Det bemærkes at disse tal er betydelig lavere end de 1100 kg CO_2/ha/år antaget af Eriksen et al. (2014).

2.1.4 Standard værdier for emissioner af klimagasser

Referencesituationen for virkemidler som indebær en ændring i arealanvendelse antages at være korndyrkning (Mikkelsen et al, 2022). Da det antages at husdyrgødningsproduktionen ikke ændres som følge af en implementering af virkemidler på marker, er det antaget at kun handelsgødning benyttes på referencesituationen. På baggrund af Mikkelsen et al (2022), er N input i handelsgødning i referencesituationen 171 kg/ha/år (kontra 200 kg/ha/år i Eriksen et al, 2020).

Ammoniakemission indgår i klimaberegningen som en indirekte lattergaskilde. Bemærk at ammoniakemissionsfaktor for handelsgødning fra det seneste nationale beregninger er 0,04 kg NH_3-N/kg N, kontra 0,02 i Eriksen et al. (2020). N-udvaskning for det standard kornsædskifte er 60 kg N/ha/år (Mikkelsen et al, 2022), hvilket ikke er væsentligt anderledes end de 64 kg N/ha/år benyttet i Eriksen et al (2020).

CO_2 emission fra kalk og urea antages at være 94 kg ækv/ha/år, som i Eriksen et al (2020).

Et overblik over klimagasemissionerne fra det anvendte standard kornsædskifte er vist i Tabel 3.

Tabel 3 Drivhusgasemissioner fra standard korndyrkning.

		kg N/ha/år	kg N_2O-N emission/ha/år	kg CO_2 ækv/ha/år
N input		171		
Direkte N_2O emission	Gødning		1,71	801
	Planterester	70	0,70	328
Indirekte N_2O emission	Ammoniak	6,8	0,07	32
	N-udvaskning	60	0.28	129
Fossil energi				361
Kalk m.m.				94
Kulstoflagring				0
			Sum	1745

2.2 Referencer

Eriksen, J., Thomsen, I. K., Hoffmann, C. C., Hasler, B., Jacobsen, B. H. 2020. Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 452 s. – DCA rapport nr. 174 https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport174.pdf

IPCC 2006: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html

Landbrugsstyrelsen. 2022. Vejledning om gødsknings- og harmoniregler. Planperioden 1. august 2022 til 31. juli 2023.

Mikkelsen, M.H., Albrektsen, R., Gyldenkærne, S. 2022. Sammenligning af klimaeffekter - Emissionsopgørelse, emissionsfremskrivning og Klimaeffekttabel. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 166 s. - Videnskabelig rapport nr. 501 http://dce2.au.dk/pub/SR501.pdf

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., Callesen, I., Caspersen, O.H., Scott-Bentsen, N., Rasmussen, E., Petersen, S.B., Olsen, T.M., Hansen, M.G. 2019. Denmark's National Inventory Report 2019. Emission Inventories 1990-2017 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 886 pp. Scientific Report No. 318.

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., Callesen, I., Caspersen, O.H., Scott-Bentsen, N., Rasmussen, E., Petersen, S.B., Olsen, T. M. & Hansen, M.G. 2020. Denmark's National Inventory Report 2020. Emission Inventories 1990-2018 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 900 pp. Scientific Report No. 372 http://dce2.au.dk/pub/SR372.pdf

Bilag 3 Boblerlisten

I bestillingen af katalog over klimaeffekter i landbruget har Landbrugsstyrelsen ønsket en liste over yderligere virkemidler der eventuelt kan inkluderes i kataloget (boblerlisten). Det er muligt for både ministeriet og AU at foreslå virkemidler, og den endelige beslutning om hvorvidt et virkemiddel skal inkluderes tages i dialog forud for hver årlig opdatering.

På boblerlisten indgår potentielle virkemidler til reduktion af drivhusgasudledninger i landbruget, hvor der på nuværende tidspunkt ikke i tilstrækkelig grad er dokumenteret en klimaeffekt. Det er hensigten, at der årligt i forbindelse med arbejdet med opdatering af klimavirkemiddelkataloget skal tages stilling til, om der i det forløbne år, er tilvejebragt tilstrækkelig viden til at et virkemiddel kan flyttes fra boblerlisten og ind i kataloget.

I nedenstående liste indgår både virkemidler foreslået af FVM og AU. Virkemidlerne på listen er endnu ikke drøftet, dvs. der er endnu ikke taget stilling til deres status på boblerlisten.

Boblerlisten

Husdyrproduktion

- Reduktion af malkekvæg (national produktionskvote)
- Reduktion af svin (national produktionskvote)
- Avl for malkekøer med reduceret tab af metan
- Avl for fodereffektivitet i svineproduktionen
- Avl i retning af toformålsmalkeracer
- Anvendelse af systematiske krydsningssystemer hos malkekvæg
- Avl for fodereffektivitet hos kvæg
- Kulstofbinding i jorden ved græsning med naturkvæg (frem for på stald med højt ydende foderprodukter)
- Foderoptag fra afgræsning (økologi)
- Holistisk afgræsning
- Reduktionseffekter afhængig af fedtsyreprofilen og fedtkoncentration i foder tildelt kvæg.
- Effekten af ændret kraftfoder/grovfoderforhold
- Forlænget laktation

Husdyrgødning

- Daglig udslusning (linespil)
- Alternative gyllekummer med mål om udslusning oftere end ugentligt
- Reduktionseffekten af staldteknologier (fx hyppig udslusning, køling og forsuring) i kombination med lagerteknologier (fx fakkelafbrænding, biofilter, forsuring og overdækning m. ventileret flydelag)
- Vaskerobot
- Tilsætningsstoffet NoGas
- Plasmabehandling af husdyrgødning

- Nedfældning af gylle
- Bioforsuring af gylle

Afgrødeproduktion

- Afgrøder med høj N-optagelse (græs)
- Foderplanter med mindre enterisk metanemission
- Designergødning
- Plantesorter forædlet til fodring
- Valg og forædling af proteinafgrødekilder og -sorter til plantebaseret fødevareproduktion
- Nye genomteknikker (NGT) til planteforædling (f.eks. CRISPR-CAS9)
- Effekten af skift mellem afgrødetyper

Arealanvendelse

- Skovlandbrug
- Udtagning af kulstofrig jord (vådlægning og ophør af landbrugsdrift)
- Udtagning af landbrugsjord til skov, natur eller lignende (f.eks. 10 % af al landbrugsjord)
- Øget ekstensivering af landbrugsarealer med henblik på øget kulstofslagring og biodiversitet
- Carbon farming / øget kulstofslagring i jorden
- Biogasproduktionens effekt på kulstofsindhold i jorden
- Dyrkning af bælgsæd/proteinafgrøder til foder (sojaerstatning) eller humankonsum
- Intercropping (samdyrkning af flere typer afgrøder)
- Pløjefri dyrkning
- Omlægning til regenerativt jordbrug, permakultur, biodynamik eller lignende
- Øget selvforsyning på bedriftsniveau ved f.eks. en præmie til husdyrproducenter, som producerer eget foder, eller til planteavlerne med reduceret gødningsimport.
- Flere træer og læhegn på landbrugsjord
- Afbrydelse af dræn/kontrolleret dræning
- Græs som virkemiddel (intensivt dyrket flerårigt græs)
- Flerårige afgrøder f.eks. flerårige kornafgrøder

Brun bioraffinering

- Biokul fra gylledigestat fra biogasanlæg vs nedpløjning af gylledigestat
- Biokul fra digestat fra slambaserede biogasanlæg vs nedpløjning af digestat fra slambaserede biogasanlæg
- Biokul fra træ

Andre, FVM:

- Fremstilling af animalske fødevarer (dvs. mælkeprodukter, æg og kød) uden produktion af husdyr (og en tilsvarende reduktion af den "klassiske husdyrproduktion")
- Videreudvikling af plantebaserede fødevarer som erstatning for animalske fødevarer

- Implementering af de officielle kostråd i madplanen hos kantiner i den offentlige sektor

Andre, AU:

- Behovs- og positionsbestemt kalkning: Jordens pH er vigtig for regulering og modificering af N2O emissioner. I mere sur jord er der en højere risiko for udledning af N2O, fordi N2O-reduktase-enzymet der omdanner N2O til N2, hæmmes (Abalos et al., 2020). Behovs- og positionsbestemt kalkning har været anvendt i flere år, men der er ikke undersøgelser der evaluerer gradueringen. Tilsætning af jordbrugskalk fører til CO2-udledning, da karbonatkalken opløses i jorden og frigiver bikarbonat (2HCO3), som omdannes til CO2 og vand (H2O). Nyere danske studier har vist at målretning mod en pH-værdi lige omkring 6,4 på sandjord synes at være det mest passende niveau i forhold til at afbalancere afgrødeproduktion og minimere lattergasemission (Abalos et al., 2020). Lignende undersøgelser i pH intervallet 5-7 vil kunne afdække lattergasemissioner som funktion af de mest almindelige reaktionstal for danske jorde, hvor også parallelle målinger af N2O, CO2 og andre betydende/forklarende mikrobiologiske parametre ved behovsbestemte kalkningsniveauer er nødvendige for at beregne det totale CO2 ækv./ha/år for behovs- og postionsbestemt kalkning.
- Dræning og forebyggelse af pakning – vigtige virkemidler til at øge C input og mindske risiko for N2O.
- Vanding – essentielt virkemiddel til at øge c input på særligt de sandede jorde.
- Bladgødskning - man kan have en formodning om at kvælstofgødning ikke danner N2O hvis gødningen ikke kommer i kontakt med jorden og dermed denitrificerende bakterier og forhold som lavt iltniveau, men der ligger ingen hverken danske eller udenlandske undersøgelser af dette. Nye systemer som center-pivot vandingsmaskiner og robotter giver mulighed for at dosere en større del (måske 100%) af N-mængden som bladgødskning.
- Nitrat som et foderadditiv til kvæg (husdyrproduktion).
- Stof X og X2 som et foderadditiv til kvæg (husdyrproduktion).
- Asparagopsis, tanniner, saponiner, æteriske olier og andre tangarter som et foderadditiv til kvæg (husdyrproduktion).
- Reduceret tildeling af råprotein i foderet og optimering af proteinforsyning igennem dyrets levetid - livstidskvælstofudnyttelse (husdyrproduktion).
- Kvantificering af den metan-reducerende effekt hos kvier og slagtekalve af fra malkekøer velkendte virkemidler til reduktion af metan (husdyrproduktion).
- Tidlig og persistent prægning af vommikrobiomets udvikling hos det unge dyr (husdyrproduktion).
- Øget fodereffektivitet via ændret fodring (husdyrproduktion).
- Reduktion i forekomst af management-betingede sygdomme (husdyrproduktion).
- Optimering af grovfoderproduktionen. Optimering med henblik på optimalt udbytte, foderværdig og reduktion af enterisk metan (husdyrproduktion)