



SAMMENLIGNING AF KLIMAEFFEKTER

Emissionsopgørelse, emissionsfremskrivning og klimaeffekttabel

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 501

2022



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

SAMMENLIGNING AF KLIMAEFFEKTER

Emissionsopgørelse, emissionsfremskrivning og klimaeffekttabel

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 501

2022

Mette Hjorth Mikkelsen
Rikke Albrechtsen
Steen Gyldenkerne

Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 501
Kategori:	Rådgivningsrapporter
Titel:	Sammenligning af klimaeffekter
Undertitel:	Emissionsopgørelse, emissionsfremskrivning og klimaeffekttabel
Forfattere:	Mette Hjorth Mikkelsen, Rikke Albrechtsen & Steen Gyldenkærne
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	Juni 2022
Redaktion afsluttet:	2022
Faglig kommentering:	Ole-Kenneth Nielsen
Kvalitetssikring, DCE:	Vibeke Vestergaard Nielsen
Sproglig kvalitetssikring:	Vibeke Vestergaard Nielsen og Ole-Kenneth Nielsen
Ekstern kommentering:	Landbrugsstyrelsen. Kommentarerne findes her: http://dce2.au.dk/pub/komm/SR501_komm.pdf
Rekvirent:	Landbrugsstyrelsen
Bedes citeret:	Mikkelsen, M.H., Albrechtsen, 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 Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	I denne rapport gennemgås de 56 virkemidler der er listet i Klimaeffekttabellen, hvor der for hvert af virkemidlerne er angivet en kort beskrivelse samt gengivet baggrunden for beregningen af effekten angivet i Klimaeffekttabellen. Derudover er der beskrevet effekten ved en beregning der følger metoderne, der anvendes i den nationale emissionsopgørelse, med henblik på, at undersøge og kvantificere virkemidlernes klimaeffekt, som de reflekteres i emissionsopgørelsen og fremskrivningen.
Emneord:	Klimaeffekttabel, drivhusgasser, landbrug, ændringer i arealanvendelse (LULUCF), emissionsopgørelse
Layout:	Grafisk Værksted
Foto forside:	Mette Hjorth Mikkelsen
ISBN:	978-87-7156-695-6
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	166
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/SR501.pdf

Indhold

Forord	9
Sammenfatning	10
Summary	12
1 Biogas fra kvæggylle (afsætning til biogasanlæg, alm. stald- og lagerdrift)	13
1.1 Beskrivelse af virkemiddel	13
1.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel	13
1.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	14
2 Biogas fra svinegylle (afsætning til biogasanlæg, alm. stald- og lagerdrift)	15
2.1 Beskrivelse af virkemiddel	15
2.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel	15
2.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	15
3 Biogas m. gyllekøling i svinestalden	17
3.1 Beskrivelse af virkemiddel	17
3.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel	17
3.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	18
4 Biogas m. hyppig udslusning i svinestalden	20
4.1 Beskrivelse af virkemiddel	20
4.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel	20
4.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	21
5 Braklægning (slåningsbrak; ikke permanent udtagning)	22
5.1 Beskrivelse af virkemiddel	22
5.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel	22
5.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	24
6 Efterafgrøder	30
6.1 Beskrivelse af virkemiddel	30
6.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel	30
6.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	32
7 Flerårige energifgrøder på omdrifts- arealer	34
7.1 Beskrivelse af virkemiddel	34
7.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel	34
7.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	36
8 Fodertilsætningsstoffer: Bovaer, 3-NOP	38
8.1 Beskrivelse af virkemiddel	38
8.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel	38
8.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	38

9	Fodring med øget fedt til andet kvæg	40
9.1	Beskrivelse af virkemiddel	40
9.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	40
9.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	40
10	Fodring med øget fedt til malkekvæg	42
10.1	Beskrivelse af virkemiddel	42
10.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	42
10.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	42
11	Græs i sædskiftet	44
11.1	Beskrivelse af virkemiddel	44
11.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	44
11.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	45
12	Gylleforsuring i stald hos kvæg	48
12.1	Beskrivelse af virkemiddel	48
12.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	48
12.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	49
13	Gylleforsuring i stald hos svin	51
13.1	Beskrivelse af virkemiddel	51
13.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	51
13.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	52
14	Hyppig udslusning af svinegylle	54
14.1	Beskrivelse af virkemiddel	54
14.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	54
14.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	54
15	Køling af svinegylle	56
15.1	Beskrivelse af virkemiddel	56
15.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	56
15.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	56
16	Mellemafgørder	58
16.1	Beskrivelse af virkemiddel	58
16.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	58
16.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	59
17	Omlægge til økologi	61
17.1	Beskrivelse af virkemiddel	61
17.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	61
17.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	61
18	Overdækning af gyllebeholdere med ventileret flydelag	63
18.1	Beskrivelse af virkemiddel	63
18.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	63
18.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	64

19	Randzoner på mineraljord	65
19.1	Beskrivelse af virkemiddel	65
19.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	65
20	Reduceret kvælstofnorm	67
20.1	Beskrivelse af virkemiddel	67
20.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	67
20.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	68
21	Reduktion af kvæg	69
21.1	Beskrivelse af virkemiddel	69
21.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	69
21.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	69
22	Reduktion af svin	71
22.1	Beskrivelse af virkemiddel	71
22.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	71
22.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	71
23	Skærpet udnyttelseskrav for N i husdyrgødning	73
23.1	Beskrivelse af virkemiddel	73
23.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	73
23.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	73
24	Tilsætningsstof til gyllen (NoGas)	75
25	Udtag af omdriftsareal til permanent ugødet brak	76
25.1	Beskrivelse af virkemiddel	76
25.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	76
25.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	77
26	Afgrøder med høj N-optagelse (frøgræs)	79
26.1	Beskrivelse af virkemiddel	79
26.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	79
26.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	80
27	Afgrøder med høj N-optagelse (græs)	82
27.1	Beskrivelse af virkemiddel	82
27.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	82
27.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	82
28	Afgrøder med høj N-optagelse (sukkerroer)	83
28.1	Beskrivelse af virkemiddel	83
28.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	83
28.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	84
29	Avl for malkekøer med reduceret tab af metan	86
30	Biogas med hyppig udslusning i kvæg- stalden	87
30.1	Beskrivelse af virkemiddel	87
30.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	87
30.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	88

31 Fodertilsætningsstoffer: Nitrat	89
31.1 Beskrivelse af virkemiddel	89
31.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel	89
31.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	89
32 Fodertilsætningsstoffer: Tang	91
32.1 Beskrivelse af virkemiddel	91
32.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel	91
32.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	91
33 Fodring med højere andel af majs	93
33.1 Beskrivelse af virkemiddel	93
33.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel	93
33.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	93
34 Gylleforsuring i lager for kvæg (optimeret sommer-/lagerforsuring)	95
34.1 Beskrivelse af virkemiddel	95
34.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel	95
34.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	96
35 Gylleforsuring i lager for svin (optimeret sommer-/lagerforsuring)	98
35.1 Beskrivelse af virkemiddel	98
35.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel	98
35.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	99
36 Halm til forgasning med biochar retur	100
36.1 Beskrivelse af virkemiddel	100
36.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel	100
36.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	101
37 Hyppig udslusning af kvæggylle	113
37.1 Beskrivelse af virkemiddel	113
37.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel	113
37.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	113
38 Hyppig udslusning af svinegylle med lagerforsuring	115
38.1 Beskrivelse af virkemiddel	115
38.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel	115
38.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	115
39 Hyppig udslusning suppleret med staldforsuring i svinestalde (Intermet)	117
39.1 Beskrivelse af virkemiddel	117
39.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel	117
39.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	118
40 Køling af svinegylle med lagerforsuring	119
40.1 Beskrivelse af virkemiddel	119
40.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel	119
40.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	119

41	Nitrifikationshæmmere til husdyrgødning	121
41.1	Beskrivelse af virkemiddel	121
41.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	121
41.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	121
42	Nitrifikationshæmmere på handelsgødning	123
42.1	Beskrivelse af virkemiddel	123
42.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	123
42.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	123
43	Paludikultur	125
43.1	Beskrivelse af virkemiddel	125
43.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	125
43.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	125
44	Præcisionsjordbrug	127
44.1	Beskrivelse af virkemiddel	127
44.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	127
44.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	127
45	Reduceret jordbearbejdning	129
45.1	Beskrivelse af virkemiddel	129
45.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	129
45.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	129
46	Småbiotoper	131
46.1	Beskrivelse af virkemiddel	131
46.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	131
46.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	131
47	Vådområder på mineraljord	134
47.1	Beskrivelse af virkemiddel	134
47.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	134
47.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	134
48	Afbrænding af husdyrgødning	136
48.1	Beskrivelse af virkemiddel	136
48.2	Effekt angivet i klimaeffekttabel	136
48.3	Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	136
49	Avl for fodereffektivitet i svineproduktionen	138
50	Avl i retning af toformålmalkeracer	139
51	Anvendelse af systematiske krydsningssystemer hos malkekvæg	140
52	Avl for fodereffektivitet hos kvæg	141
53	Udvikling af foderplanter med mindre enterisk metanemission	142

54 Afbrænding i fakkel af luft fra gyllebeholdere med svinegylle	143
54.1 Beskrivelse af virkemiddel	143
54.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel	143
54.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	144
55 Rensning af luft fra gyllebeholdere med svinegylle med biofilter	145
55.1 Beskrivelse af virkemiddel	145
55.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel	145
55.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger	146
56 Plantesorter forædlet til fodring	147
57 Referencer	148
Bilag 1 Beregning af N₂O ved referencesituation (korndyrkning)	153
Beregningsgrundlag	155
Bilag 2 Beregning af N₂O-emissionen for braklægning (slåningsbrak)	158
Bilag 3 Beregning af N₂O-emissionen for efterafgrøder	159
Bilag 4 Beregning af N₂O-emissionen for flerårige energiafgrøder	160
Bilag 5 Beregning af N₂O-emissionen ved græs i sædskifte	161
Bilag 6 Beregning af N₂O-emissionen for mellemafgrøder	162
Bilag 7 Beregning af N₂O-emissionen ved reduktion i handelsgødningsforbruget på 1 kg N udbragt	163
Bilag 8 Beregning af N₂O-emissionen ved udtagning af omdriftsareal til permanent ugødet brak	164
Bilag 9 Beregning af N₂O-emissionen ved dyrkning af frøgræs (1 årig)	165
Bilag 10 Beregning af N₂O-emissionen ved dyrkning af roer	166

Forord

Aarhus Universitet har i 2020 udarbejdet en klimaeffekttabel med 56 virkemidler listet, som vurderes at kunne medvirke til en reduktion af landbrugets emission af drivhusgasser. De listede tiltag indgår som et værktøj i Miljøministeriet og Fødevareministeriets arbejde med regulering og planlægning af forhold vedrørende landbrugssektorens klimatilpasning. DCE - Det nationale Center for Energi og Miljø udarbejder årligt den danske emissionsopgørelse, som rapporteres til EU og FN. I emissionsopgørelsen indarbejdes løbende forbedringer i takt med ny viden fremkommer som følge af nye forskningsresultater eller projekter i forbindelse med myndighedsbetjeningen. Et vigtigt element i den nationale opgørelse såvel som i landbrugsfremskrivningen er at kunne reflektere vedtagne politikker og indførte tiltag, som har en effekt på drivhusgasemissionerne. Med Landbrugsstyrelsen som rekvisit er DCE i dette projekt blevet bedt om at kigge nærmere på de 56 virkemidler listet i klimaeffekttabellen med henblik på at undersøge og kvantificere virkemidlernes klimaeffekt i emissionsopgørelsen og fremskrivningen.

Sammenfatning

Denne rapport beskriver de 56 virkemidler omfattet af klimaeffekttabellen (Petersen, 2020). For hvert af de 56 virkemidler er der angivet en kort beskrivelse samt gengivet baggrunden for beregningen af effekten angivet i klimaeffekttabellen, baseret på informationer og data givet i Eriksen et al. (2020) og Olesen et al. (2018). Der er taget udgangspunkt i CO₂-ækv beregnet på baggrund af Global Warming Potential (GWP) angivet i AR4 (IPCC, 2007). Derudover er der beskrevet effekten ved en beregning der følger metoderne, der anvendes i den nationale emissionsopgørelse.

Der er i denne rapport ikke for hvert tiltag givet i klimaeffekttabellen, vurderet hvilket Tier niveau der skal regnes på for at inkludere effekten i emissionsopgørelsen, men dette vil blive inkluderet når klimaeffekttabellen bliver opdateret ultimo 2022 i projektet "Klimatabel m. tilhørende katalog".

Sammenligningen er foretaget for den angivne effekt på landbrugsemissionen og LULUCF (Land Use, Land-Use Change and Forestry) emissionen. Emissionen relateret til energiforbrug er inkluderet i energisektoren. Opgørelsen følger energistatistikken og en ændring i brændselsforbruget vil derfor blive reflekteret direkte i emissionsopgørelsen og fremskrivningen. Der er derfor ikke gået nærmere ind i de angivne effekter relateret til energiforbrug i klimaeffekttabellen.

For en del af virkemidlerne er de oprindelige beregninger i klimaeffekttabellen baseret på de seneste historiske data i den nationale emissionsopgørelse, der var tilgængelige, hvilket typisk var emissionsopgørelsen rapporteret i 2020 (Nielsen et al., 2020). Der er i nogle tilfælde sket ændringer i de mellemliggende år, og hvor det er tilfældet, er det forklaret i teksten, og der er angivet en opdateret beregning med udgangspunkt i 2022 rapporteringen (Nielsen et al., 2022).

For mange af emissionskilderne vil beregningsmetoden i landbrugsfremskrivningen blive håndteret beregningsmæssigt på samme måde som i den nationale emissionsopgørelse. Såfremt der er en forskel, vil dette være specifikt nævnt under de forskellige virkemidler.

I klimaeffekttabellen er der i effektberegningerne taget højde for emission af indirekte lattergas (N₂O), det vil sige lattergas fra atmosfærisk deposition og kvælstofudvaskning til rodzone samt afstrømning til vandløb og hav. Indirekte N₂O fra atmosfærisk deposition stammer fra N₂O udledning, som sker ved omsætning af ammoniak (NH₃) og nitrogenoxider (NO_x) i stald, lager og fra kvælstoftildeling til marken. I emissionsopgørelsen og fremskrivningen er emission af indirekte N₂O fra atmosfærisk deposition baseret på emission af både NH₃ og NO_x, mens N₂O emissionen i sammenligningerne udarbejdet i denne rapport alene er baseret på udledningen af NH₃, hvilket skyldes at der i udgangspunktet i klimaeffekttabellen ikke var taget højde for NO_x, men skyldes også det faktum, at NO_x emissionen er meget begrænset og dermed har en meget lille effekt på emissionen af N₂O.

N₂O fra udvaskning er i de nationale emissionsopgørelser baseret på det nationale overvågningsprogram NOVANA, hvor institut for Ecoscience varetager beregning af N-udvaskning til grundvand, vandløb og hav. Ved tiltag der

har effekt på N-udvaskningen, er der regnet på den forventede reduktion i udvaskningen, som dermed også forventes at blive afspejlet i NOVANA. Såfremt effekten ikke bliver afspejlet i NOVANA overvågningsprogram, vil dette heller ikke indgå i emissionsopgøresen

Summary

The Climate Impact Table (Petersen, 2020) includes 56 measures and for each of these measures, a short description is given as well as a review of the background data used for calculation of the climate impact, which is based on information and data given in Eriksen et al. (2020) and Olesen et al. (2018). The original setting of CO₂-eqv is based on Global Warming Potential (GWP) given in AR4 (IPCC, 2007). Furthermore, the climate effect for each of the 56 measures is described based on the methodology used to calculate the emissions for the national emission inventory.

In this report there are not estimated which Tier level the emission calculations should be at, to include the measures in The Climate Impact Table. This will be included in the updating of The Climate Impact Table ultimo 2022 in the project "Klimatabel m. tilhørende katalog".

The comparison of the calculated climate impact is completed for the emission related to the agricultural sector and the LULUCF sector (Land Use, Land-Use Change and Forestry). Emissions related to energy consumption are included in the energy sector, where emission calculation is based on Energy Statistics, and thus, the changes in fuel consumption will be reflected directly in the emissions inventory and the projection. Therefore, comparison of climate impact due to energy consumption is not included.

For most of the measures, the calculation of climate impact is based on the latest historical data by the national emissions inventory, which refer to emission inventory reported in 2020 (Nielsen et al., 2020). For some of the measures, changes in data has taken place since 2020, and for these situations a description and update based on the 2022 reporting (Nielsen et al., 2022) is provided.

For many of the measures, the calculation of climate impact is based on the same methodology for both the national emission inventory and the projection. For cases where the methodology differ, this will be mentioned.

The Climate Impact Table includes indirect nitrous oxide (N₂O) from atmospheric deposition, which covers atmospheric deposition and nitrogen leaching to groundwater and run-off to water streams and the sea. The Indirect N₂O from atmospheric deposition occurs when ammonia (NH₃) and NO_x are transformed in animal housing, manure storage and during the nitrogen application to agricultural soils. The emission inventories and projections emission of indirect N₂O from atmospheric deposition is based on emission of both NH₃ and NO_x, but in the calculations made for the Climate Impact Table only N₂O in connection with NH₃ transformation is taken into account and therefor are the comparisons only made for NH₃. Furthermore, the NO_x emission is very limited and thus have a small impact on the N₂O emission.

N₂O from leaching are in the national inventory based on the national monitoring programme NOVANA, where department of Ecoscience is responsible for the calculations of N-leaching to groundwater, rivers, and estuaries. For measures with effect on N-leaching are expected to be reflected in data from NOVANA over time.

1 Biogas fra kvæggylle (afsætning til biogas-anlæg, alm. stald- og lagerdrift)

1.1 Beskrivelse af virkemiddel

I et biogasanlæg nedbrydes organisk materiale af mikroorganismer under ilt-frie forhold. Herved dannes biogas, der hovedsageligt består af kuldioxid (CO_2) og metan (CH_4) samt visse andre gasser, bl.a. svovlbrinte. En lang række biomasser og organisk affald vil kunne behandles i biogasanlæg, men systemet er særligt egnet til våde biomasser, og generelt bør tørstofindholdet i biomassen ikke være over 11% for at sikre, at biomassen kan pumpes rundt. Biogas er særligt anvendeligt til håndtering af husdyrgødning, som i dansk landbrug især håndteres som gylle. Ved afgang af gylle fås en række fordele, herunder at der produceres biogas til erstatning af fossil energi, og at der fås en gylle med en højere kvælstofudnyttelse. Samtidigt reduceres udledninger af metan fra lagringen af gyllen (Olesen et al., 2018).

1.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

For beregningerne til klimaeffekttabellen er antaget, at metanemissionen fra kvæggylle er 1,48 kg CH_4 pr. ton gødning og reduktionen ved bioforgasning er 39 % (Petersen et al., 2020).

Beregningen i tabellen:

CH_4 : 1,48 kg CH_4 pr. ton gødning * 0,39 * 25 kg CO_2 -ækv pr. kg CH_4 = 14 kg CO_2 -ækv pr. ton gødning

For lattergas (N_2O) er der i klimaeffekttabellen indregnet en meremission baseret på Olesen et al. (2018). Forøgelse i emissionen sker som følge af øget risiko for ammoniakfordampning fra afgasset gylle. Forøgelsen er estimeret til 8 kg CO_2 -ækv / 100 kg N (Olesen et al., 2018) og for kvæggylle er der regnet med, at der er 3,63 kg N / ton gødning (Petersen, 2020, Eriksen et al., 2020).

Beregningen i tabellen:

N_2O : -8 kg CO_2 -ækv / 100 kg N * 3,63 kg N / ton gødning / 100 = -0,3 kg CO_2 -ækv / ton gødning

Tabel 1.1. Drivhusgaseffekter, kg CO_2 -ækvivalenter pr. ton husdyrgødning.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH_4	N_2O		
0	14	-0,3	23	37

Opdateres metanberegningen med tallene brugt i 2022 afleveringen af emissionsopgørelserne for året 2020, hvor emissionen er 1,47 kg CH_4 / ton gødning og reduktionen ved bioforgasning er 37%, bliver effekten:

CH_4 : 1,47 kg CH_4 / ton gødning * 0,37 * 25 kg CO_2 -ækv / kg CH_4 = 14 kg CO_2 -ækv / ton gødning

N-indholdet per ton gylle brugt i Eriksen et al. (2020) er baseret på en kilde af ældre dato, og opdateres N₂O-beregningen med opdateret N-indhold i gyllen (Børsting & Hellwing, 2021), bliver effekten:

$$\text{N}_2\text{O}: -8 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / 100 \text{ kg N} \cdot 4,6 \text{ kg N} / \text{ton gødning} / 100 = -0,4 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{ton gødning}$$

1.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Effekt af bioforgasning af gylle indgår i emissionsopgørelserne og fremskrivninger af drivhusgasser for emissioner af metan og lattergas.

CO₂/energiforbrug indgår ikke i emissionsopgørelserne for landbrugssektoren, men indgår i energisektoren.

1.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Reduktionen i metan varierer lidt over årene, da emissionsberegningen bl.a. inkluderer gennemsnitlig opholdstid af gyllen i stalden, som varierer over årene pga. variation i fordeling af dyr på staldtyper, men reduktionen stemmer fint overens med den reduktion, der er angivet i klimaeffekttabellen. Forøgelse i N₂O-emissionen som følge af øget risiko for ammoniakfordampning fra afgasset gylle ligger også på samme niveau som i klimaeffekttabellen. I emissionsopgørelserne og fremskrivninger regnes der dog også med reduktion i lattergasemissionen fra lagring af bioforgasset gylle, og da emissionsfaktoren for bioforgasset gylle er 0 (IPCC, 2006), svarer reduktionen til emissionen for ikke-bioforgasset gylle, hvilket er estimeret til 11,4 kg CO₂-ækv / ton gødning. Altså vil bioforgasning af kvæggylle i emissionsopgørelserne og fremskrivninger have en samlet reduktion i N₂O-emissionen på 11,1 kg CO₂-ækv / ton gødning. Der er en væsentlig forskel (emissionsopgørelser: reduktion på 11,1 kg CO₂-ækv / ton gødning *versus* Klimaeffekttabellen; stigning på 0,3 kg CO₂-ækv / ton gødning) mellem effekten for N₂O-emission af bioforgasning imellem emissionsopgørelserne og beregningerne i klimaeffekttabellen, da reduktionen fra lagring ikke er medregnet i klimaeffekttabellen.

1.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Bioforgasning af husdyrgødning accelerer den normale nedbrydningsfunktion af husdyrgødning på grund af den højere temperatur i biogasanlægget, så mindre organisk materiale bringes ud på jorderne. I den nuværende C-TOOL opsætning er der nedbrydningsfunktioner for ubehandlet organisk materiale såsom halm og rodrester og for husdyrgødning, hvor husdyrgødningen er defineret som mængden af organisk stof i gylle og dybstrøelse, hvilket er inklusive halm. Som input til beregningerne anvendes den totale beregnede mængde organisk materiale i husdyrgødning, uanset om noget af det har været igennem et biogasanlæg. Herved tillægges al materiale i husdyrgødningen inkl. bioforgasset husdyrgødning en nedbrydningsfunktion svarende til ubehandlet husdyrgødning. Hermed overvurderes den tilførte mængde organiske stof, men på den anden side tillægges det bioforgassede organiske stof en højere nedbrydningsfunktion end den, som reelt skulle anvendes på de mere svært nedbrydelige fibre fra biogasanlægget. For nuværende indgår dette ikke i opgørelsen, og der er ikke angivet en effekt i klimaeffekttabellen. Effekten ved ikke at have en opdeling i ubehandlet husdyrgødning og bioforgasset gødning på emissionsopgørelsen anses at være begrænset og skal primært tillægges en lille tidsmæssig forskydning i jordernes absolutte C-indhold.

2 Biogas fra svinegylle (afsætning til biogas-anlæg, alm. stald- og lagerdrift)

2.1 Beskrivelse af virkemiddel

Se kapitel 1.1.

2.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

For beregningerne til klimaeffekttabellen er antaget, at metanemissionen fra svinegylle er 2,39 kg CH₄/ton gødning og reduktionen ved bioforgasning er 17% (Petersen et al., 2020).

Beregningen i tabellen:

CH₄: 2,39 kg CH₄/ton gødning * 0,17 * 25 kg CO₂-ækv/kg CH₄ = 10 kg CO₂-ækv/ton gødning

For lattergas er der i klimaeffekttabellen indregnet en meremission baseret på Olesen et al. (2018). Forøgelse i emissionen sker som følge af øget risiko for ammoniakfordampning fra afgasset gylle. Forøgelsen er estimeret til 8 kg CO₂-ækv/100 kg N (Olesen et al., 2018) og for svinegylle er der regnet med, at der er 4,2 kg N/ton gødning (Petersen, 2020, Eriksen et al., 2020).

Beregningen i tabellen:

N₂O: -8 kg CO₂-ækv/100 kg N * 4,2 kg N/ton gødning/100 = -0,3 kg CO₂-ækv/ton gødning

Tabel 2.1. Drivhusgaseffekter, kg CO₂-ækvivalenter pr. ton husdyrgødning.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0	10	-0,3	22	32

Opdateres metanberegningen med tallene brugt i 2022 afleveringen af emissionsopgørelserne for året 2020, hvor reduktionen ved bioforgasning er 22 %, bliver effekten:

CH₄: 2,39 kg CH₄/ton svinegylle * 0,22 * 25 kg CO₂-ækv/kg CH₄ = 13 kg CO₂-ækv/ton gødning

N-indholdet per ton gylle brugt i Eriksen et al. (2020) er baseret på en kilde af ældre dato, og opdateres N₂O-beregningen med opdateret N-indhold i gyllen (Børsting & Hellwing, 2021), bliver effekten:

N₂O: -8 kg CO₂-ækv/100 kg N * 4,4 kg N/ton gødning/100 = -0,4 kg CO₂-ækv/ton gødning

2.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Effekten af bioforgasning af gylle indgår i emissionsopgørelserne og fremskrivninger af drivhusgasser for emissioner af metan og lattergas.

CO₂/energiforbrug indgår ikke i emissionsopgørelserne for landbrugssektoren, men indgår i energisektoren.

2.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Reduktionen i CH₄ varierer lidt over årene, da emissionsberegningen bl.a. inkluderer gennemsnitlig opholdstid af gyllen i stalden, som varierer over årene pga. variation i fordeling af dyr på staldtyper, men reduktionen stemmer fint overens med den reduktion, der er angivet i klimaeffekttabellen. Forøgelse i N₂O-emissionen som følge af øget risiko for ammoniakfordampning fra afgasset gylle vil i emissionsopgørelserne og fremskrivningerne være lidt højere end angivet i klimaeffekttabellen, -0,8 kg CO₂-ækv/ton gødning, pga. forskelle i beregningerne for ammoniak. I emissionsopgørelserne og fremskrivninger regnes der dog også med reduktion i lattergasemissionen fra lagring af bioforgasset gylle, og da emissionsfaktoren for bioforgasset gylle er 0 (IPCC, 2006), svarer reduktionen til emissionen for ikke-bioforgasset gylle, hvilket er estimeret til 11,5 kg CO₂-ækv/ton gødning. Altså vil bioforgasning af svinegylle i emissionsopgørelserne og fremskrivninger have en samlet reduktion i N₂O-emissionen på 10,7 kg CO₂-ækv/ton gødning. Der er en væsentlig forskel mellem effekten for N₂O-emission af bioforgasning imellem emissionsopgørelserne og beregningerne i klimaeffekttabellen, da reduktionen fra lagring ikke er medregnet i klimaeffekttabellen.

2.3.2 Effekt på LULUCF opgørelsen

Effekten ved ikke at have en opdeling i ubehandlet husdyrgødning og bioforgasset gødning på emissionsopgørelsen anses at være begrænset og skal primært tillægges en lille tidsmæssig forskydning i jordernes absolutte C-indhold. Se kapitel 1.3.2.

3 Biogas m. gyllekøling i svinestalden

3.1 Beskrivelse af virkemiddel

Bioforgasning af gylle kombineret med køling af gyllen i stalden giver et større reduktionspotentiale for metanemissionen end de to behandlinger hver for sig. Køling i stalden reducerer omdannelsen af VS (volatile solids) til CH₄, hvilket giver et større potentiale for emission i lagret, men det sker ikke, da gyllen køres til biogasanlægget og emissionen opsamles der.

For nærmere beskrivelse af bioforgasning og gyllekøling se hhv. kapitel 1 og 15.

3.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

For beregningerne til klimaeffekttabellen er antaget, at metanemissionen fra svinegylle er 2,39 kg CH₄/ton gødning (Petersen et al., 2020) og fordelingen af emissionen er 69% fra stalden og 31% fra lageret. Gyllekøling giver en reduktion på 40% af staldemissionen og en 40% forøgelse af potentialet for metanemissionen fra lageret, som uden biogas ville give en meremission fra lagret på $2,39 \cdot 0,31 \cdot 0,4$ kg CH₄/ton. Men gyllen bliver ikke lagret i dette scenarie, men derimod sendt til biogasanlæg, og derfor er det større potentielle tab taget med i det reduktionspotentiale, som er beregnet til klimaeffekttabellen (Petersen, 2021). I biogasnotat (Petersen et al., 2020) blev effekten af biogasbehandling af svinegylle opgjort til 17 % af den samlede emission (2,39 kg CH₄/ton gødning), men biogasbehandling påvirker kun emission fra lageret, og derfor svarer de 17% af den samlede emission til 55% ($17/31 \cdot 100$) af lageremissionen.

Effekten i klimaeffekttabellen er beregnet, som følger:

$$2,39 \text{ CH}_4/\text{ton gødning} \cdot (0,69 \cdot 0,4 + 0,31 \cdot 1,4 \cdot 0,55) \cdot 25 \text{ kg CO}_2\text{-ækv/kg CH}_4 = 31 \text{ kg CO}_2\text{-ækv/ton gødning}$$

Hvor:

0,69	= andel emission fra stalden
0,4	= reduktion i stalden pga. gyllekøling
0,31	= andel emission fra lagret
1,4	= meremission i lagret pga. gyllekøling
0,55	= andel reduktion pga. bioforgasning

Der er angivet en reduktion i N₂O i klimaeffekttabellen, denne formodes, at skyldes reduktion af indirekte N₂O fra NH₃-emissionen. I Hutchings et al. (2020) er det angivet, at der er regnet med 40 % reduktion i NH₃-emissionen fra stalden, men det er også nævnt, at dette er for højt sat.

Beregningseksempel N₂O, der er valgt at regne på staldtypen ”Slagtesvin, Delvis spaltegulv med 25-49% fast gulv”, da det er en af de mest udbredte staldtyper i 2020, samt at det forventes at blive det mest udbredte i fremtiden:

Reduktion i NH₃:

$$\text{Stald: } 0,33 \text{ kg NH}_3\text{-N} \cdot 0,4 = 0,13 \text{ kg NH}_3\text{-N}$$

Per ton gødning: $0,13 \text{ kg NH}_3\text{-N} / 0,54 \text{ ton gødning} = 0,24 \text{ kg NH}_3\text{-N} / \text{ton gødning}$

N_2O :

$0,24 \text{ kg NH}_3\text{-N} / \text{ton gødning} * 0,01 \text{ kg N}_2\text{O-N} / \text{kg NH}_3\text{-N} * 44 / 28 * 298 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{kg N}_2\text{O} = 1,1 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{ton gødning}$

Effekten varierer lidt alt efter hvilken dyretype (søer, smågrise, slagtesvin) og staldtype, man beregner for. For eksemplet givet ovenfor er effekten lidt højere end angivet i klimaeffekttabellen, mens den for andre dyretyper / staldtyper er lidt lavere.

Tabel 3.1. Drivhusgaseffekter, kg CO₂-ækvivalenter pr. ton husdyrgødning.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0	31	1,0	24	56

Opdateres beregningen med tallene brugt i 2022 afleveringen af emissionsopgørelserne for året 2020, er effekten af biogasbehandling af svinegylle estimeret til 22 % af den samlede emission (2,39 kg CH₄/ton gødning), men som nævnt ovenfor påvirker biogasbehandling kun emission fra lageret, og derfor svarer de 22% af den samlede emission til 71 % ($22 / 31 * 100$) af lageremissionen.

Effekten bliver: $2,39 \text{ CH}_4 / \text{ton gødning} * (0,69 * 0,4 + 0,31 * 1,4 * 0,71) * 25 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{kg CH}_4 = 35 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{ton gødning}$

Hvor:

0,69 = andel emission fra stalden

0,4 = reduktion i stalden pga. gyllekøling

0,31 = andel emission fra lagret

1,4 = meremission i lagret pga. gyllekøling

0,71 = andel reduktion pga. bioforgasning

Normtallene for staldemission for "Slagtesvin, delvis spaltegulv med 24-49% fast gulv" er stort set det samme i normtal 2015 og normtal brugt i 2022 afleveringen af emissionsopgørelserne, så effekten for N₂O bliver det samme.

3.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Køling af svinegylle indgår i emissionsopgørelserne, men kun med en reduktionseffekt for NH₃. Der indregnes ikke reduktionseffekt for CH₄, da der manglende valid dokumentation for reduktionseffekten for CH₄.

Effekt af bioforgasning af gylle indgår også i emissionsopgørelserne, men en kombination af gyllekøling og bioforgasning indgår ikke. For at dette skal kunne indgå i emissionsopgørelserne, kræver det dokumentation af CH₄-reduktionseffekten af gyllekøling og aktivitetsdata for hvor mange og hvilke typer af stalde, der har gyllekøling kombineret med bioforgasning af gyllen.

I fremskrivningerne indgår køling af svinegylle både med en reduktionseffekt for NH₃ og CH₄, og der indgår også effekt af bioforgasning, men der indgår ikke kombination af gyllekøling og bioforgasning. Reduktionseffekten af CH₄

for gyllekøling er antaget at være 20% af den samlede emission fra stald og lager (Hansen et al., 2015).

CO₂/energiforbrug indgår ikke i emissionsopgørelserne for landbrugssektoren, men er inkluderet i energisektoren.

3.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Det er ikke muligt at estimere en effekt af kombinationen af gyllekøling og bioforgasning med den beregningsmodel, der bruges for nuværende til emissionsopgørelserne og fremskrivningerne.

3.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Effekten ved ikke at have en opdeling i ukølet husdyrgødning og kølet gødning på emissionsopgørelsen anses at være meget begrænset og skal primært tillægges en lille tidsmæssig forskydning i jordernes absolutte C-indhold. Se kapitel 1.3.2.

4 Biogas m. hyppig udslusning i svinestalden

4.1 Beskrivelse af virkemiddel

Bioforgasning af gylle kombineret med hyppig udslusning af gyllen fra stalden giver et større reduktionspotentiale for metanemissionen end de to behandlinger hver for sig. Hyppig udslusning af gyllen fra stalden reducerer omdannelsen af VS til CH₄ inde i stalden, hvilket giver et større potentiale for emission i lagret, men det sker ikke, da gyllen køres til biogasanlægget og emissionen opsamles der.

For nærmere beskrivelse af bioforgasning og hyppig udslusning se hhv. kapitel 1 og 14.

4.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

For beregningerne til klimaeffekttabellen er antaget, at metanemissionen fra svinegylle er 2,39 kg CH₄/ton gødning (Petersen et al., 2020) og fordelingen af emissionen er 69 % fra stalden og 31 % fra lageret. Hyppig udslusning giver en reduktion på 40 % af staldemissionen og en 40 % forøgelse af potentialet for metanemissionen fra lageret, som uden biogas ville give en meremission fra lagret på $2,39 \cdot 0,31 \cdot 0,4$ kg CH₄/ton. Men gyllen bliver ikke lagret i dette scenarie, men derimod sendt til biogasanlæg, og derfor er det større potentielle tab taget med i det reduktionspotentiale, som er beregnet til klimaeffekttabellen (Petersen, 2021). I biogasnotat (Petersen et al., 2020) blev effekten af biogasbehandling af svinegylle opgjort til 17 % af den samlede emission (2,39 kg CH₄/ton gødning), men biogasbehandling påvirker kun emission fra lageret, og derfor svarer de 17% af den samlede emission til 55% ($17 / 31 \cdot 100$) af lageremissionen.

Effekten i klimaeffekttabellen er:

$$2,39 \text{ CH}_4/\text{ton gødning} \cdot (0,69 \cdot 0,4 + 0,31 \cdot 1,4 \cdot 0,55) \cdot 25 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{kg CH}_4 = 31 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{ton gødning}$$

Hvor:

0,69	= andel emission fra stalden
0,4	= reduktion i stalden pga. gyllekøling
0,31	= andel emission fra lagret
1,4	= meremission i lagret pga. gyllekøling
0,55	= andel reduktion pga. bioforgasning

Tabel 4.1. Drivhusgaseffekter, kg CO₂-ækvivalenter pr. ton husdyrgødning.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0	31	0	24	55

Opdateres beregningen med tallene brugt i 2022 afleveringen af emissionsopgørelserne for året 2020, er effekten af biogasbehandling af svinegylle estimeret til 22% af den samlede emission (2,39 kg CH₄/ton gødning), men som nævnt ovenfor påvirker biogasbehandling kun emission fra lageret, og derfor svarer de 22% af den samlede emission til 71 % ($22 / 31 \cdot 100$) af lageremissionen.

Effekten bliver: $2,39 \text{ CH}_4/\text{ton gødning} \cdot (0,69 \cdot 0,4 + 0,31 \cdot 1,4 \cdot 0,71) \cdot 25 \text{ kg CO}_2\text{-ækv}/\text{kg CH}_4 = 35 \text{ kg CO}_2\text{-ækv}/\text{ton gødning}$

Hvor:

0,69	= andel emission fra stalden
0,4	= reduktion i stalden pga. gyllekøling
0,31	= andel emission fra lagret
1,4	= meremission i lagret pga. gyllekøling
0,71	= andel reduktion pga. bioforgasning

4.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Hyppig udslusning af svinegylle indgår ikke i emissionsopgørelserne for nuværende, da der ikke forefindes aktivitetsdata, men det indgår i fremskrivningerne fra 2022 (KF22, 2022). Når det er muligt at finde aktivitetsdata for hyppig udslusning, vil det blive inkluderet i emissionsopgørelserne.

CO₂/energiforbrug indgår ikke i emissionsopgørelserne for landbrugssektoren, men er inkluderet i energisektoren.

4.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Rettes tallet for HRT-dage (Hydraulic Retention Time) i modellen, der beregner MCF (Methane Conversion Factor), som bruges i de nationale emissionsopgørelser og fremskrivninger, fra 18 dage (gennemsnit antal HRT-dage for svinegylle i 2020) til 7 dage, giver det en forskel på MCF for bioforgasset svinegylle på -54 %, og det svarer til en reduktion på 32 kg CO₂-ækv / ton gødning, altså vil effekten i beregningerne i emissionsopgørelserne og fremskrivningerne være i samme størrelsesorden, som effekten angivet i klimaeffekttabellen.

Tabel 4.2: Emission og reduktion for bioforgasset svinegylle kombineret med hyppig udslusning, beregnet med MCF-modellen, der bruges i de nationale emissionsopgørelser og fremskrivninger.

	Bioforgasset gylle
Emission, kg CH ₄ /ton gødning	2,39
Reduktion i MCF, %	-54
Reduktion, kg CH ₄ /ton gødning	-1,29
Reduktion, kg CO ₂ -ækv/ton gødning	-32,1

4.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Effekten ved hyppigere udslusning vil alt andet lige give en meget lille stigning i mængden af organisk stof i lageret, hvor dette hurtigt vil nedbrydes. Det vurderes ikke at have en effekt på LULUCF-opgørelsen. Se kapitel 1.3.2.

5 Braklægning (slåningsbrak; ikke permanent udtagning)

5.1 Beskrivelse af virkemiddel

Dette tiltag omfatter øget braklægning af landbrugsjord og forstås som brakarealer, hvorpå der fortages slåning, og det betragtes som arealer, der fortsat indgår i det dyrkede areal og er dermed ikke arealer, der tages ud til permanent braklægning. I Olesen et al. (2018) er nævnt, at braklægningen indebærer, at arealet ikke dyrkes i en periode på mindst ét år og maksimalt fire år.

Dyrkning af arealerne påvirker først og fremmest den direkte N₂O-emission, dvs. emission fra afgrøderester (den del af planten som efterlades på marken efter høst), og N₂O-emission fra kvælstofgødsning til marken. Men der sker samtidig en ændring i den indirekte N₂O-emission, som er knyttet til ammoniakemissionen og fra kvælstofudvaskningen til rodzone, vandløb og hav. Ændring i arealanvendelsen har ligeledes en betydning for ændring i CO₂-udledning/optag i jorden, hvis effekt beregningsmæssigt inkluderes i LULUCF-sektoren

Ændring til øget brakareal vil også have betydning for anvendelsen af fossile brændstoffer til landbrugsmaskiner ved jordbehandling, og emissioner herfra indgår i energisektoren.

5.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

I klimaeffekttabellen fremgår det, at der forventes en samlet reduktion i drivhusgasemission på 2,6 ton CO₂-ækv/ha, heraf en ændring på 1,2 ton CO₂-ækv/ha for landbrugssektoren, 1,1 CO₂-ækv/ha for LULUCF sektoren og 0,3 ton CO₂-ækv/ha for energisektoren.

Tabel 5.1 Drivhusgaseffekter, ton CO₂-ækvivalenter pr. ha.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
1,1	0	1,2	0,3	2,6

I emissionen fra landbrugssektoren skelnes mellem direkte og indirekte N₂O-emission, hvor den direkte emission i klimaeffekttabellen er beregnet til 1.030 kg CO₂-ækv/ha, mens den indirekte emission er beregnet til 122 kg CO₂-ækv/ha. Beregningen er baseret på den endelige udgave af Eriksen et al. (2020), samt Excel-regneark, der ligger til grund herfor. Nedenfor i tabel 5.2 er vist data og beregningsgrundlag anvendt til estimering af effekt i klimaeffekttabellen (Petersen, 2020).

Tabel 5.2 Estimat angivet i klimaeffekttabel, baseret på information og data givet i Eriksen et al., 2020.

Landbrugssektoren	Klimaeffekttabel kg CO ₂ -ækv/ha
Direkte emission:	1.030
Gødskning	848
Afgrøderester	182
Indirekte emission:	122
NH ₃ -emission	49
N-udvaskning	73
	Ton CO₂-ækv/ha
Total landbrug	1,2

I beregningen i klimaeffekttabellen er antaget en gennemsnitlig N-tildeling på 181 kg N / ha, estimeret på baggrund af data fra den nationale emissionsopgørelse afleveret i 2020, hvor senest opgjorte år var 2018. Tallet er fremkommet ved at dividere summen af total N udbragt (handelsgødning, husdyrgødning (NabLager) og græsning), med det totale dyrkede areal i Danmark (Danmarks Statistik).

For afgrøderester er antaget et gennemsnitligt N-indhold på 39 kg N / ha, ligeledes baseret på data fra den nationale opgørelse rapporteret i 2020, fremkommet ved at dividere det totale N-indhold i afgrøderester med det totale dyrkede areal i Danmark (Danmarks Statistik).

Ved beregning af ammoniakemissionen er anvendt en NH₃-emissionsfaktor på 0,06 kg NH₃-N / kg N udbragt, baseret på data fra den nationale emissionsopgørelse rapporteret i 2020. Emissionsfaktoren er baseret på et gennemsnit af NH₃-emissionen fra handelsgødning og husdyrgødning.

Ved beregning af emission fra N-udvaskning er antaget en N-udvaskning fra arealer med kortvarig brak på 27 kg N / ha, mens udvaskning fra referenceareal er estimeret til 61 kg N / ha, hvilket giver en reduktion på 34 kg N / ha for omlægning til kortvarig brak. Andelen af N, der forventes at blive udvasket til rodzone, vandløb og hav, er baseret på data fra den nationale opgørelse afleveret i 2020, som er estimeret til 0,0046 kg N₂O-N per kg N udbragt.

Opdatering i forhold til den seneste afleverede nationale opgørelse i 2022 vil betyde en forventet reduktion på i alt 1,1 ton CO₂-ækv / ha, hvilket er på samme niveau, som estimeret i klimaeffekttabellen (tabel 5.3). Ændringen i N₂O-emissionen som følge af et øget brakareal vil i udgangspunktet blive beregnet på samme måde i den nationale emissionsopgørelse, som den beregning der ligger til grund for klimaeffekttabellen. Som referencesituation er anvendt areal med dyrkning af korn, fordi kornafgrøder udgør ca. 55 % og græs ca. 25% af det samlede dyrkede areal i Danmark, hvorfor en ændring i arealanvendelsen til f.eks. øget græsareal, brak, vådområde, overvejende forventes at ske på bekostning af kornarealet.

I bilag 1 er redegjort for antagelser og beregning af emissionen i relation til referencesituationen baseret på data fra emissionsopgørelse 2022 afleveringen.

I tabel 5.3 ses beregningsgrundlag for ændring i N₂Oemission som følge af ændring i arealanvendelsen fra korn (referencesituation) til slåningsbrak. Beregningen tager udgangspunkt i 2022 afleveringen.

- I referencesituationen er antaget en N-gødsning på 171 kg N/ha, og da det antages, at brakarealet ikke gødes (Eriksen et al., 2020), er den beregnede reduktion på 171 kg N/ha. Det forventes, at et øget brakareal ikke vil påvirke produktionen og forbruget af husdyrgødning, så reduktion i N-gødsningen forventes at ske alene for anvendelsen af handelsgødning. I 2022 afleveringen er den gennemsnitlige emissionsfaktor for ammoniak 0,04 kg NH₃-N per kg N udbragt i handelsgødning.
- I referencesituationen er antaget et gennemsnitligt N-indhold i afgrøderester på 64 kg N/ha baseret på gennemsnittet opgjort i den nationale opgørelse for årene 2010-2020. Areal med slåningsbrak antages at svare til det samme som græs uden for rotation med ompløjning hvert tredje år, hvilket i 2022 afleveringen svarer til et N-indhold i afgrøderester på 23 kg N/ha.
- I referencesituationen er antaget en gennemsnitlig N-udvaskning på 60 kg N/ha baseret på data fra 2022 afleveringen for perioden 2010-2020. I Eriksen et al. (2020) s.118, er der for slåningsbrak antaget et estimat for N-udvaskningen på 27 kg N/ha, baseret på 30 observationer med variation på 3-66 kg N/ha.

På baggrund af ovenstående antagelser forventes en ændring fra referencesituationen (korn) til slåningsbrak i den nationale emissionsopgørelse at give anledning til en lavere emission, svarende til 1,1 CO₂-ækv/ha. I tabel 5.3 er vist fordelingen af emissionen på de direkte og indirekte emissionskilder. I bilag 2 er vist beregningsgrundlag for ændringen for de enkelte emissionskilder.

Tabel 5.3 Beregning af forventet reduktion ved braklægning (slåningsbrak) i forhold til referencesituation (korn).

Sub2022 opdatering		Reference-situation	Braklægning	Konsekvens
Direkte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	1.104	108	996
Gødsning	kg CO ₂ -ækv/ha	802	0	802
Afgrøderester	kg CO ₂ -ækv/ha	302	108	194
Indirekte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	164	59	105
NH ₃ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	32	0	32
N-udvaskning	kg CO ₂ -ækv/ha	132	59	73
Total landbrug	ton CO ₂ -ækv/ha	1,27	0,17	1,10

5.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

I den nationale emissionsopgørelse er arealet og allokeringen på de forskellige afgrødetyper baseret på data fra Danmarks Statistik. En ændring i arealet med brak vil derfor blive afspejlet direkte i opgørelsen, og må forventes at føre til fald i anvendelsen af handelsgødning, lavere emission fra afgrøderester og lavere ammoniakemission. Endvidere må forventes et fald i N-udvaskningen, fordi der gødes mindre, og der er en lavere N-udvaskning fra brakareal sam-

menlignet med kornareal. I emissionsopgørelsen anvendes data for N-udvaskningen på landsplan, udarbejdet af Institut for Ecoscience, Aarhus Universitet. Ændringer i N-udvaskningen vil blive afspejlet i Ecoscience opgørelse og dermed blive reflekteret i emissionsopgørelsen.

I emissionsfremskrivningen er det dyrkede areal baseret på fremskrivning med AGMEMOD-modellen varetaget af IFRO, Københavns Universitet, dog indgår der heri ikke antagelse om brakareal. I fremskrivningen er antaget, at brakarealet fastholdes på samme niveau som i 2020, mens der for arealet med vedvarende græs er antaget en forventning om øget areal, som følge af tiltag som GLM8 (krav om ikke-produktive elementer), samt Eco-schemes for biodiversitet og ekstensivering med slæt.

5.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Konsekvensen for ændringen i drivhusgasser som følge af et øget areal med brak, afhænger i høj grad af hvilke arealer, der overgår til brak. Dog kan det forventes, at et øget brakareal vil være på bekostning af kornarealet, og at reduktionen i gødskning må være en reduktion i anvendelsen af handelsgødning, da et øget brakareal givetvis ikke vil have indflydelse på husdyrproduktionen. I emissionsopgørelsen vil der blive anvendt samme beregning som anvendt i baggrundsberegningen for estimatet angivet i klimaeffekttabellen, dog med de ændringer som er angivet for opdatering med data fra emissionsopgørelse 2022 afleveringen – se tabel 5.3, og på baggrund heraf vurderes det, at den estimerede reduktion i CO₂-emissionen stemmer fint overens med den reduktion, som forventes at blive afspejlet i emissionsopgørelsen.

5.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Effekten på LULUCF-opgørelsen, dvs. ændringer i kulstoflagringen i jord og som følge af ændringer i den stående levende biomasse, er opgjort i nedenstående.

Kulstofmængden i den levende biomasse ved en arealomlægning fra omdriftsareal til slåningsbrak medfører et engangstab i opgørelsen på grund af omlægningen fra et gennemsnitligt C-indhold på 5,9 ton C/ha til 4,6 ton C/ha svarende til et initialtab på 1,3 ton C/ha i omlægningsåret. Ved en evt. returlægning til omdrift øges den stående kulstofmængde på arealet tilsvarende.

Kulstofændringen i jord er beregnet med en særkørsel med C-TOOL. C-TOOL er en dynamisk 3-puljet model, som årligt beregner kulstoflageret i landbrugsjorden ned til én meters dybde. De tre puljer er hhv. benævnt FOM (Fresh Organic Matter), HUM (Humified Organic Matter) og ROM (Resilient Organic Matter). FOM-puljen udgøres af uomsatte planterester og udgør ca. 2 % af den samlede kulstofmængde. HUM er delvis omsat materiale og udgør 30-50 % af det totale organiske kulstof og ROM udgør 50-70 % af det organiske kulstof. FOM betragtes ikke som en del af jordens kulstofpulje og indgår ikke i opgørelsen. HUM-puljen har en halveringstid på 20-30 år og ROM-puljen en halveringstid på 400-600 år.

Ud fra en opgørelsesbetragtning er det derfor mest relevant at se på udviklingen i HUM-puljen. Den årlige emission/binding af CO₂ er forskellen mellem opgørelsen af to på hinanden følgende år. Modellen er temperaturafhængig.

Til brug for vurderingerne er der foretaget kørsler med den nuværende modelopsætning og de i den nationale emissionsopgørelses data frem til og med 2020, hvorefter der er foretaget simuleringer med de nedenfor nævnte ændringer i arealanvendelse frem til og med 2040, hvilket kan sidestilles med en Klimafremskrivning i lighed med KF22.

Den nationale opsætning med C-TOOL beregner det organiske kulstoflager i jorden på 20 underopdelinger af mineraljorden i Danmark på hhv. otte landsdele og to eller tre jordtyper i hver landsdel, hhv. sand (FK1), lerblandet sand (FK2-3) og sandblandet ler (FK4-6). På øerne anvendes to jordtyper, mens der for Jylland også inkluderes sandjord (FK1). Organiske jorder er udeladt af beregningerne. Som følge af at ethvert areal har sin egne historik omkring udviklingen i kulstofindholdet, har det været nødvendigt at foretage kørsler som omfatter alle 20 underopdelinger. Grundlæggende betyder det, at da ROM-puljen har en meget langsom omsætning, er mængden af organisk kulstof i HUM-puljen bestemmende for effekten på den nationale opgørelse indenfor en kort tidshorisont. Sandjorderne er karakteriseret ved at mængden af HUM er mindre end på lerjorder, hvorfor en ændring i det årlige input af organisk materiale her, har en mindre effekt end en tilsvarende ændring på lerjord med dens højere indhold af dynamisk HUM.

Til at beregne effekten af en braklægning er der foretaget følgende antagelser om den fremtidige arealanvendelse:

- Udtagning til brak medfører en 1:1 nedgang i arealet med salgsafgrøder
- Arealet med grovfoder, kartofler, sukkerroer og frøgræs fastholdes på underniveau, fordi det forventes uændret efterspørgsel på disse afgrøder
- Efterspørgslen af halm til foder, strøelse og energiformål forventes uændret. Det betyder, at ved overgang til brak vil det kun være arealer, hvor halmen ikke fjernes, som vil overgå til brak. Hermed vil en manglende halmmængde, som produceres på det gældende areal ikke fremover indgå i jordens organiske kulstofpulje
- Som følge af en nedgang i arealet med salgsafgrøder nedsættes også efterafgrødegrundarealet. De nuværende krav til efterafgrøder er 10,7 % af hvor der udbringes mindre end 80 kg N i husdyrgødning per ha, og 14,7 % hvor der udbringes mere end 80 kg N i husdyrgødning per ha. I disse beregninger anvendes en nedgang på arealet med efterafgrøder med 10,7 % i forhold til efterafgrødekravet. Det nuværende kulstofinput til C-TOOL som følge af efterafgrøder er 2,12 ton C/ha til overjorden og 0,1 ton C/ha til underjorden. Det årlige C-input fra efterafgrøder er reduceret til 10,7 % af disse værdier (LBST, 2022b)
- De forskellige salgsafgrøder har forskellig tilbageførsel af biomasse til jorden. Anvendelsen af salgsafgrøder varierer mellem de 20 forskellige arealkategorier. F.eks. er vinterhvede med de højere udbytter mere dominerende på de sandblandede lerjorde end på sandjorde. I beregningerne er anvendt de fem mest dominerende salgsafgrøder: Vårbyg, havre, vinterbyg, vinterhvede, rug og vinterraps. For hver arealkategori er fordelingen mellem disse fem afgrøder estimeret for

2020. Denne arealfordeling er herefter anvendt til at beregne et årligt gennemsnitligt C-input for den pågældende arealklasse med gennemsnitsudbyttet fra Danmarks Statistik for de sidste fem år.

- Danmarks Statistiks høstudbytter er på landsdelsniveau. Ud fra en general betragtning om at høstudbytterne varierer mellem jordtyper, er der foretaget et teknisk arealkorrigeret re-allokering af udbytteopgørelsen fra Danmarks Statistik ud fra forskellene i standardudbytterne i Gødningsvejledningen (LBST, 2022a) til jordtypeniveau
- Inputvariablerne til C-TOOL for græs er begrænset til kun to variabler. Hhv. 8,1 ton C/ha/år til overjorden for græs i omdrift og 3,6 ton C/ha/år for vedvarende græs. For underjord hhv. 0,64 ton og 0,4 ton C/ha/år (DCA, 2016). DCE har ikke et datagrundlag som beskriver forskelle i forskellige typer braks input af organisk materiale til jorden hvorfor de forskellige braktyper er behandlet ens.
- I beregningerne er der ikke taget hensyn til en evt. fjernelse af høstet biomasse fra brakarealerne. Hvis biomassen på brakarealerne efterlades vil dette have en positiv effekt i forhold beregningerne. Omfanget af dette er ikke vurderet.
- Fremskrivningen til 2040 er foretaget med den gennemsnitlige temperaturstigning for RCP4.5 ud fra 100 scenariekørsler foretaget af DMI. RCP4.5 er et scenarie for den globale opvarmning stabiliseret med 4,5 W/m² i år 2100.
- Der er ikke taget stilling til hvilke arealer og antal hektar, der kan overgå til Brak/Slåningsbrak
- Resultaterne er opgivet per ha og følger standardrapporteringen til UNFCCC, hvor en emission/kilde opgøres med positivt fortegn og en kulstoflagring med negativt fortegn

Resultater

I tabel 5.4 er vist de beregnede C-input pr. ha for de 20 underopdelinger. I 18 ud af de 20 underopdelinger er gennemsnits C-inputtet som gennemsnittet af årene 2016-2020 (de årlige opgørelser) højere end det forventede C-input fra brakgræs. De årlige C-input er summen af de dyrkede afgrøder inkl. græs og halmfjernelse. Anden kolonne er et beregnet C-input fra de forventede salgsafgrøder, som mistes (inkl. halm) ved at etablere brakarealer. Denne er typisk større end det gennemsnitlige input i anden kolonne, fordi denne kolonne omfatter arealer, hvor halmen fjernes, og afgrøder, som kartofler, majs og roer med meget lav biomassetilbageførsel. Tredje kolonne er det kulstofinput for vedvarende græs, der er anvendt i beregningerne, og sidste kolonne er ændringen i den årlige C-tilførsel per ha. Kun for sandjord (FK1) i Sydjylland forventes en stigende C-tilførsel som følge af braklægningen. Det skyldes primært, at der er en stor andel af vårbyg med lavt høstudbytte, som erstattes af brakgræs i Sydjylland. På sandjord i Nordjylland forventes ingen ændring. På alle 18 andre jordtyper beregnes en nedgang i de årlige C-input. Den nederste linje i tabellen ses den gennemsnitlige ændring som et simpelt og ikke arealvægtet gennemsnit.

Tabel 5.4. Beregnet nuværende C-input til de 20 underopdelinger og forventet ændring ved overgang til brak.

Jordtype		Gennemsnit in- put 2016-2020, ton C/ha/år	Forventet input fra salgsafgrøde, ton C/ha/år	Forventet input fra brakgræs, ton C/ha/år	Ændring fra salgs- afgrøde til brak, ton C/ha/år
Bornholm	Sandblandet ler, FK 2-3	3,9	4,8	4,0	-0,8
Bornholm	Sandblandet ler, FK 4-6	4,5	5,1	4,0	-1,1
Nordsjælland	Lerblandet sand, FK 2-3	4,5	4,7	4,0	-0,7
Nordsjælland	Sandblandet ler, FK 4-6	4,8	4,7	4,0	-0,7
Region Sjælland	Lerblandet sand, FK 2-3	3,9	5,0	4,0	-1,0
Region Sjælland	Sandblandet ler, FK 4-6	4,4	5,2	4,0	-1,2
Landsdel Fyn	Lerblandet sand, FK 2-3	3,7	4,9	4,0	-0,9
Landsdel Fyn	Sandblandet ler, FK 4-6	4,3	4,7	4,0	-0,7
Landsdel Syddjylland	Sandjord, FK1	4,2	3,8	4,0	0,2
Landsdel Syddjylland	Lerblandet sand, FK 2-3	4,2	4,4	4,0	-0,4
Landsdel Syddjylland	Sandblandet ler, FK 4-6	4,5	5,0	4,0	-1,0
Landsdel Østjylland	Sandjord, FK1	4,3	4,2	4,0	-0,2
Landsdel Østjylland	Lerblandet sand, FK 2-3	4,1	4,9	4,0	-0,9
Landsdel Østjylland	Sandblandet ler, FK 4-6	4,7	5,2	4,0	-1,2
Landsdel Vestjylland	Sandjord, FK1	4,1	3,8	4,0	0,2
Landsdel Vestjylland	Lerblandet sand, FK 2-3	4,1	4,5	4,0	-0,5
Landsdel Vestjylland	Sandblandet ler, FK 4-6	4,6	4,9	4,0	-0,9
Region Nordjylland	Sandjord, FK1	4,4	4,0	4,0	0,0
Region Nordjylland	Lerblandet sand, FK 2-3	4,2	4,6	4,0	-0,6
Region Nordjylland	Sandblandet ler, FK 4-6	4,7	4,9	4,0	-0,9
Gennemsnit	Alle jordtyper, ej organiske	4,3	4,7	4,0	-0,7

I tabel 5.5 er vist de beregnede effekter på mineraljordernes C-indhold som et gennemsnit over perioden 2021-2030 og 2021-2040. Der er ingen væsentlige forskelle, om man ser på en 10-årig eller en 20-årig tidshorisont. Effekten på jordens kulstofpulje afhænger af jordens udgangspunkt for kulstofpuljen og især fordelingen mellem HUM og ROM. På sandjorde har DCA vurderet, til brug i den nationale opsætning, at der er en lille HUM-pulje. Det gør, at nedbrydningspotentialet her er mindre end på mere lerrige jorder. En konsekvens af dette er, at der på nogle sandjorde, selvom der ved overgang til brakgræs beregnes en nedgang i det årlige kulstof-input, stadig kan ske en samlet opbygning af jordens kulstofpulje, dog på et mindre niveau.

I beregningerne er der ikke skelnet mellem slåningsbrak og permanent brak, da DCE ikke har det fornødne datagrundlag for at skelne mellem disse to braktyper. Generelt gælder, at for alle jordtyper, undtagen sandjord i Syddjylland, Vestjylland og Nordjylland, kommer der til at ske et fald i kulstofindhold ved udtagning af salgsafgrøder og overgang til braklægning. Gennemsnitligt forventes det, at ved overgang fra en blandet salgsafgrøde til permanent brak/slåningsbrak vil der ske et årligt tab på 0,36 ton CO₂/ha/år (svarende til en tilsvarende stigning i de årlige udledninger) og ikke den i klimaeffekttabellen opførte opbygning på 1,1 ton CO₂/ha/år. Klimaeffekttabellens opgørelse er for en ikke nærmere angivet tidsperiode og for en ikke angivet jordtype. Dette kan med den nuværende opsætning og med de opstillede forudsætninger ikke gendrives med simuleringskørslerne med C-TOOL.

Tabel 5.5. Beregnede ændringer i kulstofbalancen for perioden 2021-2030 og 2021-2040 ved omlægning af én hektar salgsafgrøde til slåningsbrak. Tallene er opgjort i ton/ha.

Jordtype		Gennemsnitligt ændring, ton C/ha/år 2021-2030	Gennemsnitligt ændring, ton C/ha/år 2021-2040	Gennemsnitligt ændring, ton CO ₂ /år 2021-2030	Gennemsnitligt ændring, ton CO ₂ /år 2021-2040
Bornholm	Lerblandet sand, FK 2-3	0,12	0,11	0,45	0,41
Bornholm	Sandblandet ler, FK 4-6	0,19	0,17	0,69	0,64
Nordsjælland	Lerblandet sand, FK 2-3	0,10	0,09	0,35	0,33
Nordsjælland	Sandblandet ler, FK 4-6	0,12	0,11	0,45	0,42
Region Sjælland	Lerblandet sand, FK 2-3	0,14	0,13	0,52	0,48
Region Sjælland	Sandblandet ler, FK 4-6	0,21	0,19	0,77	0,71
Landsdel Fyn	Lerblandet sand, FK 2-3	0,14	0,13	0,51	0,47
Landsdel Fyn	Sandblandet ler, FK 4-6	0,12	0,11	0,45	0,42
Landsdel Syddjylland	Sandjord, FK1	-0,03	-0,03	-0,10	-0,09
Landsdel Syddjylland	Lerblandet sand, FK 2-3	0,06	0,06	0,23	0,21
Landsdel Syddjylland	Sandblandet ler, FK 4-6	0,17	0,16	0,62	0,58
Landsdel Østjylland	Sandjord, FK1	0,02	0,02	0,09	0,09
Landsdel Østjylland	Lerblandet sand, FK 2-3	0,13	0,12	0,46	0,43
Landsdel Østjylland	Sandblandet ler, FK 4-6	0,20	0,19	0,75	0,69
Landsdel Vestjylland	Sandjord, FK1	-0,03	-0,02	-0,09	-0,09
Landsdel Vestjylland	Lerblandet sand, FK 2-3	0,08	0,07	0,29	0,27
Landsdel Vestjylland	Sandblandet ler, FK 4-6	0,14	0,13	0,53	0,49
Region Nordjylland	Sandjord, FK1	0,00	0,00	-0,01	-0,01
Region Nordjylland	Lerblandet sand, FK 2-3	0,08	0,08	0,30	0,28
Region Nordjylland	Sandblandet ler, FK 4-6	0,16	0,15	0,58	0,54
Gennemsnit	Alle jordtyper, ej organiske	0,11	0,10	0,39	0,36

Olesen et al. (2018) angiver: ”Kulstoflagring på mineralisk jord afhænger af, om der er bælgeplanter i plantedækket eller ej, hvor f.eks. kløver i et græs-dække øger kulstoflagringen i forhold til græs uden kløver. Det forudsættes her, at der ikke gødes og ikke er bælgeplanter i plantebestanden. Med disse forudsætninger for en brak, der jævnlige ompløjes, er der med C-TOOL beregnet en årlig kulstoflagring på 140 kg C/ha eller svarende til ca. 500 kg CO₂/ha. Dette svarer til den kvælstofmængde, der kan lagres i jorden med en kvælstofdeposition på ca. 20 kg N/ha og et C:N forhold i jorden på ca. 10.” Det fremgår ikke, hvilken C-TOOL opsætning Olesen et al. (2018) har anvendt som forudsætning for beregningerne, og DCE kan derfor ikke vurdere, hvori forskellene ligger.

I Blicher-Mathisen et al. (2020) s. 122 sidestilles kortvarig slåningsbrak og permanent udtagning til at give samme ovennævnte kulstoflagring på 1,1 ton CO₂/ha/år som angivet i klimaeffekttabellen. Da flere parametre påvirker outputtet, er det ikke muligt at pege på enkelte faktorer. Dette kan dels være at forudsætningerne for at beregne de 1,1 ton CO₂, som angivet i klimaeffekttabellen, ikke er retvisende for en ugødet braklægning, eller at de af DCA producerede inputfaktorer til C-TOOL ikke er sammenlignelige for en braklægning, herunder C-inputtet og initialiseringsfaktorerne.

6 Efterafgrøder

6.1 Beskrivelse af virkemiddel

Etablering af efterafgrøder har til formål at øge kvælstofoptagelse i vintersæsonen og dermed medvirke til en reduktion i risikoen for udvaskning til vandmiljøet og et øget kulstofoptag i jorden. Efterafgrøders kvælstofoptag kommer hovedsageligt fra mineralisering af organisk bundet kvælstof i jorden eller fra efterladt gødningskvælstof fra foregående hovedafgrøde. Der kan forventes stor variation i kvælstofoptagelsen i efterafgrøder afhængig af de klimatiske og dyrkningsmæssige forhold.

6.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

I klimaeffekttabellen er angivet en netto klimaeffekt på 1,0 tons CO₂-ækv / ha, som er summen for lavere emission fra øget kulstofbinding i jord, og en øget N₂O-emission fra dyrkning af landbrugsjorden.

Der er taget udgangspunkt i at efterafgrøderne ikke indeholder kvælstoffikserende arter, hvorfor der i beregningen i klimaeffekttabellen er taget udgangspunkt i data for IPCC-afgrødekategorien "Non N-fixing forages".

Tabel 6.1. Drivhusgaseffekter, ton CO₂-ækvivalenter pr. ha.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0,99	0	-0,03	0	1,0

Samlet for landbrugssektoren er angivet en meremission for N₂O på 0,03 tons CO₂-ækv / ha, som inkluderer en øget N₂O-emission fra afgrøderester fra efterafgrøder (188 kg CO₂-ækv / ha), en reduktion i N-udvaskning (26-97 kg N / ha) og et lavere forbrug af handelsgødning (17-25 kg N / ha), fordi efterafgrøderne tilbageholder N i jorden, som kan anvendes til efterfølgende afgrøder (forfrugtsværdi). Beregningen af den samlede klimaeffekt er baseret på et gennemsnit af jorde på henholdsvis sand og ler, og jorde med gødskningsniveau over og under 80 kg N / ha.

Nedenfor er nærmere redegjort for beregningsgrundlaget for N-indholdet i afgrøderester.

Tabel 6.2. Beregningsgrundlag for ændring i N₂O-emissionen som følge af efterafgrøder.

	Gødskning under 80 kg N/ha		Gødskning over 80 kg N/ha		Gennemsnit kg CO ₂ -ækv/ha	Klimaeffekttabel tons CO ₂ -ækv/ha
	Ler	Sand	Ler	Sand		
	kg N/ha					
Udvaskningsreduktion ¹	12	32	24	45		
Handelsgødning, forfrugts- værdi ²	17	17	25	25		
	kg CO ₂ -ækv/ha					
Afgrøderester	-188	-188	-188	-188		
Udvaskningsreduktion	26	69	52	97		
Handelsgødning	80	80	117	117		
Total	-82	-39	-19	26	-29	-0,03

¹ Eriksen et al. (2020), tabel 2 i kapitel "Efterafgrøder" (s.39)² Eriksen et al. (2020) kapitel "Efterafgrøder" (s. 46) med reference til Landbrugsstyrelsens Gødningsvejledning

I beregningen af N-indholdet i afgrøderester for efterafgrøder er anvendt samme metode som angivet i IPCC (2006). Efterafgrøder er ikke specifikt nævnt i IPCC Guidelines, men i beregningen i klimaeffekttabellen er anvendt standarder for afgrødekategorien "Non N-fixing forages". N-indholdet i overjordisk biomasse er antaget til 28 kg N / ha (Eriksen et al., 2020). Dette er baseret på gennemsnits N-indhold fra udvaskningsforsøg med 132 observationer, hvor der samtidigt blev bestemt kvælstofoptagelse i overjordisk biomasse om efteråret. På baggrund af ovenstående er N-indholdet fra afgrøderester fra efterafgrøder beregnet til 40 kg N / ha, hvilket omregnet til CO₂-emission svarer til 188 kg CO₂-ækv / ha. I tabel 6.3 er angivet anvendte beregningsvariable.

Tabel 6.3. Data anvendt til beregning i klimaeffekttabel af N i afgrøderester fra efterafgrøder.**Non N-fixing forages:**

N-optagelse i efterafgrøde	28 kg N/ha
Rodbiomasse som andel af den overjordiske biomasse	0,54
Koncentration af N i rodbiomasse	0,012 kg N/kg ts
N-koncentration i den overjordiske biomasse	0,015 kg N/kg ts
Overjordisk biomasse	1.866 kg ts/ha
Underjordisk biomasse	1.008 kg ts/ha
Underjordisk N	12,10 kg N/ha
N i planterester	40,10 kg N/ha
Øget CO ₂ -emission	188 kg CO ₂ -ækv/ha

ts = tørstof

Datagrundlaget for N-indholdet i afgrøderester er i den nationale emissionsopgørelse baseret på 2006 IPCC Guidelines, men her er efterafgrøder ikke nævnt som afgrødekategori. Der er igangværende forskningsprojekter, som undersøger N-omsætningen for efterafgrøder, og på baggrund af den viden, som dog endnu er sparsom og forbundet med usikkerheder, har DCA i 2021 udarbejdet et første estimat på N i afgrøderester for efterafgrøder på 45 kg N / ha (Sørensen, 2021).

I emissionsopgørelsens metodik er der i beregning af effekten af efterafgrøder sammenlignet med en referencesituation, og der er gjort nedenstående antagelser. Der er alene nævnt antagelser, som adskiller sig fra referencesituationen.

- Som følge af øget N i jorden fra efterafgrøde forventes et fald i gødskningsbehovet som følge af eftervirkningen af efterafgrøder. I beregningen er anvendt et fald på 21 kg N / ha, svarende til gennemsnittet af estimater angivet i Eriksen et al. (2020) s. 46 (17 og 25 kg N / ha for hhv. under og over 80 kg N / ha i organisk gødning). Således er antaget et gødningsniveau på 150 kg N / ha i forhold til referencesituationen (171 – 21 kg N / ha)
- Øget N₂O-emission som følge af at arealet ud over korn også bidrager med N i afgrøderester fra efterafgrøder, 45 kg N / ha (Sørensen, 2021). Da der i referencesituationen antages at N i afgrøderester i gennemsnit udgør 64 kg N / ha, vil der i beregningen antages en total N i afgrøderester på 109 kg N / ha.
- Antaget en lavere N-udvaskning, fordi efterafgrøderne har til formål at tilbageholde kvælstoffet i jorden. I beregningen er anvendt en reduktion i N-udvaskningen på 28 kg N / ha, baseret på et gennemsnit af ler og sand over og under gødskning med 80 kg N / ha (Eriksen et al., 2020 s. 39 tabel 2). Da der i referencesituationen antages en gennemsnitlig N-udvaskning på 60 kg N / ha, vil der i beregning for efterafgrøder antages en N-udvaskning på 32 kg N / ha (60-28 kg N / ha).

På baggrund af ovenstående antagelser forventes at øget areal med efterafgrøder at medvirke til en øget emission sammenholdt med referencesituationen, svarende til 0,05 ton CO₂-ækv / ha (tabel 6.4), hvilket skyldes at efterafgrøder bidrager til en højere N₂O-emission fra den samlede pulje af N i efterafgrøder, som ikke opvejes af reduktion i gødskning og N-udvaskning.

Den forventede effekt i den nationale emissionsopgørelse er en lidt højere emission end angivet i klimaeffekttabellen. I tabel 6.4 er vist fordelingen af emissionen på de direkte og indirekte emissionskilder. I bilag 3 er vist beregningsgrundlag for ændringen for de enkelte emissionskilder.

Tabel 6.4. Beregning af forventet stigning i N₂O-emissionen ved etablering af efterafgrøder i forhold til referencesituation (korn).

Sub2022 opdatering		Referencesituation Efterafgrøder Konsekvens		
Direkte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	1.104	1.216	-112
Gødskning	kg CO ₂ -ækv/ha	802	704	98
Afgrøderester	kg CO ₂ -ækv/ha	302	513	-211
Indirekte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	164	98	66
NH ₃ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	32	28	4
N-udvaskning	kg CO ₂ -ækv/ha	132	70	62
Total landbrug	ton CO ₂ -ækv/ha	1,27	1,31	-0,05

6.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

N₂O-emissionen fra afgrøderester fra efterafgrøder inkluderet i den seneste afleverede nationale emissionsopgørelse 2022. Data for efterafgrødearealet er

baseret på data modtaget fra Landbrugsstyrelsen, som har tallene fra indberetninger til skemaet "Gødningskvote og efterafgrøder" (GKEA). I opgørelsen er efterafgrødearealet opgjort tilbage til år 2000.

I emissionsopgørelsen såvel som fremskrivningen er N₂O-emissionen fra afgrøderester fra efterafgrøder inkluderet. I beregningen er anvendt de 45 kg N/ha og efterafgrødearealet forventes at stige til et niveau på 770.000 ha frem til 2030 baseret på estimat fra Landbrugsstyrelsen.

Hvad angår ændringerne i N-udvaskningen og anvendelsen af handelsgødning, som følge af øget areal med efterafgrøder, vil dette blive direkte afspejlet i den nationale emissionsopgørelse. Handelsgødningsforbruget er baseret på statistik over salget af handelsgødning opgjort af Landbrugsstyrelsen, mens N-udvaskningen er baseret på estimat fra Institut for Ecoscience på baggrund af en kombination af målte data og modelberegne data.

6.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Effektberegningen baseret på data fra seneste rapporterede nationale emissionsopgørelse forventes etablering af efterafgrøder at give anledning til en forøgelse af emissionen på 0,05 ton CO₂-ækv/ha, hvilket er en lidt højere forøgelse end de 0,03 ton CO₂-ækv/ha, som er angivet i klimaeffekttabellen.

6.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

I virkemiddeltabellen (Petersen et al., 2020) er jordefekten ved etablering af efterafgrøder opgjort til 0,99 ton CO₂/ha/år. Tidsperioden er ikke nærmere angivet.

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 blive indlejret i jordens kulstofpulje, svarende til 0,26 ton C/ha/år eller 0,97 ton CO₂/ha/år, hvilket nogenlunde svarer til den værdi, som er angivet i klimaeffekttabellen.

7 Flerårige energiafgrøder på omdriftsarealer

7.1 Beskrivelse af virkemiddel

Flerårige energiafgrøder (f.eks. pil, poppel og elefantgræs) medvirker til at sikre en lav kvælstofudvaskning, fordi disse afgrøder har permanent, dybt rodnet og en lang vækstsæson. 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). Reduktion i nitratudvaskning opnås kun ved omlægning af omdriftsarealer, da vedvarende græs, brak og lignende har omtrent samme lave udvaskning som flerårige energiafgrøder (Eriksen et al., (2020)).

7.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

I klimaeffekttabellen er angivet en samlet netto effekt på 1,4 ton CO₂-ækv / ha, og heraf gennemsnitlig reduktionseffekt på kulstoflagring i jord på 0,7 ton CO₂-ækv / ha, en reduktion i N₂O-emissionen fra landbrugssektoren svarende til 0,6 ton CO₂-ækv / ha og en reduktion på 0,2 ton CO₂-ækv / ha i energiforbruget.

Tabel 7.1. Drivhusgaseffekter, ton CO₂-ækvivalenter pr. ha.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0,7	0	0,6	0,2	1,4

Den estimerede reduktion i N₂O-emissionen fra landbrugssektoren, opgjort som 0,6 ton CO₂-ækv / ha er summen af reduktionen fra fire forskellige kilder, to kilder relateret til direkte N₂O-emissioner (ændring i gødskning og N i afgrøderester) og to kilder fra den indirekte N₂O-emission (NH₃-emission og N-udvaskning).

Tabel 7.2. Estimeret reduktion i klimaeffekttabel

Landbrug		
Direkte emission:	kg CO ₂ -ækv/ha	455
Gødskning	kg CO ₂ -ækv/ha	375
Afgrøderester	kg CO ₂ -ækv/ha	80
Indirekte emission:	kg CO ₂ -ækv/ha	104
NH ₃ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	7
N-udvaskning	kg CO ₂ -ækv/ha	97
Total landbrug	Ton CO ₂ -ækv/ha	0,6

I konsekvensberegningen for flerårige energiafgrøder er der i Eriksen et al. (2020) antaget en referencesituation svarende til standardkornsædskifte, hvor den gennemsnitlige gødskning er estimeret til 200 kg N / ha. For dyrkning af flerårige energiafgrøder er antaget en kvælstofnorm på 120 kg N / ha baseret på kvælstofnormen for energipil.

Ændring i CO₂-emissionen fra afgrøderester er beregnet på baggrund af forholdet mellem total mængde N udbragt (handelsgødning, husdyrgødning, græsning) og total mængde N i afgrøderester, baseret på data fra 2018 rapporteret i den nationale opgørelse i 2020. Således er estimeret et forventet N-indhold i afgrøderester på 0,21 kg N per kg N udbragt.

I beregningen af ændring af N₂O-emissionen er antaget en gennemsnitlig ammoniakemission på 0,02 kg NH₃-N / kg N anvendt i handelsgødning med reference til den nationale emissionsopgørelse, men denne er sidenhen opjusteret.

For N-udvaskning er der i Eriksen et al. (2020) i tabel 2 side 147 angivet et estimat for reduktion af N-udvaskningen for arealer med flerårige energiafgrøder sammenlignet med standardkornsædskifte. Der er anvendt et gennemsnit af tre forskellige jordtyper; sandjord / lerjord / lavbundsjord med en reduktion i N-udvaskningen på 51 / 50 / 34 kg N / ha. Den gennemsnitlige N₂O-emission antages at være 0,0046 kg N₂O-N / kg N udbragt, baseret på estimat fra den nationale emissionsopgørelse rapporteret i 2020. Denne værdi varierer lidt fra år til år afhængig af klimaforhold og gødskningsforhold.

Opdateres beregningen i forhold til den seneste afrapporterede nationale opgørelse i 2022, vil det betyde en forventet reduktion på i alt 0,4 ton CO₂-ækv / ha, hvilket er lidt lavere end estimeret i klimaeffekttabellen (tabel 7.2). Ændringen i N₂O-emissionen som følge af et øget areal med flerårig afgrøder vil i udgangspunktet blive beregnet på samme måde i den nationale emissionsopgørelse som den beregning, der ligger til grund for klimaeffekttabellen.

I beregning af effekten for flerårige energiafgrøder inkluderet i den nationale emissionsopgørelse er gjort følgende antagelser.

- Der antages en gødskning af energiafgrøder på 120 kg N / ha som angivet i Eriksen et al. (2020) s. 144, baseret på kvælstofnormen for energipil.
- For N fra afgrøderester er der ikke i IPCC Guidelines, og derfor heller ikke i emissionsopgørelsen, en specifikt kategori for afgrødetypen pil eller andre flerårige energiafgrøder. I beregningen er antaget samme N indhold i afgrøderester som for 5-årig lupin, svarende til 42 kg N / ha.
- For N-udvaskning er antaget en reduktion på 47 kg N / ha baseret på gennemsnit af udvaskningsestimater angivet i Eriksen et al. (2020) tabel 2 s. 147. Det betyder, at der i beregningen for energiafgrøder er antaget en N-udvaskning på 14 kg N / ha (afrundet), fordi der i referencesituationen er taget udgangspunkt i en gennemsnitlig N-udvaskning på 60 kg N / ha.

Ved summering af den opdaterede emissionsberegning baseret på data rapporteret i 2022, samt ændringer i antagelser som nævnt ovenfor fås en samlet reduktion for omlægning til flerårige energiafgrøder på 0,5 ton CO₂-ækv / ha, hvilket er lidt lavere end estimeret i klimaeffekttabellen. I tabel 7.3 er vist fordelingen af emissionen på de direkte og indirekte emissionskilder. I bilag 4 er vist beregningsgrundlag for ændringen for de enkelte emissionskilder.

Tabel 7.3. Beregning af reduktion i emissionen ved etablering af flerårige energiafgrøder i forhold til referencesituation (korn).

Sub2022 opdatering		Reference situation	Flerårige energiafgrøder	Konse- kvens
Direkte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	1.104	864	345
Gødskning	kg CO ₂ -ækv/ha	802	562	240
Afgrøderester	kg CO ₂ -ækv/ha	302	302	105
Indirekte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	164	53	111
NH ₃ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	32	22	10
N-udvaskning	kg CO ₂ -ækv/ha	132	30	102
Total landbrug	ton CO ₂ -ækv/ha	1,27	0,92	0,46

7.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

I udgangspunktet vil ændringer i arealanvendelsen, ændringer i anvendelsen af husdyr- og handelsgødning blive direkte afspejlet i den nationale opgørelse, fordi denne baseres på aktuelle tal baseret på den faktiske husdyrproduktion, det faktiske dyrkede areal og den faktiske anvendte mængde handelsgødning (solgt mængde). Det samme gør sig gældende for data for kvælstofudvaskningen, hvor data er baseret på de faktisk modellerede / målte estimater. Ligeledes vil den direkte N₂O-emission fra NH₃-fordampning blive afspejlet i opgørelsen, fordi denne afhænger af de faktiske estimater for anvendelsen af husdyrgødning og handelsgødning, såvel som antallet af dyr og fordelingen på de forskellige staldtyper.

Hvad angår flerårige afgrøder er situationen den, at de arealmæssigt udgør en meget lille andel af det samlede dyrkede areal, og derfor ikke har en selvstændig afgrødekategori i arealopgørelsen fra Danmarks Statistik, men må formodes at indgå i kategorien ”øvrige afgrøder”. På nuværende tidspunkt er ”øvrige afgrøder” ikke inkluderet i estimatet for N i afgrøderester. Dette areal udgør 2 % af det totale dyrkede areal i 2020. Et øget areal med flerårige energiafgrøder forventes derfor at være på bekostning af arealet med kornafgrøder, og dette reflekteres som fuld reduktion af N i afgrøderester i den kornafgrøde, der erstattes.

I relation til fremskrivning er arealet baseret på IFRO’s model AGMEMOD, som er en model, der tager højde for landes udbud og efterspørgsel af landbrugsprodukter. Modellen tager dog alene højde for ændringer i salgsafgrøder og foderafgrøder, og forholder sig derfor ikke specifikt til flerårige energiafgrøder. I fremskrivningen er arealet med øvrige afgrøder fastholdt på samme niveau som seneste historiske år.

7.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Konsekvensen for drivhusgasemissionen som følge af et øget areal med flerårige energiafgrøder, afhænger i høj grad af, hvilke arealer energiafgrøderne erstatter. Dog kan det forventes, at dette vil være på bekostning af kornarealet, og at reduktionen i gødskningen må være en reduktion i anvendelsen af handelsgødning, da et øget areal med flerårige energiafgrøder givetvis ikke vil have indflydelse på husdyrproduktionen. I emissionsopgørelsen vil der anvendes samme metode som anvendt i baggrundsberegningen for estimatet angivet i klimaeffekttabellen, dog med de antagelser der ligger til grund for data baseret på afrapportering fra 2022 – se tabel 7.3. Det vurderes, at den

estimerede reduktion i klimaeffekttabellen på 0,6 ton CO₂-ækv / ha er lidt højere end den reduktion som forventes at blive afspejlet i emissionsopgørelsen.

7.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

For 2019 dyrkes der 5.007 ha med pil og 3.412 ha med poppel samt 81 ha med elefantgræs (Eriksen et al., 2020). Det meste elefantgræs dyrkes til tækkeformål (supplement til tagrør), hvilket forventes at give samme effekt på udvaskningen af nitrat som elefantgræs til energi.

Arealet med flerårige energiafgrøder indgår i den nationale emissionsopgørelse under Cropland (primært landbrugsarealer i omdrift) og Grassland (vedvarende græsarealer). Her udgør disse arealer en meget lille andel, hvorfor der anvendes simple opgørelsesmetoder. For vedplanter, såsom frugttræer og pil er der kun små arealændringer mellem årene. Her er antaget, at der på hele arealet står en gennemsnitlig mængde af levende biomasse. Ændringer i opgørelsen mellem årene er derfor udelukkende baseret på ændringer i arealet for udvoksede frugttræer eller mængden af pil ved høst. For pilebevoksninger som høstes med 2-3 års mellemrum er der i den nationale emissionsopgørelse antaget, at der i gennemsnit står en 8,7 ton C / ha i over- og underjordisk biomasse. Ved en øgning af pilearealet tillægges opgørelsen de 8,7 ton C / ha, mens der fratrækkes den stående kulstofmængde for et gennemsnitligt landbrugsareal på 5,9 ton C / ha. Altså en lille engangsstigning som følge af etableringen på 2,8 ton C / ha svarende til 10,3 ton CO₂ / ha. De senere år har arealet med pil været svagt faldende og udgør nu under 5000 ha (udtræk fra Landbrugsstyrelsens markkort).

Biomasseudbyttet ved etablering af energiafgrøder er ikke vurderet. Hvis der sker ændringer i arealet med energiafgrøder, skal der i en klimaeffektvurdering tages hensyn til energiproduktionen (subsidiært kornproduktionen hvis det er kornarealer der konverteres) på det areal, der afgives til energiafgrøder, som skal sammenlignes med energiproduktionen for den afgrøde, som arealet overgår til. De opstillede tal i klimaeffekttabellen inddrager en mulig kulstoflagring/opbygning i jord, men vurderer ikke energiudbyttepotentialet, hvor der i gennemsnit høstes 7 ton tørstof / ha (Landbrugsavisen, 2012).

I den nationale emissionsopgørelse øges jordernes kulstofmængde ikke. Det skyldes dels det lille areal og dels den usikkerhed der er omkring kulstoflagringen. Olesen et al. (2018) angiver ”der regnes med en forøgelse af jordens kulstofindhold ved omlægning til flerårige energiafgrøder svarende til 0,66 ton CO₂ / ha / år.” Dette er også brugt i klimaeffekttabellen. Samtidig angives også ”der kan findes meget forskellige resultater i litteraturen”.

Kombinationen af den store variation i resultaterne, det lille og faldende areal, at det opgivne tal på 0,66 ton CO₂ / ha / år ikke er tidsspecifik med hensyn til en øvre kulstofopbygning, samt at man ved arealomlægninger bør se på hvilken kulstofstatus arealerne kommer fra gør, at DCE ikke har fundet det hensigtsmæssigt at anvende mere komplicerede opgørelsesmetoder end den nuværende.

I resultatet for kulstoflagringen i jord er der ikke inkluderet sideeffekter fra fortrængning af anden energi, ændringer i energiforbrug ved dyrkning af salgs- hhv. energiafgrøden samt ændringer i N-tildeling og ændringen i N-udvaskning.

8 Fodertilsætningsstoffer: Bovaer, 3-NOP

8.1 Beskrivelse af virkemiddel

Ved flere forskellige forskningsinstitutioner rundt omkring i verden undersøges effekten af tilsætningsstoffer på metanproduktionen fra fordøjelse hos kvæg. Det stof, som i flere forsøg har vist en markant effekt, er 3-nitro-oxypropanol (3-NOP) (Hristov et al., 2015), som er udviklet af firmaet DSM. Tilsætning af dette stof har medført reduktioner i metanproduktionen på op til 30 %. Fordelen med 3-NOP i forhold til f.eks. nitrat er, at det kun skal tilsættes i meget små mængder for at få en effekt, og derfor ikke påvirker koens optag af kvælstof nævneværdigt (Olesen et al., 2018).

8.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

I klimaeffekttabellen er der ikke angivet en reference på reduktionen, men der er i Olesen et al. (2018) angivet et reduktionspotentiale på 30 % og antaget at en dansk malkeko udleder ca. 160 kg CH₄ om året (Olesen et al., 2018). Dette giver effekten angivet i klimaeffekttabellen.

Beregningsen:

$$160 \text{ kg CH}_4 / \text{ko} / \text{år} * 25 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{kg CH}_4 * 0,3 = 1.200 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{årsko}$$

160 kg CH₄ per ko per år svarer til gennemsnittet for 2017 og 2018.

Tabel 8.1. Drivhusgaseffekter, kg CO₂-ækvivalenter pr. årsko.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0	1.200	0	0	1.200

For 2020 er emissionen fra fordøjelse faldet lidt, da værdien for Y_m er opdateret. Effekten vil derfor blive:

$$157 \text{ kg CH}_4 / \text{ko} / \text{år} * 25 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{kg CH}_4 * 0,3 = 1.178 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{årsko}$$

8.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Tilsætning af 3-NOP er ikke med i emissionsopgørelserne og fremskrivninger for nuværende.

Emissionen af metan fra malkekøer og øvrigt kvæg beregnes som en fast andel af dyrets optag af bruttoenergi, den såkaldte Y_m-faktor. For andet kvæg bruges Y_m angivet i IPCC 2006, men for malkekvæg anvendes en national estimeret Y_m, som er baseret på en omfattende analyse af data fra databasen over forsøg med malkekøer i respirationskamre udført ved Institut for Husdyrvidenskab, AU (Hellwing et al., 2016).

For at 3-NOP (Bovaer) eller andre tilsætningsstoffer til foderet kan indgå i emissionsopgørelserne kræver det, at effekten vurderes for danske forhold og sammensætningen i danske foderrationer, at der dels laves en Y_m for foderrationer med disse tilsætningsstoffer, og at der er aktivitetsdata for brugen af

tilsætningsstofferne i praksis. Ydermere bør det også vurderes om bruttoenergien i foderrationer med tilsætningsstoffer varierer fra en standardfoderration. Altså er det helt afgørende, at modellen til at estimerer Y_m kan opdateres tilstrækkeligt med nye data fra forsøg, hvor der er anvendt de pågældende tilsætningsstoffer.

8.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Hvis effekten af tilsætningsstoffet 3-NOP (Bovaer) fastsættes til 30 %, vil det i emissionsberegningerne have en effekt tilsvarende den angivne i klimaeffekt-tabellen for den andel af malkekvæg, der får tildelt tilsætningsstoffet.

8.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Tilsætning af 3-NOP forventes ikke at have indflydelse på LULUCF-opgørelsen. Hvis det kan dokumenteres, at tilsætning af 3-NOP mindsker foderoptaget, vil det alt andet lige mindske mængden af husdyrgødning og på den anden side mindske arealbehovet for foderafgrøder og hermed indirekte påvirke LULUCF-opgørelsen.

9 Fodring med øget fedt til andet kvæg

9.1 Beskrivelse af virkemiddel

Ved øgning af foderrationens indhold af fedt kan metanemissionen fra dyrenes fordøjelse reduceres (Brask, 2013, Børsting et al., 2020).

9.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

Effekten af øget fedtindhold i foderet til andet kvæg er baseret på tal for malkekvæg i Børsting et al. (2020), og det bedste bud for en typisk dansk foderration er, at emissionen af metan reduceres med 4 % per 10 g fedtsyrer tilsat. Det skal dog bemærkes, at talmaterialet for andet kvæg er særdeles sparsomt, og effekten derfor usikker (Hutchings et al., 2020).

I klimaeffekttabellen er antaget en øgning med 20 g fedt / kg fodertørstof, hvilket forventes at reducere metanemissionen med ca. 8 %. Tiltaget kan være problematisk for økologer grundet det mindre udbud af økologiske fedtkilder (Hutchings et al., 2020). Der er ikke medregnet effekt af klimabelastning ved dyrkning af fedtkilde i forhold til dyrkning af de fodermidler, som fedt erstatter – typisk korn (Hutchings et al., 2020).

Beregningen af effekten er baseret på, at emissionen fra fordøjelse for ikke-malkekøer er ca. 41 kg CH₄/årsdyr, svarende til et reduktionspotentiale på $41 \cdot 25 \cdot 0,08 = 82$ kg CO₂-ækv / årsdyr (Hutchings et al., 2020).

Tabel 9.1. Drivhusgaseffekter, kg CO₂-ækvivalenter pr. årsko.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0	82	0	0	82

Emissionen fra fordøjelse for ikke-malkekøer er i 2020 (Nielsen et al., 2022) også ca. 41 CH₄/årsdyr og effekten vil derfor være den samme som angivet i klimaeffekttabellen.

9.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

I emissionsopgørelserne og fremskrivninger indgår andelen af tildelte fedtsyrer i foderrationen ikke. Emissionen beregnes ud fra emissionsfaktoren Y_m og for andet kvæg bruges standard Y_m angivet i IPCC 2006, da en national estimeret Y_m for andet kvæg ikke forfindes.

9.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Reduceres Y_m for andet kvæg med 8 %, vil samme effekt, som angivet i klimaeffekttabellen, fremgå i emissionsopgørelserne og fremskrivninger, såfremt der ikke ændres i fodersammensætningens bruttoenergi.

For at øget tildeling af fedt i foderet til andet kvæg kan indgå i emissionsopgørelserne kræver det, at der laves en national Ym for de forskellige grupper¹ af andet kvæg og disses standard foderrationer, samt for foderrationer med øget mængde fedt. Som nævnt ovenfor er effekten af øget tildeling af fedt i fodret, angivet i Børsting et al. (2020), bedste bud p.t., men ikke alle kombinationer af fodermidler, samt beregninger for kvier, forskningsmæssigt belyst og der kan derfor være behov for yderligere forskning på området. Ydermere kræver det oplysninger om, hvor stor en andel af bestanden af de forskellige grupper af andet kvæg, der fodres med foderrationer med højt indhold af fedt. Det bør også vurderes om bruttoenergien i foderrationer med højt indhold af fedt varierer fra en standardfoderration.

9.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Tilsætning af fedt forventes ikke at have en indflydelse på LULUCF-opgørelsen.

¹ Grupper af andet kvæg: Opdræt (kvier) 0-6 mdr., Opdræt (kvier) 6 mdr.-kælvning, Tyre 0-6 mdr., Tyre 6 mdr.-slagtning og Ammekvæg. Derudover opdeles for opdræt og tyre i stor race og jersey og ammekvæg opdeles i tre størrelser ud fra vægt (under 400 kg, 400-600 kg og over 600 kg)

10 Fodring med øget fedt til malkekvæg

10.1 Beskrivelse af virkemiddel

Ved øgning af foderrationens indhold af fedt kan metanemissionen fra dyrenes fordøjelse reduceres (Brask, 2013, Børsting et al., 2020).

10.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

Effekten af øget fedtindhold i fodret til malkekvæg er baseret på Børsting et al. (2020), og det bedste bud for en typisk dansk foderration er at emissionen af metan reduceres med 4 % per 10 g fedtsyrer tilsat. Tiltaget kan være problematisk for økologer grundet det mindre udbud af økologiske fedtkilder (Hutchings et al., 2020). Der er ikke medregnet effekt af klimabelastning ved dyrkning af fedtkilde i forhold til dyrkning af de fodermidler, som fedt erstatter – typisk korn (Hutchings et al., 2020).

For en standardfoderration er emissionen fra fordøjelse ca. 4000 kg CO₂-ækv / ko / år (160 kg CH₄ / ko / år). Fodring med høje niveauer af fedt kan være problematisk i mobiliseringsperioden² i starten af laktationen, (56 dage), svarende til 15% af året, og effekten er derfor korrigeret med denne faktor (0,85) (Hutchings et al., 2020). Dette kræver også mulighed for holdopdeling i praksis. Effekten angivet i klimaeffekttabellen er baseret på et fedtindhold i rationen på 20 g / kg ts og dette svarer til en reduktion på 8%.

Beregningsen:

$160 \text{ kg CH}_4 / \text{ko} / \text{år} * 25 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{kg CH}_4 * 0,85 * 0,08 = 272 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{årsko}$

160 kg CH₄ per ko per år svarer til gennemsnittet for 2017 og 2018.

Tabel 10.1. Drivhusgaseffekter, kg CO₂-ækvivalenter pr. årsko.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0	272	0	0	272

For 2020 er emissionen fra fordøjelse faldet lidt, da værdien for Y_m er opdateret. Effekten vil derfor blive:

$157 \text{ kg CH}_4 / \text{ko} / \text{år} * 25 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{kg CH}_4 * 0,85 * 0,08 = 268 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{årsko}$

10.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

I emissionsopgørelserne og fremskrivninger indgår andelen af tildelte fedtsyrer i foderrationen ikke direkte i emissionsberegningerne, da emissionen beregnes ud fra emissionsfaktoren Y_m.

² Mobiliseringsperioden er i starten af laktationen, hvor køerne taber sig, fordi de omdanner kroppens energireserver til mælkeproduktion (Bossen, 2007).

For malkekvæg bruges der i emissionsopgørelserne en national estimeret Ym, som er baseret på en standardfodersammensætning, mens der i fremskrivninger bruges en vægtet Ym for hhv. standard fodersammensætning og foder med øget tildeling af fedt. Ym er i fremskrivningerne vægtet i forhold til andel af økologiske malkekvæg (i 2020), da kravet til øget tildeling af fedt i fodret medregnes for konventionelle malkekøer.

For at øget tildeling af fedt i foderet til malkekvæg kan indgå i emissionsopgørelserne kræver det, at der laves en Ym for foderrationer med øget mængde fedt. Som nævnt ovenfor er effekten af øget tildeling af fedt i fodret, angivet i Børsting et al. (2020), bedste bud p.t., men ikke alle kombinationer af fodermidler er forskningsmæssigt belyst og der kan derfor være behov for yderligere forskning på området. Det bør også vurderes, om bruttoenergien i foderrationer med højt indhold af fedt varierer fra en standard foderration. Ydermere kræver det oplysninger om, hvor stor en andel af bestanden af malkekvæg der fodres med foderrationer med højt indhold af fedt. Hvordan disse oplysninger kan indsamles er endnu ikke klarlagt.

10.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Reduceres Ym for malkekøer med 8 % og korrigeres for at høje niveauer af fedt kan være problematisk i mobiliseringsperioden, vil samme effekt, som angivet i klimaeffekttabellen, fremgå i emissionsopgørelserne og fremskrivninger, såfremt der ikke ændres i fodersammensætningens bruttoenergi.

10.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Tilsætning af fedt forventes ikke at have indflydelse på LULUCF-opgørelsen.

11 Græs i sædskiftet

11.1 Beskrivelse af virkemiddel

Ved dyrkning af afgrøder med stort kvælstofoptag, som græs, er jorden dækket med vegetation gennem det meste af efteråret eller hele efteråret og vinteren, hvorved nitratkoncentrationen i jorden holdes lav. Der vil ved dyrkning af kløvergræs sammenlignet med korndyrkning være en øget kulstoflagring i jorden.

N-indholdet i afgrøderester er typisk højere for græsmarker end for dyrkning af øvrige afgrødetyper, hvilket betyder, at øget græs i sædskiftet må forventes at øge N₂O-emissionen fra afgrøderester.

11.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

I klimaeffekttabellen er angivet en netto klimaeffekt på 1,5 tons CO₂-ækv / ha, som er summen af en øget kulstofbinding i jord (2,2 ton CO₂-ækv / ha), mens der forventes at ske en øget emission af fossil energi (0,04 ton CO₂-ækv / ha) og ligeledes en øget N₂O-emission fra dyrkning af landbrugsjorden (0,7 ton CO₂-ækv / ha). Som nævnt i klimaeffekttabellen er der ikke i N-virkemiddelkataloget angivet en beskrivelse af tiltag med øget græs i sædskiftet (Eriksen et al., 2020). Et sådan tiltag er heller ikke gennemgået i Virkemiddelkataloget for drivhusgasser (Olesen et al., 2018).

Tabel 11.1. Drivhusgaseffekter, ton CO₂-ækvivalenter pr. ha.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
2,2	0	-0,7	-0,04	1,5

Viden om baggrundsberegningen for estimatet i klimavirkemiddeltabellen er hentet fra bemærkninger i den midlertidige udgave af klimaeffekttabellen fra februar 2020 (Hutchings et al., 2020). I relation til N₂O-emissionen fra landbrugssektoren fremgår det ikke tydeligt, hvordan effekten er beregnet, men der står angivet antagelser som en reduktion i N-udvaskning på 29 kg N / ha, og der er refereret til antagelse om gødskningsniveau på 290 kg N / ha for fodergræs med kløvergræs / lucerne (<50% bælg-sæd) og udbytte på 8 ton tørstof / ha.

Ved en beregning af effekten i den nationale opgørelse baseret på data fra seneste afrapportering i 2022 tages udgangspunkt i de antagelser, der er nævnt i bemærkninger til klimaeffekttabellen version fra februar 2020 (Hutchings et al., 2020).

- Der er antaget et gødskningsniveau på 290 kg N / ha, hvilket svarer til det angivne gødningsbehov på JB 5-6 for afgrødekode 260 "Græs med kløver / lucerne under 50 pct. bælgplanter (omdrift)". Det vil sige et højere gødskningsniveau end for referencesituationen med korn på 171 kg N / ha.
- Estimatet for N i afgrøderester er baseret på afgrødetypen græs / kløver i omdrift med udbytte på 8 ton tørstof / ha (ompløjning hver 2-3 år), hvilket

baseret på rapporteringen i 2022 resulterer i et N-indhold i afgrøderester på 77 kg N / ha per år.

- Som angivet i klimaeffekttabellen er der i beregningen antaget en reduktion i N-udvaskningen svarende til 29 kg N / ha. Med en gennemsnitlig N-udvaskning i referencesituationen på 60 kg N / ha vil det betyde en reduktion på 33 kg N / ha ved dyrkning af græs i sædskiftet.

Effekten ved ændring i arealanvendelsen til græs i omdrift, forventes i den nationale emissionsopgørelse, baseret på data fra 2022 afleveringen, at give anledning til en øget emission på 0,6 ton CO₂-ækv / ha, som følge af stigning i emissionerne fra øget gødskning og øget N-indhold i afgrøderester, hvilket ikke opvejes af den lavere N-udvaskning fra græsarealet. I tabel 11.2 er vist fordelingen af emissionen på de direkte og indirekte emissionskilder. I bilag 5 er vist beregningsgrundlag for ændringen for de enkelte emissionskilder.

Tabel 11.2. Beregning af øget emissionen ved græs i omdrift i forhold til referencesituation (korn).

Sub2022 opdatering		Referencesituation	Græs i omdrift	Konsekvens
Direkte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	1.104	1.720	-616
Gødskning	kg CO ₂ -ækv/ha	802	1.358	-556
Afgrøderester	kg CO ₂ -ækv/ha	302	362	-60
Indirekte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	164	123	41
NH ₃ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	32	54	-22
N-udvaskning	kg CO ₂ -ækv/ha	132	69	63
Total landbrug	ton CO ₂ -ækv/ha	1,27	1,84	-0,57

11.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Såfremt der vil ske en udvikling i retning af øget areal med græs i sædskiftet, vil dette blive afspejlet i den nationale opgørelse, fordi ændringer i arealanvendelse og udbytter vil fremgå af Danmarks Statistik. Endvidere vil ændringer i N-udvaskningen over tid blive reflekteret i det nationale overvågningsprogram NOVANA, hvor N-udvaskningen estimeres årligt og som avendes som datagrundlag i den nationale emissionsopgørelse.

11.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

I effektberegningen, baseret på data fra seneste rapporterede nationale emissionsopgørelse i 2022 forventes græs i sædskifte sammenlignet med referencesituationen, at give anledning til en reduktion på 0,6 ton CO₂-ækv / ha. Denne effekt er lidt lavere end den angivne reduktion på 0,7 ton CO₂-ækv / ha angivet i klimaeffekttabellen. Det er vanskeligt at afgøre den specifikke årsag til denne forskel i beregning af effekten, men en opdatering af data i forbindelse med 2022 afleveringen man meget vel være en medvirkende årsag. Effekt på LULUCF-opgørelsen

Effekten på LULUCF-opgørelsen, dvs. ændringer i kulstoflagringen i jord som følge af ændringer i den stående levende biomasse ved at indføre mere græs i sædskiftet, er beregnet vha. C-TOOL, jf. de betingelser, der er angivet i kapitel 5.3.2 under braklægning samt nedenstående.

- Kulstofmængden i den levende biomasse ved en arealomlægning fra omdriftsareal til græs i sædskiftet medfører ikke ændringer i opgørelsen, fordi de to afgrødetyper anses at have samme stående levende biomasse per ha, med et gennemsnitligt C-indhold på 5,9 ton C/ha.
- Kulstofændringen i jord er beregnet med en særkørsel med C-TOOL.
- Mere græs i sædskiftet medfører en 1:1 nedgang i arealet med salgsafgrøder.
- Arealet med grovfoder, kartofler, sukkerroer og frøgræs fastholdes på underniveau, fordi der forventes uændret efterspørgsel på disse afgrøder.
- Resultaterne er opgivet per ha. Der er ikke taget stilling til hvilke arealer og antal hektar, der kan overgå til græs i sædskiftet.

Resultater

I tabel 11.3 er vist de beregnede C-input per ha for de 20 underopdelinger. I alle 20 underopdelinger er gennemsnits C-inputtet som gennemsnittet af årene 2016-2020 (de årlige opgørelser) lavere end det forventede C-input fra græs i omdrift. De årlige C-input er summen af de dyrkede afgrøder inkl. græs og halmfjernelse. Anden kolonne er et beregnet C-input fra de forventede salgsafgrøder, som mistes (inkl. halm), og efterafgrøder ved at etablere mere græs i sædskiftet. Tredje kolonne er det kulstofinput for græs i sædskiftet, der er anvendt i beregningerne, og sidste kolonne er ændringen i den årlige C-tilførsel per ha. For alle jorder forventes at mere græs i sædskiftet tilfører mere kulstof til jorden i en modelteknisk størrelsesorden på 3-5 ton C/ha/år. Observer at den beregnede gennemsnitlige ændring er et simpelt gennemsnit og ikke arealvægtet.

Tabel 11.3. Beregnet nuværende C-input til de 20 underopdelinger og forventet ændring ved overgang til græs i omdrift.

Jordtype	Gennemsnit input 2016-2020, ton C/ha/år	Forventet input fra	Forventet input fra	Ændring, ton C/ha/år
		salgsafgrøde, ton C/ha/år	græs i omdrift, ton C/ha/år	
Sandblandet ler, FK 2-3	3,9	4,8	8,8	3,9
Sandblandet ler, FK 4-6	4,5	5,1	8,8	3,7
Lerblandet sand, FK 2-3	4,5	4,7	8,8	4,1
Sandblandet ler, FK 4-6	4,8	4,7	8,8	4,0
Lerblandet sand, FK 2-3	3,9	5,0	8,8	3,8
Sandblandet ler, FK 4-6	4,4	5,2	8,8	3,5
Lerblandet sand, FK 2-3	3,7	4,9	8,8	3,8
Sandblandet ler, FK 4-6	4,3	4,7	8,8	4,0
Sandjord, FK1	4,2	3,8	8,8	5,0
Lerblandet sand, FK 2-3	4,2	4,4	8,8	4,3
Sandblandet ler, FK 4-6	4,5	5,0	8,8	3,8
Sandjord, FK1	4,3	4,2	8,8	4,6
Lerblandet sand, FK 2-3	4,1	4,9	8,8	3,9
Sandblandet ler, FK 4-6	4,7	5,2	8,8	3,6
Sandjord, FK1	4,1	3,8	8,8	5,0
Lerblandet sand, FK 2-3	4,1	4,5	8,8	4,2
Sandblandet ler, FK 4-6	4,6	4,9	8,8	3,9
Sandjord, FK1	4,4	4,0	8,8	4,8
Lerblandet sand, FK 2-3	4,2	4,6	8,8	4,2
Sandblandet ler, FK 4-6	4,7	4,9	8,8	3,8
Alle jordtyper, ej organiske	4,3	4,7	8,8	4,1

I tabel 11.4 er vist de beregnede effekter på mineraljordernes C-indhold som et gennemsnit over perioden 2021-2030 og 2021-2040. Der er ingen væsentlige forskelle, om man ser på en 10-årig eller en 20-årig tidshorisont. Perioden 2021-2030 er dog lidt højere end langtidshorisonten fra 2021-2040 på grund af, at på længere sigt vil der indfinde sig en ny ligevægt mellem tilførsel og nedbrydning i jorden. Effekten på jordens kulstofpulje afhænger af jordens udgangspunkt for kulstofpuljen og især fordelingen mellem HUM og ROM. På sandjorde har DCA vurderet, at der er en lille HUM pulje. Det gør at nedbrydningspotentialet er mindre end på mere lerrige jorder. En konsekvens er, at der på sandjorde vil ske en større C-opbygning sammenlignet med lerjorde.

Tabel 11.4 viser, at der forventes en årlig gennemsnitlig stigning på -2,29 ton CO₂/ha/ha (-2,03 til -2,51) i perioden frem til 2030 og på -2,12 ton CO₂/ha/år (-1,87 til -2,32) frem til 2040. OBS: Negative tal indikerer en stigning og positive tal en udledning.

Tabel 11.4. Beregnede ændringer i kulstofbalancen for perioden 2021-2030 og 2021-2040 ved omlægning af én hektar salgsafgrøde til græs i omdrift. Tallene er opgjort i ton/ha. Negative tal indikerer en opbygning, positive tal en udledning-

		Gennemsnitligt ændring, ton C/ha/år 2021-2030	Gennemsnitligt ændring, ton C/ha/år 2021-2040	Gennemsnitligt ændring, ton CO ₂ /år 2021-2030	Gennemsnitligt ændring, ton CO ₂ /år 2021-2040
	Jordtype				
Bornholm	Sandblandet ler, FK 2-3	-0,57	-0,53	-2,11	-1,94
Bornholm	Sandblandet ler, FK 4-6	-0,62	-0,57	-2,27	-2,09
Nordsjælland	Lerblandet sand, FK 2-3	-0,60	-0,56	-2,20	-2,04
Nordsjælland	Sandblandet ler, FK 4-6	-0,68	-0,63	-2,51	-2,32
Region Sjælland	Lerblandet sand, FK 2-3	-0,55	-0,51	-2,03	-1,87
Region Sjælland	Sandblandet ler, FK 4-6	-0,60	-0,55	-2,19	-2,01
Landsdel Fyn	Lerblandet sand, FK 2-3	-0,56	-0,51	-2,04	-1,88
Landsdel Fyn	Sandblandet ler, FK 4-6	-0,68	-0,63	-2,50	-2,30
Landsdel Sydjylland	Sandjord, FK1	-0,68	-0,63	-2,50	-2,32
Landsdel Sydjylland	Lerblandet sand, FK 2-3	-0,63	-0,59	-2,33	-2,16
Landsdel Sydjylland	Sandblandet ler, FK 4-6	-0,64	-0,59	-2,33	-2,17
Landsdel Østjylland	Sandjord, FK1	-0,63	-0,58	-2,31	-2,14
Landsdel Østjylland	Lerblandet sand, FK 2-3	-0,57	-0,53	-2,09	-1,95
Landsdel Østjylland	Sandblandet ler, FK 4-6	-0,60	-0,56	-2,21	-2,06
Landsdel Vestjylland	Sandjord, FK1	-0,68	-0,63	-2,49	-2,31
Landsdel Vestjylland	Lerblandet sand, FK 2-3	-0,62	-0,57	-2,26	-2,10
Landsdel Vestjylland	Sandblandet ler, FK 4-6	-0,66	-0,62	-2,43	-2,26
Region Nordjylland	Sandjord, FK1	-0,66	-0,61	-2,41	-2,24
Region Nordjylland	Lerblandet sand, FK 2-3	-0,61	-0,57	-2,25	-2,10
Region Nordjylland	Sandblandet ler, FK 4-6	-0,65	-0,60	-2,38	-2,22
Gennemsnit	Alle jordtyper, ej organiske	-0,63	-0,58	-2,29	-2,12

Klimaeffekttabellen angiver, at der sker en forventet kulstoflagring på 2,2 ton CO₂/ha/år, hvilket svarer nogenlunde til de beregnede tal i den nationale opsætning. Der er således en god overensstemmelse med klimaeffekttabellen og den nuværende opsætning af C-TOOL.

I opgørelsen er ikke inddraget sideeffekter som er tilknyttet værdien af det producerede græs.

Observer at den beregnede gennemsnitlige ændring er et simpelt gennemsnit og ikke arealvægtet. Effekten varierer mellem -1,87 ton CO₂/ha/år og -2,32 ton CO₂/ha/år.

12 Gylleforsuring i stald hos kvæg

12.1 Beskrivelse af virkemiddel

Gylleforsuring er som oftest en teknologi, der bringes i anvendelse til reduktion af ammoniaktab i forbindelse med udvidelse af husdyrproduktionen, men det kan også give en reduktion af metanemissionen.

Forsuring af gylle kan ske i stalden eller lagertanken, eller under udbringning. Hvis gyllen er forsuret i stalden, vil forsuringen også være til stede i lagret og ved udbringning. Under udbringning har det kun en indirekte klimaeffekt i form af lavere ammoniaktab.

12.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

For beregningerne til klimaeffekttabellen er antaget, at metanemissionen fra kvæggylle er 1,48 kg CH₄/ton gødning og reduktionen ved forsuring er 60 % (Olesen et al., 2018). Beregningen i tabellen er som følger:

CH₄: 1,48 kg CH₄/ton gødning * 0,6*25 kg CO₂-ækv / kg CH₄= 22,2 kg CO₂-ækv/ton gødning

I klimaeffekttabellen er beregnet en reduktion i emission af indirekte N₂O som følge af reduktion i NH₃-emissionen fra stald, lager og udbringning. I beregningerne lavet til klimaeffekttabellen, er der ikke taget højde for NO_x-emission i forbindelse med indirekte emission. Der regnes med en reduktionseffekt for NH₃ på 60 % i både stald, lager og udbringning. For udbringning er der regnet med en emissionsfaktor på 20 % for NH₃-emission. Beregningerne er baseret på Normtal 2015.

Beregningseksempel for N₂O - der er valgt at regne på stalddypen Sengestald med spalter (kanal, bagskyl eller ringkanal), da dette er en af de mest udbredte stalddyper i 2020:

Reduktion i NH₃:

Stald: 10,61 kg NH₃-N*0,6 = 6,37 kg NH₃-N

Lager: 1,89 kg NH₃-N*0,6 = 1,14 kg NH₃-N

Udbringning: 80,72 kg NH₄-N*0,2 kg NH₃-N / kg NH₄-N *0,6 = 9,69 kg NH₃-N

Total reduktion: 6,37+1,14+9,69 = 17,19 kg NH₃-N

Pr. ton gødning: 17,19 kg NH₃-N/30,41 ton gødning = 0,57 kg NH₃-N/ton gødning

N₂O:

0,57 kg NH₃-N/ton gødning*0,01 kg N₂O-N/kg NH₃-N*44/28*298 kg CO₂-ækv/kg N₂O= 2,6 kg CO₂-ækv/ton gødning

Effekten varierer lidt alt efter hvilken dyretype (malkekvæg, kvier) og stalddyp, der beregnes for. For eksemplet givet ovenfor er effekten lidt højere end

angivet i klimaeffekttabellen, mens den for andre dyretyper / staldtyper er lidt lavere.

Tabel 12.1. Drivhusgaseffekter, kg CO₂-ækvivalenter pr. ton husdyrgødning.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0	22,2	2	0	24

Opdateres beregningerne med tallene brugt i 2022 afleveringen af emissionsopgørelserne for året 2020, bliver effekten:

CH₄: 1,47 kg CH₄/ton gødning * 0,6 * 25 kg CO₂-ækv / kg CH₄ = 22,1 kg CO₂-ækv / ton gødning

For N₂O er effekten det samme regnet med Normtal 2015 og Normtal brugt i submission 2022, når der afrundes til én decimal.

12.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Forsuring af kvæggylle indgår i emissionsopgørelserne, men kun med en reduktionseffekt for NH₃. Der regnes ikke med en reduktionseffekt for CH₄. Dette skyldes manglende valid dokumentation for reduktionseffekten for CH₄, dvs. solid dokumentation for reduktionspotentialet ved danske drift- og klimaforhold, gerne i form af en peer reviewed artikel eller lignende, der kan godkendes i review af emissionsopgørelserne. Ydermere skal aktivitetsdata for udbredelsen af brug af forsuring opdateres, da det for nuværende (fra emissions år 2018) ikke har været muligt at få data.

I fremskrivningerne indgår forsuring af kvæggylle både med en reduktionseffekt for NH₃ og CH₄. Reduktionseffekten for CH₄-emissionen er antaget at være 60 % af den samlede emission fra stald og lager (Hansen et al., 2015).

Beregningerne for CH₄-emission fra gødningshåndtering er ikke opdelt i emission fra stald og emission fra lager i emissionsopgørelserne og fremskrivningerne, men regnes med én emissionsfaktor, der dækker både stald og lager.

Reduktionen i den indirekte N₂O-emission fra NH₃-fordampning er inkluderet i både emissionsopgørelserne og fremskrivninger, da reduktionen i emissionen af NH₃ pga. forsuring er inkluderet i emissionsberegningerne.

12.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Hvis effekten af forsuring på CH₄-emissionen fastsættes til 60 %, vil det i emissionsberegningerne have en effekt tilsvarende den angivet i klimaeffekttabellen for den andel af kvæg, der er i stalde med forsuring.

For den indirekte N₂O-emission er effekten i reduktion af NH₃ pga. forsuring ikke indregnet på samme måde i emissionsopgørelserne og fremskrivninger, som gjort i klimaeffekttabellen.

I opgørelserne tillægges den reducerede N fra emissionen til de næste led i kæden, altså ved forsuring i stalden kommer der mere N i lager og ved udbringning. Reduktionsfaktoren er i opgørelserne for kvæggylle forsuret i stald

50 %, som angivet i teknologilisten (MST, 2022). Derudover er emissionsfaktorerne (EF) for NH_3 fra udbringning forskellig i forhold til beregningerne til klimaeffekttabellen. I opgørelserne bruges EF givet i Hafner et al. (2021) kombineret med data for andel gylle, der er bragt ud på et givet tidspunkt og med given metode. EF er så en vægtet værdi af disse. Nedfældning af gylle har en lavere EF end forsuret gylle og derfor bliver EF for ubehandlet gylle lavere end for forsuret gylle. Ses der på indirekte emission af N_2O i CO_2 -ækv pr. ton kvæggylle, der er forsuret i stalden, reduceres emissionen i stald/lager med 0,6 kg CO_2 -ækv/ton gødning, mens emissionen fra udbringning stiger med 0,8 kg CO_2 -ækv/ton gødning. Altså vil forsuring i stald samlet set give en stigning i emissionen på 0,2 kg CO_2 -ækv/ton gødning i emissionsopgørelserne og fremskrivninger for nuværende.

12.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Gylleforsuring anses ikke at have nogen effekt på LULUCF-opgørelsen.

13 Gylleforsuring i stald hos svin

13.1 Beskrivelse af virkemiddel

Se kapitel 12.

13.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

For beregningerne til klimaeffekttabellen er antaget, at metanemissionen fra svinegylle er 2,39 kg CH₄/ton gødning og reduktionen ved forsuring er 60 % (Olesen et al., 2018). Beregningen i tabellen er som følger:

CH₄: 2,39 kg CH₄/ton gødning * 0,6*25 kg CO₂-ækv/kg CH₄= 35,9 kg CO₂-ækv/ton gødning

I klimaeffekttabellen er beregnet en reduktion i emissionen af indirekte N₂O som følge af reduktion i NH₃-emissionen fra stald, lager og udbringning. I beregningerne lavet til klimaeffekttabellen er der ikke taget højde for NO_x-emission i forbindelse med den indirekte emission. Der regnes med en reduktionseffekt for NH₃ på 60 % i både stald, lager og udbringning. For udbringning er der regnet med en emissionsfaktor på 20 % for NH₃-emission. Beregningerne er baseret på Normtal 2015.

Beregningseksempel for N₂O - der er valgt at regne på staldtypen "Slagtesvin, Delvis spaltegulv med 25-49% fast gulv", da dette er en af de mest udbredte staldtyper i 2020, samt at det forventes at blive det mest udbredte i fremtiden:

Reduktion i NH₃:

Stald: 0,33 kg NH₃-N*0,6 = 0,20 kg NH₃-N

Lager: 0,04 kg NH₃-N*0,6 = 0,024 kg NH₃-N

Udbringning: 1,93 kg NH₄-N*0,2 kg NH₃-N / kg NH₄-N *0,6 = 0,23 kg NH₃-N

Total reduktion: 0,20+0,024+0,23 = 0,45 kg NH₃-N

Pr. ton gødning: 0,45 kg NH₃-N / 0,54 ton gødning = 0,84 kg NH₃-N / ton gødning

N₂O:

0,84 kg NH₃-N / ton gødning*0,01 kg N₂O-N / kg NH₃-N*44 / 28*298 kg CO₂-ækv / kg N₂O=3,9 kg CO₂-ækv / ton gødning

Effekten varierer lidt alt efter hvilken dyretype (søer, smågrise, slagtesvin) og staldtype man beregner for. For eksemplet givet ovenfor er effekten lidt højere end angivet i klimaeffekttabellen, mens den for andre dyretyper / staldtyper er lidt lavere.

Tabel 13.1. Drivhusgaseffekter, kg CO₂-ækvivalenter pr. ton husdyrgødning.

LULUCF	Landbrug	N ₂ O	Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄			
0	35,9	3	0	39

Opdateres beregningerne med data fra 2022 afleveringen af emissionsopgørelserne, altså for år 2020, bliver effekten for CH₄ det samme som angivet ovenfor.

For N₂O giver det:

Stald: 0,32 kg NH₃-N*0,6 = 0,19 kg NH₃-N

Lager: 0,04 kg NH₃-N*0,6 = 0,024 kg NH₃-N

Udbringning: 1,93 kg NH₄-N*0,2 kg NH₃-N / kg NH₄-N *0,6 = 0,23 kg NH₃-N

Total reduktion: 0,20+0,024+0,23 = 0,45 kg NH₃-N

Pr. ton gødning: 0,45 kg NH₃-N / 0,56 ton gødning = 0,80 kg NH₃-N / ton gødning

N₂O:

0,80 kg NH₃-N / ton gødning*0,01 kg N₂O-N / kg NH₃-N*44/28*298 kg CO₂-ækv / kg N₂O=3,7 kg CO₂-ækv / ton gødning

13.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Forsuring af svinegylle indgår i emissionsopgørelserne, men kun med en reduktionseffekt for NH₃. Der indregnes ikke reduktionseffekt for CH₄. Dette skyldes manglende valid dokumentation for reduktionseffekten for CH₄, dvs. solid dokumentation for reduktionspotentialer ved danske drift- og klimaforhold, gerne i form af en peer reviewed artikel eller lignende, der kan godkendes i review af emissionsopgørelserne. Ydermere skal aktivitetsdata for udbredelsen af brug af forsuring opdateres, da det for nuværende (fra emissions år 2018) ikke har været muligt at få data.

I fremskrivningerne indgår forsuring af svinegylle både med en reduktionseffekt for NH₃ og CH₄. Reduktionseffekten for CH₄-emissionen er antaget at være 60 % af den samlede emission fra stald og lager (Hansen et al., 2015).

Beregningerne for CH₄-emission fra gødningshåndtering er ikke opdelt i emission fra stald og emission fra lager i emissionsopgørelserne og fremskrivningerne, men regnes med én emissionsfaktor, der dækker både stald og lager.

Reduktion i den indirekte N₂O-emission fra NH₃-fordampning er inkluderet i både emissionsopgørelserne og fremskrivninger, da reduktion i emissionen af NH₃ pga. forsuring er inkluderet i emissionsberegningerne.

13.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Hvis effekten af forsuring på CH₄-emissionen fastsættes til 60 %, vil det i emissionsberegningerne have en effekt tilsvarende den angivet i klimateffekttabellen for den andel af svin, der er i stalde med forsuring.

For den indirekte N₂O-emission er effekten i reduktion af NH₃ pga. forsuring ikke indregnet på samme måde i emissionsopgørelserne og fremskrivninger, som gjort i klimateffekttabellen.

I opgørelserne tillægges den reducerede N fra emissionen til de næste led i kæden, altså ved forsuring i stalden kommer der mere N i lager og ved udbringning. Reduktionsfaktoren er i opgørelserne for svinegylle forsuret i stald 64 %, som angivet i teknologilisten (MST, 2022). Derudover er emissionsfaktorerne (EF) for NH_3 fra udbringning forskellig i forhold til beregningerne til klimaeffekttabellen. I opgørelserne bruges EF givet i Hafner et al. (2021) kombineret med data for andel gylle, der er bragt ud på et givet tidspunkt og med en given metode. EF er så en vægtet værdi af disse. Ses der på indirekte emission af N_2O i CO_2 -ækv per ton svinegylle, der er forsuret i stalden, reduceres emissionen ca. 2 kg CO_2 -ækv / ton gylle alt efter, hvilket staldsystem der regnes på (her er der kun regnet på slagtesvin).

13.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Gylleforsuring anses ikke at have nogen effekt på LULUCF-opgørelsen.

14 Hyppig udslusning af svinegylle

14.1 Beskrivelse af virkemiddel

Hyppig udslusning betyder, at gyllen hurtigere overflyttes fra stalden til en gylletank. Så i stedet for eksempelvis at lave udslusning af gylle en gang om måneden, udsluses det i stedet en gang om ugen. Da temperaturen i gylletanken er lavere end i stalden, emitteres der mindre metan.

14.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

Metanemissionen fra svinegylle er i klimaeffekttabellen 2,39 kg CH₄/ton gylle (Petersen et al., 2020) og fordelingen af emissionen er 69 % fra stalden og 31 % fra lageret. Hyppig udslusning giver en reduktion på 40 % af staldemissionen og en 40 % forøgelse af potentialet for metanemissionen fra lageret, som uden bioforgasning vil give en meremission fra lagret på $2,39 \times 0,31 \times -0,4$ kg CH₄/ton. Reduktionen beregnes som:

$(2,39 \text{ kg CH}_4/\text{ton gødning} \times 0,69 \times 0,4 + 2,39 \text{ kg CH}_4/\text{ton gødning} \times 0,31 \times -0,4) \times 25$
kg CO₂-ækv/kg CH₄ = 9 kg CO₂-ækv/ton gødning

Tabel 14.1. Drivhusgaseffekter, kg CO₂-ækvivalenter pr. ton husdyrgødning.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0	9	0	0	9,1

I 2022 afleveringen af emissionsopgørelserne for året 2020, er metanemissionen fra svinegylle også 2,39 kg CH₄/ton gødning, så dette giver den samme reduktionseffekt såfremt der anvendes metode som er anvendt i klimaeffekttabellen.

14.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Opholdstiden for gylle i stalden indgår i både emissionsopgørelserne og fremskrivningerne i beregningerne for CH₄. Hyppig udslusning indgår dog ikke i emissionsopgørelserne, da det ikke er et udbredt virkemiddel i produktionen endnu, og der findes ikke jævnligt opdaterede data for dette. Der er dog en forventning om, at det bliver væsentlig udbredt, så det er med i fremskrivningerne fra 2022 (KF22, 2022).

14.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Rettes tallet for HRT-dage (Hydraulic Retention Time) i modellen, der beregner MCF (Methane Conversion Factor), som bruges i de nationale emissionsopgørelser og fremskrivninger, fra 18 dage (gennemsnit antal HRT-dage for svinegylle i 2020) til 7 dage, giver det en forskel på MCF for ikke-bioforgasset svinegylle på -38 %, som svarer til en reduktion på 22 kg CO₂-ækv/ton husdyrgødning. Modellen tager højde for at lavere opholdstid i stalden, giver mere VS i lagret og dermed højere emission fra lagret. Effekten af hyppig udslusning i modellen er højere i stalden (effekt på ca. 60 %), mens meremissionen i lagret er lavere (effekt på ca. 14 %) i forhold til effekten angivet i klimaeffekttabellen.

Det skal bemærkes at modellen der anvendes i den nationale opgørelse er bygget op omkring en lineær tilgang af lagret gylle i forhold til langringskapaciteten i det pågældende staldsystem. Ved hyppig udslusning er det kendt at det ikke er muligt at tømme gyllekanalen helt. Derfor vil usikkerheden i den nationale model øges jo oftere der sker en udslusning (lavere HRT).

Tabel 14.2. Reduktion ved hyppig udslusning i emissionsopgørelser og fremskrivninger

	Ubehandlet gylle
	Svin
kg CH ₄ /ton gødning	2,39
Reduktion i MCF, %	-38
Reduktion, kg CH ₄ /ton gødning	-0,90
Reduktion, kg CO ₂ -ækv/ton gødning	-22,4

14.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Hyppig udslusning anses ikke at have nogen effekt på LULUCF-opgørelsen.

15 Køling af svinegylle

15.1 Beskrivelse af virkemiddel

Gyllekøling er en teknologi, som er udviklet til reduktion af ammoniaktab fra den gylle, der opsamles under spaltegulve, men en sænkning af gyllens temperatur vil også hæmme den biologiske omsætning i gyllen, herunder metanproduktion, og det kan give en reduktion af metanemissionen. Det giver dog for både ammoniak og metan en lidt større risiko for emission under den efterfølgende lagring.

15.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

Metanemissionen fra svinegylle er i klimaeffekttabellen 2,39 kg CH₄/ton gylle (Petersen et al., 2020), og fordelingen af emissionen er 69 % fra stalden og 31 % fra lageret. Gyllekøling antages at give en reduktion på 40 % af staldemissionen og en 40 % forøgelse af potentialet for metanemissionen fra lageret, som uden bioforgasning vil give en meremission fra lagret på $2,39 \cdot 0,31 \cdot 0,4$ kg CH₄/ton. Reduktionen beregnes som:

$$(2,39 \text{ kg CH}_4/\text{ton gødning} \cdot 0,69 \cdot 0,4 + 2,39 \text{ kg CH}_4/\text{ton gødning} \cdot 0,31 \cdot 0,4) \cdot 25 \text{ kg CO}_2\text{-ækv/kg CH}_4 = 9 \text{ kg CO}_2\text{-ækv/ton gødning}$$

Der er i klimaeffekttabellen ikke angivet ændring i N₂O-emissionen som følge af gyllekøling i stalden, men i Olesen et al. (2018) er den angivet til ca. 1 kg CO₂-ækv/ton gødning som følge af reduktion i indirekte N₂O-emission.

Tabel 15.1. Drivhusgaseffekter, kg CO₂-ækvivalenter pr. ton husdyrgødning.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0	9	0	-4,0	5,1

I 2022 afleveringen af emissionsopgørelserne for året 2020, er metanemissionen fra svinegylle også 2,39 kg CH₄/ton gødning, så dette giver ikke en ændring i reduktionseffekten.

15.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Køling af svinegylle indgår i emissionsopgørelserne, men kun med en reduktionseffekt for NH₃. Der indregnes ikke reduktionseffekt for CH₄. Dette skyldes manglende valid dokumentation for reduktionseffekten for CH₄, dvs. solid dokumentation for reduktionspotentialet ved danske drift- og klimaforhold, gerne i form af en peer reviewed artikel eller lignende, der kan godkendes i review af emissionsopgørelserne. Ydermere skal aktivitetsdata for udbredelsen af brug af gyllekøling opdateres, da det for nuværende (fra emissions år 2018) ikke har været muligt at få data.

I fremskrivningerne indgår køling af svinegylle både med en reduktionseffekt for NH₃ og CH₄. Reduktionseffekten for CH₄-emissionen er antaget at være 20 % af den samlede emission fra stald og lager (Hansen et al., 2015).

Beregningerne for CH₄-emission fra gødningshåndtering er ikke opdelt i emission fra stald og emission fra lager i emissionsopgørelserne og fremskrivningerne, men regnes med én emissionsfaktor, der dækker både stald og lager.

CO₂/energiforbrug indgår ikke i emissionsopgørelserne for landbrugssektoren, men er inkluderet i energisektoren.

15.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

I fremskrivningerne er reduktionseffekten for CH₄ for gyllekøling på 20 % af den samlede emission fra stald og lager, baseret på Hansen et al. (2015). Omregnes disse 20 % til kg CO₂-ækv/ton gødning, bliver effekten 12 kg CO₂-ækv/ton gødning - altså lidt højere end angivet i klimaeffekttabellen.

$2,39 \text{ kg CH}_4/\text{ton gødning} \cdot 0,2 \cdot 25 \text{ kg CO}_2\text{-ækv/kg CH}_4 = 12 \text{ kg CO}_2\text{-ækv/ton gødning}$

For den indirekte N₂O-emission (ændring i NH₃ emissionen) vil der være en reduktion fra stald på 0,41 kg CO₂-ækv/ton gødning, men en lille meremission for lager og udbringning på hhv. 0,01 kg CO₂-ækv/ton gødning og 0,04 kg CO₂-ækv/ton gødning, så samlet en reduktion i indirekte N₂O-emission på 0,4 kg CO₂-ækv/ton gødning.

15.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Gyllekøling anses ikke at have nogen effekt på LULUCF-opgørelsen.

16 Mellemafgrøder

16.1 Beskrivelse af virkemiddel

Mellemafgrøder er i Eriksen et al. (2020) beskrevet som afgrøder, der etableres og vokser mellem høst af en forudgående hovedafgrøde (typisk korn) og indtil såning af en efterfølgende vintersædsafgrøde. Ud over korsblomstrede arter (olieræddike og/eller gul sennep) kan frøgræs efter høst af græsfrø fortsætte som mellemafgrøde.

Etablering af mellemafgrøder forventes at reducere kvælstofudvaskningen, fordi kvælstof optages og tilbageholdes i jorden sensommer og tidligt efterår.

16.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

I klimaeffekttabellen fremgår det, at der forventes en samlet reduktion i drivhusgasemissionen på 0,4 ton CO₂-ækv/ha (Eriksen et al., 2020), men dette er ikke i overensstemmelse med summen af effekten fra LULUCF-sektoren på 0,5 ton CO₂-ækv/ha for LULUCF-sektoren og effekten fra landbrugssektoren om en øget N₂O-emission svarende til 0,06 ton CO₂-ækv/ha.

Estimatet i klimaeffekttabellen er baseret på en antagelse om, at effekten er halvdelen af den effekt, der er estimeret for efterafgrøder (jf. kapitel 6). Tidsperioden er ikke nærmere angivet.

For landbrugssektoren vil en halv effekt i forhold til efterafgrøder betyde en antagelse om en reduktion i N-udvaskning på 14 kg N/ha (jf. kapitel 6) og meremission fra afgrøderester på 20 kg N/ha (se tabel 6.3).

Der er i beregningen ikke inkluderet effekter som følge af ændringer i den indirekte emission fra ammoniakfordampning fra handelsgødning.

Tabel 16.1. Drivhusgaseffekter, ton CO₂-ækvivalenter pr. ha.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0,5	0	-0,06	0	0,4

Beregning af effekten baseret på data fra seneste rapportering i 2022.

Der er ikke i antagelserne for beregning i klimaeffekttabellen gjort antagelser om ændring i gødningsforbruget som følge af mellemafgrøder. Det samme vil gøre sig gældende i effektberegningen for emissionsopgørelsen.

- I klimaeffekttabellen er antaget et N-indhold i afgrøderester på halvdelen sammenlignet med efterafgrøder. I den nationale opgørelse anvendes estimatet 45 kg N/ha i afgrøderester for efterafgrøder baseret på første estimat af DCA (Sørensen, 2021), hvilket betyder, at halv effekt svarer til ca. 23 kg N/ha. Det betyder en samlet gødskning på 87 kg N/ha, hvoraf de 64 kg N/ha kommer fra hovedafgrøden korn (referencesituationen).
- Som angivet i klimaeffekttabellen er der i beregningen antaget en reduktion i N-udvaskningen på 14 kg N/ha.

Effekten ved mellemafrøder forventes i den nationale emissionsopgørelse, baseret på data fra 2022 rapporteringen, at give anledning til en øget emission på 0,07 ton CO₂-ækv/ha som følge af stigning i emissionerne fra øget N-indhold i afgrøderester, hvilket ikke opvejes af den lavere N-udvaskning. Effekten er på samme niveau som angivet i klimaeffekttabellen. I tabel 16.2 er vist fordelingen af emissionen på de direkte og indirekte emissionskilder. I bilag 6 er vist beregningsgrundlag for ændringen for de enkelte emissionskilder.

Tabel 16.2. Beregning af øget emissionen ved mellemafrøder i forhold til referencesituation (korn).

Sub2022 opdatering		Reference-situation	Mellem-afgrøder	Konsekvens
Direkte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	1104	1209	-105
Gødsning	kg CO ₂ -ækv/ha	802	802	0
Afgrøderester	kg CO ₂ -ækv/ha	302	407	-105
Indirekte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	164	133	31
NH ₃ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	32	32	0
N-udvaskning	kg CO ₂ -ækv/ha	132	101	31
Total landbrug	ton CO ₂ -ækv/ha	1,27	1,34	-0,07

16.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Mellemafrøder indgår ikke på nuværende tidspunkt i den nationale opgørelse eller i landbrugsfremskrivningen.

16.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Datagrundlaget for N-indholdet i afgrøderester er i den nationale emissionsopgørelse baseret på 2006 IPCC Guidelines, hvor mellemafrøder ikke er nævnt som afgrødekategori, og derfor forefindes heller ingen data herfor. Der er igangværende forskningsprojekter, som undersøger N-omsætningen for afgrøder, og på baggrund af den viden, som dog endnu er sparsom og forbundet med usikkerheder, har DCA i 2021 udarbejdet et første estimat på N i afgrøderester for efterafgrøder på 45 kg N/ha (Sørensen, 2021), men der er ikke i den forbindelse taget stilling til estimat for mellemafrøder.

Ændringer i N-udvaskningen og eventuelle ændringer i N₂O-emission fra anvendelsen af N i handelsgødning som følge af etablering af mellemafrøder vil blive afspejlet direkte i den nationale opgørelse. Ændringer i N-udvaskningen må forventes over tid at blive inkluderet i det nationale overvågningsprogram NOVANA, hvor institut for Ecoscience varetager beregning af N-udvaskning til grundvand, vandløb og hav, hvilket er de data, der anvendes til beregning af N₂O-emissionen fra N-udvaskning i den nationale opgørelse.

Effektberegningen, baseret på den seneste afrapportering af emissionsopgørelsen i 2022, er emissionen fra mellemafrøder beregnet til at medvirke til en stigning i emissionen på 0,07 ton CO₂-ækv/ha, hvilket er lidt højere end angivet i klimaeffekttabellen. Det skyldes, at der er antaget et lidt højere estimat for N-indholdet i afgrøderester end anvendt i klimaeffekttabellens beregning.

16.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

I den nationale opgørelse indgår mellemafgrøder ikke, fordi der er stor usikkerhed omkring det årlige kulstofinput, et meget lille areal i Danmark kombineret med manglende historiske data for mellemafgrøder. I de nuværende efterafgrødetabeller fra Landbrugsstyrelsen, baseret på data fra indberetninger til skemaet "Gødningskvote og efterafgrøder" (GKEA), er der rapporteret 7300 ha i 2020.

17 Omlægge til økologi

17.1 Beskrivelse af virkemiddel

En af de største forskelle mellem den konventionelle og den økologiske produktion ligger fortrinsvis i driftsforskelle, som f.eks. areal med efterafgrøder, større andel med græs, staldindretning, opbevaring og udnyttelse af husdyrgødning, græsningsdage, samt regelsæt specifikt for økologisk drift som f.eks. forbud mod anvendelse af handelsgødning, som alle kan have indflydelse på emissionen, både som mere eller mindre emission. Langt størstedelen af emissionen fra landbrugssektoren, økologisk såvel som konventionel drift, er knyttet til husdyrproduktionen med udledning af metan fra dyrenes omsætning af foder, samt lattergas, som er knyttet til omsætning af kvælstof i hele kæden fra husdyrenes udskillelse af gødning til udbringning af handels- og husdyrgødning på marken. Hertil kommer bidrag fra omsætning af kulstof i jordpuljen og udledninger fra energiforbruget.

17.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

I klimaeffekttabellen er der ikke angivet estimater for effekten af omlægning til økologisk produktion. Dog er der efterfølgende udgivet et notat ”Estimering af national klimaeffekt for omlægning til økologisk jordbrug” (Kristensen et al., 2020), hvori det konkluderes, at ved sammenligning af konventionel og økologisk produktion inden for den samme driftsgren er der en reduktion i emissionerne pr. hektar i Danmark, svarende til 0,8 kg ton CO₂-ækv/ha ved planteavl, 3,6 ton CO₂-ækv/ha ved kvægproduktion og 3,7 ton CO₂-ækv/ha ved svineproduktion under antagelse af, at der tages højde for ændringer i jordens kulstofpulje, hvilket må anses for mest retvisende. Endvidere konkluderes i notatet, at såfremt der tages højde for den nuværende arealmæssige sammensætning af driftsgrene inden for økologisk og konventionel produktion, er der estimeret en generel lavere emission fra økologiske arealer på mellem 1,2 og 2,0 ton CO₂-ækv/ha afhængig af metoden til fastlæggelse af arealfordeling, når ændringer i jordpuljen indregnes (Kristensen et al., 2020).

Estimatet i notatet (Kristensen et al., 2020) er baseret på LCA-studier (Livscyklusanalyse-studier), der er en opgørelsesmetode, der metodemæssigt indregner klimabelastningen af et produkt igennem hele dets livscyklus, som f.eks. også indbefatter emissioner fra importerede hjælpestoffer som foder og handelsgødning. Dog er der i analysen alene estimeret de emissioner og det dyrkningsareal i Danmark, der er knyttet til hver af ovenstående driftsgrene med henholdsvis konventionel og økologisk produktion.

17.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Det er ikke for nuværende muligt i opgørelsen for landbrugssektoren at skelne mellem effekten af den økologiske- og konventionelle driftsform. Dog tages der indirekte højde for effekterne ved økologisk produktion, fordi data for den økologiske produktion indgår ved f.eks. udbytte i afgrøderne, mængde og type af gødning og andel af græs i sædskiftet. Det bør dog nævnes, at der for produktion af høns og slagtekyllinger er specifikke data vedrørende foder og gødningsproduktion for den økologiske driftsform, hvorfor emission fra stald og lager kan opgøres separat. Dette gælder dog ikke emis-

sioner relateret til marken. Ligeledes er der for svin fra 2019 udarbejdet normal for den økologiske produktion, så emissioner fra stald og lager kan opgøres separat, dog udgør den økologiske svineproduktion mindre end 1 % af den totale svineproduktion. Flere informationer om hvordan den økologiske landbrugsproduktion er inkluderet i den nationale emissionsopgørelse og fremskrivning henvises til for nyligt udgivet rapport fra DCE (Mikkelsen et al., 2022).

17.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

En differentiering af emissioner fra henholdsvis det konventionelle- og økologiske jordbrug vil i princippet kræve dobbelt datasæt af alle de variable, der indgår i emissionsberegningen, hvilket der på nuværende tidspunkt ikke er datagrundlag for.

I Kristensen et al. (2020) vurderes, at de konkrete emissionsfaktorer for metan og lattergas formodentlig ikke vil være afhængig af om produktionen er økologisk eller konventionel, men i højere grad afhænger af driftsforholdene som f.eks. valg af sædskifter, efterafgrøder, staldd typer, håndtering af husdyrgødning mv.

17.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Det vurderes, at de konkrete emissionsfaktorer for metan og lattergas ikke vil være afhængig af produktionsform, hvilket betyder, at forskelle mellem konventionel og økologisk produktion i relation til ændringer i jordens kulstofindhold primært vil afhænge af andelen af græs, efterafgrøder og husdyrgødning, uanset hvilken produktionsform de indgår i. Det er på nuværende tidspunkt ikke muligt at vurdere effekten af omlægning til økologisk produktion i den nationale emissionsopgørelse for LULUCF-sektoren.

18 Overdækning af gyllebeholdere med ventileret flydelag

18.1 Beskrivelse af virkemiddel

Det forventes, at der ved overdækning af gyllelagre med veludviklet og ventileret flydelag vil være en reduktion i emissionen af metan.

18.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

I klimaeffekttabellen er angivet en reduktion i metanemission som følge af ventileret flydelag i gyllebeholderen på 7,2 ton CO₂-ækv / ton gylle, baseret på gennemsnittet af 7,4 ton CO₂-ækv / ton for svinegylle og 7,0 ton CO₂-ækv / ton for kvæggylle.

I beregningen i klimaeffekttabellen er data for metanemission og gylleproduktion baseret på den nationale emissionsopgørelse rapporteret i 2020. For svinegylle er der i beregningen anvendt en gennemsnitlig metanemission for gylle fra slagtesvin, som ikke er biogasbehandlet, svarende til en metanemission på 2,39 kg CH₄ / ton gylle fra stald og lager. I Eriksen et al. (2020) er antaget, at lageret udgør 31 % af den samlede emission, og at reduktionspotentiallet for ventileret flydelag er 40 %.

$$\text{CH}_4 \text{ reduktion}_{\text{Svin}} = 7,4 \text{ ton CO}_2\text{-ækv / ton gylle} = 2,39 \text{ kg CH}_4 / \text{ton gylle} * 0,31 * 0,40 * 25 \text{ kg CO}_2 / \text{kg CH}_4$$

For kvæggylle er anvendt den gennemsnitlige metanemission for malkekvæg, som ikke er biogasbehandlet, baseret på data fra submission 2020, svarende til en metanemission på 1,48 kg CH₄ / ton gylle fra stald og lager. I Eriksen et al. (2020) er antaget, at lageret udgør 47 % af den samlede emission, og at reduktionspotentiallet for ventileret flydelag er antaget at være 40 %.

$$\text{CH}_4 \text{ reduktion}_{\text{Kvæg}} = 7,0 \text{ ton CO}_2\text{-ækv / ton gylle} = 2,39 \text{ kg CH}_4 / \text{ton gylle} * 0,47 * 0,40 * 25 \text{ kg CO}_2 / \text{kg CH}_4$$

Tabel 18.1. Drivhusgaseffekter, kg CO₂-ækvivalenter pr. ton husdyrgødning.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0	Kvæg 7,0 Svin 7,4	?	0	7,2

I beregningen er ikke taget højde for eventuelle ændringer i N₂O-emissionen, men det kan være tilfældet, at ventileret flydelag i gyllebeholderen har effekt på ændring i N₂O-emissionen. Ligeledes er der heller ikke i beregningen taget højde for eventuelle effekter på NH₃-emissionen eller N-udvaskningen.

En opdatering, baseret på data vedrørende den totale metanemission og gylleproduktion fra henholdsvis svine- og kvægproduktionen fra seneste emissionsopgørelse rapporteret i 2022 og de i klimaeffekttabellen antagelser om reduktionspotential og andel af emission fra lageret, viser en forventet reduktion i opgørelsen på 7,4 kg CO₂-ækv / ton for svinegylle og 6,9 CO₂-ækv / ton for kvæggylle. I tabel 18.2 er vist beregningsgrundlaget for opdateringen.

Tabel 18.2. Effektberegning af ventileret flydelag fra gyllebeholder, baseret på data fra emissionsopgørelsen rapporteret i 2022.

Svinegylle		
Gennemsnitlig kg CH ₄ /ton gylle		2,39
Beregning af effekt:		
31 % af CH ₄ kommer fra lager*		0,31
Reduktionspotentiale 40 %*		0,40
Reduktionseffekt	kg CH ₄ /ton gylle	0,30
Reduktionseffekt	kg CO ₂ -ækv/ton gylle	7,4
Kvæggylle		
Gennemsnitlig kg CH ₄ /ton gylle		1,47
Beregning af effekt:		
47 % af CH ₄ kommer fra lager*		0,47
Reduktionspotentiale 40 %*		0,40
Reduktionseffekt	kg CH ₄ /ton gylle	0,28
Reduktionseffekt	kg CO ₂ -ækv/ton gylle	6,9

*Antaget i klimaeffekttabel, Eriksen et al., 2020.

18.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Anvendelse af ventileret flydelag i gyllebeholdere er ikke en teknologi, der på nuværende tidspunkt er inkluderet i den nationale opgørelse. Det vil kræve en solid dokumentation af reduktionspotentialet for at blive inkluderet i opgørelsen. Såfremt det tænkes, at ventileret flydelag i gyllebeholdere ikke sker i alle gyllebeholdere, vil der i relation til emissionsopgørelsen også være behov for data for udbredelsen af ventileret flydelag for gyllebeholdere.

18.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Effekten i emissionsopgørelsen for fuld ventileret flydelag fra gyllebeholdere, vil med antagelser angivet i klimaeffekttabellen forventes at give anledning til en reduktion i CH₄-emissionen på henholdsvis 7,4 kg CO₂-ækv / ton svinegylle og 6,9 CO₂-ækv / ton kvæggylle, hvilket er på linje med estimatet angivet i klimaeffekttabellen.

18.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Overdækning af gyllebeholdere anses ikke at have nogen effekt på LULUCF-opgørelsen.

19 Randzoner på mineraljord

19.1 Beskrivelse af virkemiddel

For dyrkningsfrie randzoner (og andre arealer som vandløbsnære arealer, overrislingsarealer og genetablerede vådområdetyper som enge og lavmoser) ses ofte, at disse arealer har højt indhold af næringsstoffer i rodzonen, som stammer fra tidligere intensive udnyttelse, eller fordi arealerne stadig modtager næringsrigt drænvand eller næringsrigt overfladenært grundvand fra de omkringliggende marker (Eriksen et al., 2020). Fjernelse af den overjordiske biomasse ved afhøstning vil kunne reducere jordens næringsstofpulje og dermed medvirke til en reduktion i kvælstofudvaskningen.

I Eriksen et al. (2020) er angivet, at etablering af randzoner normalt vil ske ved omlægning af landbrugsjord. Afhængig af arealanvendelsen, kan randzoner betragtes som enten permanent udtagning eller kortvarig brak i omdrift med tilsvarende reduktioner i drivhusgasemissioner. I denne besvarelse sammenlignes med udtagning af arealer i omdrift til permanente græsarealer.

19.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

I klimaeffekttabellen er angivet en årlig effekt på 2 ton CO₂-ækv/ha, hvoraf størstedelen antages at ske i landbrugssektoren med 1,1 ton CO₂-ækv/ha, mens LULUCF-sektoren forventes at bidrage med 0,5 ton CO₂-ækv/ha og en ændring i energiforbruget forventes at udgøre 0,35 ton CO₂/ha.

I Eriksen et al. (2020), samt DCA Excel beregningsark, der ligger til grund for klimaeffekttabellen, refereres til data, som svarer til udtagning af landbrugsjord i drift på 1,6 tons CO₂-ækv/ha (Eriksen et al., 2020 - bilag 3). Dog er dette estimat lavere end det de 2,0 ton CO₂-ækv/ha, som er angivet i klimaeffekttabellen (tabel 19.1). Sammenligning af tallene viser at forskellen hovedsagelig skyldes en ændring i estimatet for CO₂-optag i jord (LULUCF).

Tabel 19.1. Drivhusgaseffekter, ton CO₂-ækvivalenter pr. ha.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0,5	0	1,1	0,35	2,0

Antages det, at etablering af randzone-areal tages ud af landbrugsdrift og erstatter et areal med dyrkning af korn, vil det i den nationale opgørelse svare til, at arealet ikke længere indgår i opgørelsen, og dermed svarer reduktionen i emissionen til det, som udledes fra kornmarken. I bilag 1 er angivet en nærmere beskrivelse af antagelser og beregningen for emissionen for referencesituationen, hvilket er estimeret til 1,3 ton CO₂-ækv/ha, baseret på data fra af-rapporteringen i 2022. Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

I emissionsopgørelsen vil ændringer i arealanvendelsen, som udtagning af landbrugsareal, blive afspejlet, fordi data herfor baseres på Landbrugsstatistikken varetaget af Danmarks Statistik.

19.2.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

I en effektberegning baseret på data fra den senest rapporterede nationale emissionsopgørelse i 2022, forventes etablering af randzone sammenlignet med referencesituationen at give anledning til en reduktion på 1,3 ton CO₂-ækv/ha, hvilket er en lidt større reduktion på de 1,1 ton CO₂-ækv/ha, som er angivet i klimaeffekttabellen.

19.2.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Etablering af randzoner regnes på samme måde som ugødede permanente græsarealer / uslået brak. Disse er beskrevet i kapitel 5.

Gennemsnitligt forventes det, at ved overgang fra en blandet salgsafgrøde til permanent brak / slåningsbrak vil der ske et årligt tab på 0,36 ton CO₂/ha/år (kapitel 5) (svarende til en tilsvarende stigning i de årlige udledninger) og ikke de i klimaeffekttabellen opførte opbygning på 0,5 ton CO₂/ha/år. Klima-effekttabellens opgørelse er for en ikke nærmere angivet tidsperiode og for en ikke angivet jordtype. Dette kan med den nuværende opsætning og med de opstillede forudsætninger ikke gendrives med simuleringskørslerne med C-TOOL.

20 Reduceret kvælstofnorm

20.1 Beskrivelse af virkemiddel

I klimaeffekttabellen refereres der til virkemidlet ”Reduceret gødningsanvendelse”, hvilket må betragtes at være omfattet i kapitlet ”Reduceret tilførsel af mineralsk kvælstofgødning” i Eriksen et al. (2020).

Ved reduceret kvælstoftilførsel tilføres mindre mængder mineralsk kvælstof, idet tilførslen med husdyrgødning antages at være uændret. 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 udvaskning.

20.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

I klimaeffekttabellen er angivet en forventet ændring i emissionen på 5,1 kg CO₂-ækv / ha per kg N reduceret i anvendelsen af handelsgødning. Som følge af reduktion i 1 kg N i handelsgødning er det beregnet at der må forventes en stigning i emissionen fra LULUCF-sektoren på 1 kg CO₂-ækv. Modsat vil der forventes en reduktion i N₂O-emissionen fra landbrugssektoren på 6,2 kg CO₂-ækv / kg N reduceret i handelsgødning.

I beregningsgrundlaget for estimatet i klimaeffekttabellen er anvendt samme datagrundlag som angivet Eriksen et al. (2020) bilag 3, hvilket er baseret på data fra den nationale emissionsopgørelse for år 2018, afrapporteret i 2020.

Tabel 20.1. Drivhusgaseffekter, kg CO₂-ækvivalenter pr. kg reduceret N-input.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
-1,0	0	6,2	0	5,1

Grundlæggende anvendes der i emissionsopgørelsen samme beregningsmetode, som den der ligger til grund for klimaeffekttabellen, hvor der regnes på den direkte N₂O-emission (gødskning + N i afgrøderester) og den indirekte N₂O-emission (ammoniakemission og N-udvaskning). I beregningen baseret på 2022 afrapporteringen, er taget udgangspunkt i referencescenariet svarende til et areal dyrket med korn, hvor gødskningsniveauet er 171 kg N / ha (se bilag 1). Effektberegningen er således baseret på en emission ved gødskning på 170 kg N / ha svarende til en reduktion i kvælstofnormen på et kg.

I tabel 20.2 er angivet den forventede ændring i emissionen som følge af, at handelsgødningsforbruget bliver reduceret med 1 kg N med antagelser baseret på data fra 2022 rapporteringen fordelt på emissionen på de direkte og indirekte emissionskilder. I bilag 7 er vist beregningsgrundlaget for ændringen for de enkelte emissionskilder.

Således ses, at der i den nationale emissionsopgørelse ved en reduktion på 1 kg N udbragt, forventes at være en reduktion fra landbrugssektoren på 7,4 kg CO₂-ækv.

Tabel 20.2. Beregning af reduktion i emissionen ved en reduktion i gødsningstildelingen på 1 kg N udbragt.

Sub2022 opdatering		Referencesituation	Ved reduktion af 1 kg N udbragt	Konsekvens
Direkte emission	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	1.104	1.097	6,4
Gødsning	Kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	802	797	4,7
Afgrøderester	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	302	300	1,8
Indirekte emission	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	164	163	1,0
NH ₃ -emission	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	32	32	0,2
N-udvaskning	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	132	131	0,8
Total landbrug	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	1.268	1.260	7,4

20.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

I den nationale emissionsopgørelse vil ændringer i handelsgødningens forbrug blive afspejlet i data fra Landbrugsstyrelsens statistik for salget af handelsgødning. Såfremt en reduktion i handelsgødningens forbrug afspejler sig i afgrødernes udbytte, vil dette blive reflekteret i Danmarks Statistik for afgrødeudbytter og dermed indgå i opgørelsen. Ligeledes vil eventuelle ændringer løbende blive reflekteret i data fra NOVANA varetager af institut for Ecoscience, som anvendes som datagrundlag for N-udvaskningen i opgørelsen.

20.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

I en effektberegning baseret på data fra den senest rapporterede nationale emissionsopgørelse i 2022 forventes en reduktion på 1 kg N i handelsgødning udbragt at give anledning til en reduktion på 7,4 kg CO₂-ækv, hvilket er en lidt større reduktion end de 6,2 kg CO₂-ækv, som er angivet i klimaeffekttabellen. Forskellen skyldes, at der i klimaeffekttabellen antages at N i afgrøderester udgør 21 % af N tilført som al gødning (husdyrgødning + handelsgødning + græs), mens N i afgrøderester i referencescenariet udgør 38% af tilført N. Denne forskel skyldes, at der i forbindelse med 2022 afleveringen blev foretaget en korrektion i beregningen af N i afgrøderester, hvilket betød en øget mængde N. I forbindelse med en kvalitetssikringsprocedure af beregningen blev det tydeligt, at N-indhold i afgrøderester under jorden, skulle baseres på mængden af tørstof fra høstede afgrøder og tørstof indhold i afgrøderest over jorden. Hidtil er beregningen alene baseret på tørstof i tørstofmængde i høstede afgrøder. En ændring i gødsningen vil således have større effekt i beregningen i den nationale opgørelse. Det gøres opmærksom på, at ændringer i klimaforhold vil påvirke emissioner fra N-udvaskning og N indhold i afgrøderester, som dermed vil betyde at en effektvurdering kan ændre sig fra år til år.

20.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

En reduceret N-tildeling vil alt andet lige påvirke det samlede høstudbytte og dermed også inputtet til C-TOOL beregningerne, hvilket igen giver et mindre input af organisk materiale til jorderne. Samlet vil det medføre en mindre nedadgående trend i forhold til nudrift. Det er ikke muligt at vurdere dette kvantitativt da DCE ikke er vidende om den afledte effekt på høstudbytterne, men effekten vil være begrænset på LULUCF-opgørelsen.

21 Reduktion af kvæg

21.1 Beskrivelse af virkemiddel

En reduktion i antallet af dyr vil give en reduktion af emissionerne, der er forbundet direkte med dyreholdet, dvs. emissioner fra stald og lager.

Ved reduktion i antal dyr vil der være mindre husdyrgødning til brug i marken, men dette kan erstattes med handelsgødning, så dette tages ikke med i effektberegningerne.

21.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

Der er i klimaeffekttabellen ikke beregnet en effekt af reduktion i antallet af kvæg og angivet i bemærkningsfeltet i klimaeffekttabellen er angivet: Ingen aktuelle analyser at henvise til (Petersen, 2020).

21.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

I emissionsopgørelserne indgår antallet af dyr, så ændringer i antal dyr indgår automatisk, hvis det er afspejlet i diverse statistikker (Danmarks Statistik), der bruges til estimering af antal dyr. I fremskrivningerne indgår også en estimeret udvikling i antallet af dyr, så forventes der en reduktion i antallet af kvæg, vil det indgå i beregningerne.

Derudover er der i forbindelse med fremskrivningen udført i 2020 (BF2020, 2020) lavet en følsomhedsanalyse af emissionsberegningerne med plus minus 15 % i antal malkekvæg.

21.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Til estimering af effekten af en reduktion i antallet af kvæg kan bruges gennemsnitsemmissionen pr. dyr, IEF (Implied Emission Factor). I tabel 21.2 er vist IEF opdelt på malkekvæg og øvrige kvæg³. Samlet reduceres emissionen fra stald og lager med 5,4 tons CO₂-ækv pr. malkeko og 1,5 tons CO₂-ækv pr. dyr i gennemsnit for øvrige kvæg for hvert dyr, der reduceres med.

Tabel 21.2. Gennemsnitsemmission per dyr per år for 2020.

IEF	CO ₂ -ækv	CH ₄ fordøjelse	CH ₄ gødning	N ₂ O gødning
	t CO ₂ pr. dyr pr. år	kg CH ₄ pr. dyr pr. år	kg CH ₄ pr. dyr pr. år	kg N ₂ O pr. dyr pr. år
Malkekvæg	5,44	157,41	48,77	0,95
Øvrige kvæg	1,49	40,87	14,41	0,37

³ Øvrige kvæg består af grupperne: Opdræt (kvier) 0-6 mdr., Opdræt (kvier) 6 mdr.-kælvning, Tyre 0-6 mdr., Tyre 6 mdr.-slagtning og Ammekvæg. Derudover opdeles for opdræt og tyre i stor race og jersey og ammekvæg opdeles i tre størrelser ud fra vægt (under 400 kg, 400-600 kg og over 600 kg)

21.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

En reduktion af kvægholdet vil medføre et mindre areal med græs i omdrift, et mindre areal med majs til foder og en mindre mængde husdyrgødning kombineret med et stigende areal med salgsafgrøder, herunder en større mængde ikke bjærget halm. En samlet effektvurdering er ikke foretaget, men vurderes at ville give en lidt større emission i forhold til nudrift.

22 Reduktion af svin

22.1 Beskrivelse af virkemiddel

En reduktion i antallet af dyr, vil give en reduktion af emissionerne, der er forbundet direkte med dyreholdet, dvs. emissioner fra stald og lager.

Ved reduktion i antal dyr vil der være mindre husdyrgødning til brug i marken, men dette kan erstattes med handelsgødning, så dette tages ikke med i effektberegningerne.

22.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

Der er i klimaeffekttabellen ikke beregnet en effekt af reduktion i antal svin og angivet i bemærkningsfeltet i klimaeffekttabellen er angivet: Ingen aktuelle analyser at henvise til (Petersen, 2020).

22.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

I emissionsopgørelserne indgår antallet af dyr, så ændringer i antal dyr indgår automatisk, hvis det er afspejlet i diverse statistikker, der bruges til estimering af antal dyr. I fremskrivningerne indgår også en estimeret udvikling i antallet af dyr, så forventes der en reduktion i antallet af svin, vil det indgå i beregningerne.

Derudover er der i forbindelse med fremskrivningen i 2022 lavet følsomhedsanalyser med plus minus 15 % i antal svin, samt plus minus 10 % i antal eksporterede smågrise (KF22, 2022).

22.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Til estimering af effekten af en reduktion i antallet af svin kan bruges gennemsnitsemmission pr. dyr, IEF (Implied Emission Factor). I tabel 22.2 er vist IEF for svin som et gennemsnit pr. årsvin. Smågrise og slagtesvin har en produktionsperiode på mindre end et år, og produktionscyklussen var i 2020 5,1 dyr pr. årsvin for smågrise og 3,4 dyr pr. årsvin for slagtesvin. IEF er i tabel 22.2 også angivet pr. dyr opdelt på søer, smågrise og slagtesvin, hvor det for smågrise og slagtesvin er angivet pr. produceret dyr.

Samlet reduceres emissionen fra stald og lager med 0,1 tons CO₂-ækv pr. svin (årsvin) i gennemsnit for hvert dyr, der reduceres med.

Tabel 22.2. Gennemsnitsemmission pr. dyr pr. år for 2020.

IEF	CO ₂ -ækv	CH ₄ fordøjelse	CH ₄ gødning	N ₂ O gødning
	t CO ₂ pr. dyr pr. år	kg CH ₄ pr. dyr pr. år	kg CH ₄ pr. dyr pr. år	kg N ₂ O pr. dyr pr. år
Svin*	0,13	1,05	3,39	0,06
Søer*	0,42	2,79	11,53	0,20
Smågrise**	0,02	0,40	0,21	0,004
Slagtesvin**	0,08	1,48	1,33	0,02

* pr. årsvin

** pr. produceret dyr

22.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

En reduktion af svineholdet vil medføre mindre husdyrgødning og dermed et begrænset mindre input af organisk materiale til landbrugsjorderne. Samlet vurderes det at have en meget begrænset effekt på LULUCF-opgørelsen.

23 Skærpet udnyttelseskrav for N i husdyrgødning

23.1 Beskrivelse af virkemiddel

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 (Eriksen et al., 2020).

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 (Eriksen et al., 2020).

Der gøres opmærksom på at de beregnede effekter for skærpet udnyttelseskrav for N i husdyrgødning ikke direkte kan sammenlignes med de beregnede effekter for reduceret kvælstofnorm (kapitel 20), da der i effekter for reduceret kvælstofnorm indgår reduktion i N fra afgrøderester, som både har effekt på emission fra landbrug og LULUCF.

23.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

Effekten angivet i klimaeffekttabellen (Petersen, 2020) er angivet til 5,2 kg CO₂-ækv/kg N reducerede handelsgødning og er baseret på Eriksen et al. (2020).

Som beskrevet ovenfor vil et skærpet krav til udnyttelse af N i husdyrgødningen give lavere forbrug af handelsgødning. For handelsgødning er der tre emissionskilder til N₂O-emission: Direkte emission, indirekte emission fra udvaskning og indirekte emission (atmosfærisk deposition) fra NH₃- og NO_x-emission. I beregningerne lavet til klimaeffekttabellen er der en enkelt forskel til beregninger lavet i emissionsopgørelserne, da der ikke er taget højde for NO_x-emission i forbindelse med indirekte emission fra atmosfærisk deposition, dette har dog en ubetydelig effekt på effekten angivet med én decimal.

Tabel 23.1. Drivhusgaseffekter, kg CO₂-ækvivalenter pr. kg N reducerede handelsgødning.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0	0	5,2	0	5,2

23.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Et skærpet udnyttelseskrav for N i husdyrgødning vil i emissionsopgørelserne ikke indgå direkte, men vil, som i klimaeffekttabellen indgå som et lavere forbrug af handelsgødning. Data for mængden af handelsgødning er baseret på Landbrugsstyrelsens statistik for salg af handelsgødning.

I fremskrivningerne indgår udnyttelseskrav for N i husdyrgødning, da mængden af handelsgødning estimeres ud fra mængden af N i husdyrgødning, N i anden gødning (så som slam mm), mængde N / ha i de seneste historiske år, samt fremskrivning af landbrugsarealet.

For både emissionsopgørelser og fremskrivninger vil skærpet udnyttelseskrav for N i husdyrgødningen indgå som en reduktion i mængden af N fra handelsgødning.

23.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Der indgår i både emissionsopgørelser og fremskrivninger de tre puljer af emission af lattergas fra handelsgødning; direkte emission, emission fra udvaskning og emission fra NH_3 - og NO_x -emission fra handelsgødning. Emissionsfaktorerne for de tre puljer er 1 % for direkte emission, 0,4-0,5 % for udvaskning (varierer over årene) og 1 % for emission fra NH_3 - og NO_x -emission fra handelsgødning. Emissionsfaktoren for NH_3 og NO_x er hhv. 3,3-4,8 % (varierer over årene) og 4 %. De samme emissionsfaktorer bruges i både emissionsopgørelserne og fremskrivninger. Som beskrevet ovenfor er der en lille uoverensstemmelse med beregningerne til klimaeffekttabellen, da der ikke er taget højde for NO_x -emission i forbindelse indirekte N_2O -emission fra NH_3 - og NO_x -emission. I emissionsopgørelserne og fremskrivninger bliver klimaeffekten 5,15 kg CO_2 -ækv / kg N reducerede handelsgødning, altså det samme som er angivet i klimaeffekttabellen, afrundet til én decimal.

23.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Skærpet udnyttelseskrav af N i husdyrgødning vurderes ikke at have nogen indflydelse på LULUCF-opgørelsen under forudsætning af, at høstudbytterne ikke påvirkes.

24 Tilsætningsstof til gyllen (NoGas)

Der er i klimaeffekttabellen ikke angivet nogen effekt for tilsætningsstof til gylle (NoGas) og i Hutchings et al. (2020) er der som bemærkning angivet: ”Ingen empirisk bevis at det virker”. Der er derfor ikke set nærmere på effekten af dette tiltag.

25 Udtag af omdriftsareal til permanent ugødet brak

25.1 Beskrivelse af virkemiddel

Effekten på emissionen ved udtagning af omdriftsareal afhænger af hvilket areal der tages ud, hvad arealet tidligere har været anvendt til og om udtagningen af arealet overgår til befæstede arealer (by / vej) eller om arealerne forbliver ugødsket eller overgår til græsning / slæt. En vigtig forudsætning for en reduktion i CO₂-emissionen vil være, at der sker en reduktion i gødskningen eller at gødskningen helt ophører. I klimaeffekttabellen er forudsat, at omdriftsarealet, der udtages, overgår til ekstensiv afgræsning, vedvarende græs uden slæt (Eriksen et al., 2020).

25.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

I klimaeffekttabellen er estimeret en reduktion i drivhusgasemissionen på 2,2 ton CO₂-ækv / ha, hvor halvdelen tildeles reduktion fra LULUCF-sektoren på 1,1 CO₂-ækv / ha, mens der fra landbrugssektoren og energisektoren er estimeret en reduktion på henholdsvis 0,7 CO₂-ækv / ha og 0,3 CO₂-ækv / ha.

I beregningen er antaget:

- At arealet overgår til ekstensiv græsning svarende til en N-gødskning på 75 kg N / ha (Eriksen et al., 2020 – s. 122).
- N i afgrøderester er baseret på forholdet mellem N-gødskningen (sum af husdyr- og handelsgødning og græsning) og det totale N indhold i afgrøderester er baseret på data fra den nationale emissionsopgørelse rapporteret i 2020. Dette svarer til en reduktion i N i afgrøderester på 23 kg N / ha.
- NH₃-emissionsfaktor for husdyrgødning baseret på rapporteringen i 2020.
- En reduktion i N-udvaskningen på 26 kg N / ha sammenlignet med de 61 kg N / ha er antaget som reference (Eriksen et al., 2020 s. 122).

Tabel 25.1. Drivhusgaseffekter, ton CO₂-ækvivalenter pr. ha.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
1,1	0	0,7	0,3	2,2

I relation til landbrugssektoren vil der i den nationale emissionsopgørelse som udgangspunkt anvendes samme beregningsmetode som anvendt i beregningen i klimaeffekttabellen. I beregningen er gjort følgende antagelser, baseret på seneste emissionsopgørelse rapporteret i 2022:

- Et gødskningsniveau på 75 kg N / ha, baseret på estimat angivet i Eriksen et al. (2020).
- N fra afgrøderester antages at være 7 kg N / ha pr. år, svarende til det beregnede N-indhold for græsarealer uden for omdrift med opløjning

hvert 10 år, baseret på data fra rapporteringen i 2022. Dette betyder et fald i N i afgrøderester på 53 kg N / ha.

- N-udvaskningen er estimeret til at være 26 kg N / ha, baseret på samme antagelse som i klimaeffekttabellen.

På baggrund af ovenstående antagelser og opdatering af data baseret på rapporteringen i 2022 er i tabel 25.2 vist den forventede effekt i emissionsopgørelsen ved udtagning af omdriftsareal til ugødet brak sammenholdt med referencesituationen, fordelt på direkte og indirekte emissionen. Effekten er opgjort til 0,8 ton CO₂-ækv / ha. I bilag 8 er vist beregningsgrundlag for ændringen for de enkelte emissionskilder.

Tabel 25.2. Beregning af reduktion i emissionen ved udtagning af omdriftsareal til ugødet brak i forhold til referencesituation (korn).

Sub2022 opdatering		Reference- situation	Ugødet brak	Konsekvens
Direkte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	1.104	384	720
Gødsning	kg CO ₂ -ækv/ha	802	451	451
Afgrøderester	kg CO ₂ -ækv/ha	302	32	269
Indirekte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	164	71	93
NH ₃ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	32	14	18
N-udvaskning	kg CO ₂ -ækv/ha	132	57	57
Total landbrug	ton CO ₂ -ækv/ha	1,27	0,45	0,81

25.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Ændringer i det dyrkede areal og estimat for N-indholdet i afgrøderester vil blive afspejlet i den nationale opgørelse, fordi ændringer i arealanvendelse og udbytter vil fremgå af Danmarks Statistik. Endvidere vil ændringer i N-udvaskningen over tid blive reflekteret i det nationale overvågningsprogram NOVANA, hvor N-udvaskningen estimeres årligt, som avendes som datagrundlag i den nationale emissionsopgørelse.

25.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

I en effektberegning baseret på data fra den senest rapporterede nationale emissionsopgørelse i 2022 forventes udtagning af omdriftsareal til ugødet brak sammenholdt med referencesituationen at give anledning til en reduktion på 0,8 ton CO₂-ækv / ha, hvilket er lidt højere end angivet i klimaeffekttabellen. Forskellen skyldes, at der i emissionsopgørelsen antages et større fald i N fra afgrøderester, fra de gennemsnitlige 64 kg N / ha for areal med korn (referencesituation) til 7 kg N / ha, svarende til fald på 53 kg N / ha. I klimaeffekttabellen antages et fald på 23 kg N / ha for afgrøderester baseret på ændring i mængde N-gødsning vil resultere i en tilsvarende ændring i N i afgrøderester, under forudsætning af at N i afgrøderester udgør 21 % af N udbragt (handelsgødning, husdyrgødning og græsning).

25.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Udtag af omdriftsareal til permanent ugødet brak adskiller sig ikke væsentligt fra "Braklægning (slåningsbrak; ikke permanent udtagning)", se kapitel 5. Forskellen skal mest tilskrives sandsynligheden for, at der sker en omlægning. Ved ugødet brak forstås en permanent tilstand, hvor den på stedet værende

årlige plantevækst primært skyldes mineralisering af det tilstedeværende organiske materiale i jorden sammen med en kvælstoftilførsel fra luften og en evt. kvælstoffiksering fra N-fikserende planter.

Som nævnt under kapitel 5 "Braklægning (slåningsbrak; ikke permanent udtagning)" har den nuværende opsætning af C-TOOL kun to inputvariable for græs, enten græs i omdrift eller permanent græs med hhv. 8,8 ton C/ha/år og 4,0 ton C/ha/år. Eriksen et al. (2020) antager, at der ved ugødet brak tilføres 75 kg N/ha via husdyrgødning. Med de nuværende inputvariable kan der ikke skelnes mellem de to typer af brak (slåningsbrak) og ugødet brak. Jf. gødningsvejledningen (LBST, 2022a) har alle afgrødekoderne under "Udyrkede arealer, vildtagre o.l." og "Særlige afgrødekoder i forbindelse med tilsagn eller miljøtiltag" (Afgrødekoderne 300-350) en kvælstoftildeling på 0 kg N/ha/år. Det er ikke muligt med de nuværende inputvariabler til C-TOOL at foretage en kvalificeret effektvurdering ved afgræsning af ugødede arealer. Uden tilførsel af ekstra gødning vil den årlige produktion af biomasse på stedet skyldes enten mineralisering af organisk materiale, nedbrydning af dødt græs, deponeret husdyrgødning, N-fiksering eller atmosfærisk deposition af kvælstof. Blicher-Mathiesen et al. (2020) angiver den samme kulstofopbyggende effekt på 1,1 ton CO₂/ha/år i deres vurdering af kulstofeffekten ved udtagning af arealer, hvor der græsses og afsættes husdyrgødning, og hvor arealet ved permanent udtagning ikke afgræsses men afslås en gang årlig. En beregning med den nationale opsætning med C-TOOL for udtag af omdriftsareal til permanent ugødet brak vil således give det samme udfald som kapitel 5 Braklægning (slåningsbrak; ikke permanent udtagning), hvor det vurderes at der gennemsnitligt forventes ved overgang fra en blandet salgsafgrøde til permanent brak/slåningsbrak, vil der ske et årligt tab på 0,36 ton CO₂/ha/år (svarende til en tilsvarende stigning i de årlige udledninger) og ikke den i klimaeffekttabellen opførte opbygning på 1,1 ton CO₂/ha/år. Klimaeffekttabellens opgørelse er for en ikke nærmere angivet tidsperiode og for en ikke angivet jordtype. Dette kan med den nuværende opsætning og med de opstillede forudsætninger ikke gendrives med simuleringskørslerne med C-TOOL.

26 Afgrøder med høj N-optagelse (frøgræs)

26.1 Beskrivelse af virkemiddel

Dette virkemiddel 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, hvilket 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 (Eriksen et al., 2020). Flerårige afgrøder som græs, dvs. både fodergræs og frøgræs, kan desuden befinde sig på marken flere år i træk inden de ompløjes, det er dog ikke defineret, hvor lang vækstsæsonen skal være for hver enkelt afgrøde (Eriksen et al., 2020).

26.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

I klimaeffekttabellen fremgår det, at der forventes en samlet reduktion i drivhusgasemissionen på 3,1 ton CO₂-ækv/ha (Eriksen et al., 2020), hvoraf den største ændring ses for LULUCF-sektoren med en reduktion på 2,9 ton CO₂-ækv/ha. For landbrugssektoren er estimeret en reduktion i N₂O-emissionen på 0,2 ton CO₂-ækv/ha.

I beregningen for N₂O fra landbrugssektoren er antaget følgende (Eriksen et al., 2020, side 134):

- En ændring i arealet fra korn til frøgræs, hvilket betyder at gødsningen ændres fra 200 kg N/ha til 170 kg N/ha.
- En reduktion af N-udvaskning på 29 kg/ha.

Tabel 26.1. Drivhusgaseffekter, ton CO₂-ækvivalenter pr. ha.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
2,9	0	0,2	0	3,1

I relation til landbrugssektoren vil der i den nationale emissionsopgørelse som udgangspunkt blive anvendt samme beregningsmetode, som anvendt i beregningen i klimaeffekttabellen. Baseret på seneste emissionsopgørelse rapporteret i 2022 og med nedenstående antagelser for beregningen forventes en stigning i N₂O-emissionen på 0,6 ton CO₂-ækv/ha som følge af ændring fra dyrkning af korn til frøgræs (1 årig).

Antagelser:

- Gødsning af frøgræs på 170 kg N/ha baseret på vurdering i Eriksen et al. (2020), hvilket er stort set det samme som referencesituationen i den nationale emissionsopgørelse baseret på opgørelsen afleveret i 2022.
- For N-udvaskningen er antaget samme estimat som i Eriksen et al. (2020) side 134 med en reduktion på 29 kg N/ha i forhold til referencesituationen på de 60 kg N/ha.

- Dyrkning af etårigt frøgræs antages at være på niveau med kløvergræs i omdrift, som i den nationale opgørelse rapporteret i 2022 er estimeret til at bidrage med 211 kg N/ha fra afgrøderester.

På baggrund af ovenstående antagelser og opdatering af data baseret på rapporteringen i 2022 er i tabel 26.2 vist den forventede effekt i emissionsopgørelsen ved omlægning fra korn (referencesituation) til dyrkning af etårigt frøgræs fordelt på direkte og indirekte emissionen. Effekten er opgjort til en stigning i emissionen på 0,62 ton CO₂-ækv/ha. I bilag 9 er vist beregningsgrundlag for ændringen for de enkelte emissionskilder. Såfremt der er tale om flerårige frøgræsmarker vil dette i beregningsopsætningen i emissionsopgørelsen blive håndteret ved at dividere total mængde N i afgrøderester med antal år for dyrkning. Det vil sige, hvis der antages en dyrkningsperiode for frøgræs på 2 år, vil N i afgrøderester estimeres til det halve, svarende til 205,5 kg N/ha, hvilket ligeledes ville halvere emissionen fra afgrøderester, og således betyde at emissionen vil øges mindre, svarende til 0,3 CO₂-ækv/ha.

Tabel 26.2. Beregning af øget N₂O-emissionen ved ændring i arealanvendelse fra korn til frøgræs (etårigt).

		Reference-situation	Frøgræs (1 årig)	Konsekvens
Direkte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	1.104	1.786	-682
Gødsning	kg CO ₂ -ækv/ha	802	797	5
Afgrøderester	kg CO ₂ -ækv/ha	302	988	-685
Indirekte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	164	100	64
NH ₃ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	32	32	<1
N-udvaskning	kg CO ₂ -ækv/ha	132	69	63
Total landbrug	ton CO ₂ -ækv/ha	1,27	1,89	-0,62

26.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Ændringer i det dyrkede areal og estimat for N-indholdet i afgrøderester vil blive afspejlet i den nationale opgørelse, fordi ændringer i arealanvendelse og udbytter vil fremgå af Danmarks Statistik. Endvidere vil ændringer i N-udvaskningen over tid blive reflekteret i det nationale overvågningsprogram NOVANA, hvor N-udvaskningen estimeres årligt, som avendes som datagrundlag i den nationale emissionsopgørelse.

26.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

I en effektberegning baseret på data fra den seneste rapporterede nationale emissionsopgørelse i 2022 forventes dyrkning af frøgræs (etårigt) i sædskifte sammenlignet med referencesituationen at give anledning til en stigning i N₂O-emissionen på 0,6 ton CO₂-ækv/ha, hvilket er væsentlig anderledes end angivet i klimaeffekttabellen, hvor frøgræs forventes at bidrage til en reduktion i emissionen. Grunden til at frøgræs giver anledning til en stigning i den nationale opgørelse er, at N-indholdet i frøgræs (etårigt) er betydeligt højere end for dyrkning af korn. Såfremt det antages, at frøgræsmarken dyrkes i en femårig periode, vil dette i den nationale opgørelse estimeres til at reducere N₂O-emissionen med 0,2 ton CO₂-ækv/ha.

26.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

I Eriksen et al. (2020) er afgrøder med høj N-optagelse (frøgræs) vurderet til at have en positiv kulstofeffekt på 2,9 ton CO₂ per ha. De 2,9 ton CO₂ er ligeledes angivet i Hansen et al. (2020). Tidsperspektivet er ikke angivet. Samtidig er det angivet: "Vurdering af kulstoflagring er usikker."

De 2,9 ton CO₂ pr. ha i Eriksen et al. (2020) er skønnet i Eriksen et al. (2014), som angiver, "der var og er ingen empiriske data til at understøtte skønnet."

I Hansen et al. (2020) angives, "Klimaeffekten af frøgræsdyrkning beregnet i forhold til korndyrkning er afhængig af hvilken art og sort, der dyrkes, da den tilladte kvælstofgødning varierer." Ud fra dette konkluderes det, at der i LULUCF sammenhænge vil være en overgang fra én afgrøde til en anden med et andet biomasseinput til jorden, som vil medføre ændringer i jordens kulstofpulje.

I de nationale opgørelser anvendes en dynamisk modellering af mineraljordernes kulstofbalance. Da initiativet omfatter en ændring i afgrødeanvendelsen fra korn mod græsmarker, skal der ses på ændringen i den årlige C-tilførsel. I kapitel 36 (Pyrolyse) er der foretaget en beregning af en gennemsnitlig salgsafgrødes C-input (tabel 36.3). Som et nationalt gennemsnit kan det opgøres til 4,3 ton C/ha/år. C-TOOL-beregningerne har kun to værdier for græsafrøder, hhv. ugødet græs uden for omdrift og gødet græs i omdrift, på hhv. 4,0 ton C/ha/år og 8,8 ton C/ha/år.

I forbindelse med denne rapport er der ikke kørt C-TOOL-scenarier for et øget græsareal. Den generelle betragtning er, at et øget C-input på den lange bane og med kontinuert tilførsel, dvs. at i dette tilfælde skal de ekstra hektar med frøgræs fortsætte fremover, vil give en stigning på 12 % af den årlige tilførsel. En ændring fra korndyrkning til gødet græsfrø/græsmark vil derfor skønsmæssigt øge den årlige C-mængde per ha på 0,54 ton C/ha/år svarende til 2,0 ton CO₂/ha/år over de næste 10-20 år. Dette er 31 % lavere end skønnet af Eriksen et al. (2014).

27 Afgrøder med høj N-optagelse (græs)

27.1 Beskrivelse af virkemiddel

Se tekst i kapitel 26.

27.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

Der er ikke angivet et estimat for dette tiltag i klimaeffekttabellen.

Dyrkning af græs vil beregningsmæssigt i emissionsopgørelsen beregnes på samme måde som for frøgræs, hvorfor konsekvensberegningen vil være den samme som givet for dyrkning af frøgræs, som er beskrevet i kapitel 26.

27.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Ændringer i det dyrkede areal og estimat for N-indholdet i afgrøderester vil blive afspejlet i den nationale opgørelse, fordi ændringer i arealanvendelse og udbytter vil fremgå af Danmarks Statistik. Endvidere vil ændringer i N-udvaskningen over tid blive reflekteret i det nationale overvågningsprogram NOVANA, hvor N-udvaskningen estimeres årligt, som avendes som datagrundlag i den nationale emissionsopgørelse.

27.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Dyrkning af græs vil beregningsmæssigt i emissionsopgørelsen beregnes på samme måde som for frøgræs, hvorfor konsekvensberegningen vil være den samme som givet for dyrkning af frøgræs, som er beskrevet i kapitel 26.

27.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

I Eriksen et al. (2020) er afgrøder med høj N-optagelse (græs) udgået med begrundelsen "Udgår pga. stor usikkerhed om effekt." Det er således ikke muligt at sammenholde det med den nationale opgørelse.

Alt andet lige kan det sammenlignes med "Afgrøder med høj N-optagelse (frøgræs)" i kapitel 26, fordi det vil være en udvidelse af græsarealet på bekostning af salgsafgrødearealet.

I forbindelse med denne rapport er der ikke kørt C-TOOL-scenarier for et øget græsareal. Den generelle betragtning er, at et øget C-input på den lange bane og med kontinuert tilførsel, dvs. at i dette tilfælde skal de ekstra hektar med frøgræs fortsætte fremover, vil give en stigning på 12 % af den årlige tilførsel. En ændring fra korndyrkning til gødet græsfrø/græsmark vil derfor skønsmæssigt øge den årlige C-mængde per ha på 0,54 ton C/ha/år svarende til 2,0 ton CO₂/ha/år over de næste 10-20 år. Dette er 31 % lavere end skønnet af Eriksen et al. (2014).

28 Afgrøder med høj N-optagelse (sukkerroer)

28.1 Beskrivelse af virkemiddel

Se tekst i kapitel 26.

28.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

I klimaeffekttabellen fremgår det, at der forventes en stigning i drivhusgas-emissionen på 0,1 ton CO₂-ækv / ha (Eriksen et al., 2020), hvoraf der er angivet en stigning på 0,4 ton CO₂-ækv / ha for LULUCF-sektoren, en reduktion på 0,2 ton CO₂-ækv / ha for landbrugssektoren og en reduktion på 0,07 ton CO₂-ækv / ha i energiforbruget.

I Eriksen et al., 2020 s. 134 er angivet informationer om effektberegning i relation til klimaet, men i beregningsgrundlag for landbrugssektoren nævnes alene estimat for gødskningen på 134 kg N / ha. Ligeledes er antagelser for beregninger heller ikke reflekteret i det Excel regneark, der ligger til grund for klimaeffekttabellen. I tiltaget er der nævnt sukkerroer, men i Eriksen et al. 2020 i kapitlet "Klima" handler beskrivelsen om fabriksroer, og det er ikke tydeligt, om det har en effekt. Således har det været vanskeligt at udrede beregningsgrundlaget for reduktionen på 0,2 kg CO₂-ækv. / ha.

Tabel 28.1. Drivhusgaseffekter, ton CO₂-ækvivalenter pr. ha.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
-0,4	0	0,2	0,07	-0,1

I beregningen for landbrugssektoren for den nationale emissionsopgørelse er indhentet informationer i Eriksen et al., 2020 i kapitlet "Afgrøder med stort kvælstofoptag" (s. 127-137), som gør det mulig at estimere en effekt svarende til, hvordan tiltaget vil blive afspejlet i den nationale opgørelse.

- Der er antaget et gødskningsniveau på 134 kg N / ha som angivet i Eriksen et al. (2020) i afsnit, der omhandler klimaeffekt (s.134). Dette gælder for fabriksroer.
- For N-udvaskning er antaget en reduktion på 18 kg N / ha, baseret på gennemsnitsestimatet angivet i Eriksen et al. (2020), hvor der på side 128 står nævnt, at der for fabriksroer kan forventes samme reduktion som for efterafgrøder, svarende til 12-24 kg N / ha.
- Antaget N i afgrøderester på 55 kg N / ha baseret på gennemsnit af årene 2010-2020 i den nationale opgørelse afleveret i 2022, hvilket er baseret på alle roer, fordi der i opgørelsen ikke skelnes mellem fabriksroer og sukkerroer.

På baggrund heraf er den forventede effekt i emissionsopgørelsen ved dyrkning af roer i forhold til referencesituationen (korn) antaget at medvirke til en reduktion i N₂O-emissionen på 0,3 ton CO₂-ækv / ha. I tabel 28.2 er vist emissionen, fordelt på direkte og indirekte emission. I bilag 10 er vist beregningsgrundlag for ændringen for de enkelte emissionskilder.

Tabel 28.2. Beregning af reduktion i emissionen ved dyrkning af roer i forhold til referencesituation (korn).

Sub2022 opdatering		Reference situation	Roer	Konsekvens
Direkte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	1.104	885	219
Gødsning	kg CO ₂ -ækv/ha	802	628	175
Afgrøderester	kg CO ₂ -ækv/ha	302	258	44
Indirekte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	164	118	46
NH ₃ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	32	25	7
N-udvaskning	kg CO ₂ -ækv/ha	132	93	39
Total landbrug	ton CO ₂ -ækv/ha	1,27	1,00	0,27

28.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Ændringer i det dyrkede areal og estimat for N-indholdet i afgrøderester vil blive afspejlet i den nationale opgørelse, fordi ændringer i arealanvendelse og udbytter vil fremgå af Danmarks Statistik. Ligeledes vil ændringer i N-udvaskningen over tid blive reflekteret i det nationale overvågningsprogram NOVANA, hvor N-udvaskningen estimeres årligt, som avendes som datagrund lag i den nationale emissionsopgørelse.

28.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

I en effektberegning baseret på data fra den senest rapporterede nationale emissionsopgørelse i 2022 forventes dyrkning af roer sammenlignet med referencesituationen (korn) at give anledning til en reduktion på 0,3 ton CO₂-ækv/ha, hvilket er en lidt større reduktion end de 0,2 ton CO₂-ækv/ha, som er angivet i klimateffekttabellen. Det har ikke været muligt indenfor projektets ramme at tilvejebringe datagrundlaget for beregningen angivet i klimateffekttabellen, men forskellen mellem effektberegningen i klimateffekttabellen og 2022 afleveringen vil med stor sandsynlighed skyldes forskel i beregning for N indhold i afgrøderester, fordi der i 2022 afleveringen er sket en korrektion i estimering af N i afgrøderester (refereres til afsnit 20.3.1).

28.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

I Eriksen et al. (2020) er effekten på jord for afgrøder med høj N-optagelse (sukkerroer) angivet med et årligt fald på 0,4 ton CO₂/ha/år.

I Hansen et al. (2020) angives ”på baggrund af udenlandske forsøg, at dyrkning af fabriksroer med udgangspunkt i en jord med f.eks. 1,2 % C (0-25 cm) vil betyde, at jordens kulstoflager reduceres med op til 300 kg C/ha/år, hvis roe-toppen fjernes. Hvis roetoppen i stedet efterlades, vil jordens lager af kulstof reduceres med 0 til 150 kg C/ha/år.”

I de nationale opgørelser anvendes en dynamisk modellering af mineraljordernes kulstofbalance. Da initiativet omfatter en ændring i afgrødeanvendelsen fra korn mod flere sukkerroer, skal der ses på ændringen i den årlige C-tilførsel. I kapitel 36 (Pyrolyse) er der foretaget en beregning af en gennemsnitlig salgsafgrødes C-input (tabel 36.3). Som et nationalt gennemsnit kan det opgøres til 4.3 ton C/ha/år. Ved anvendelse af C-TOOL-parametrene og et

gennemsnitligt sukkerroeudbytte på 600 hkg roer pr. ha (DST, landsgennemsnit 2011-2020) kan det årlige C-input i en sukkerroemark opgøres til 3,7 ton C/ha/år.

I forbindelse med denne rapport er der ikke kørt C-TOOL-scenarier for et øget sukkerroeareal. Den generelle betragtning er, at et øget C-input på den lange bane og med kontinuert tilførsel, dvs. at i dette tilfælde skal de ekstra hektar med sukkerroer fortsætte fremover, vil være et fald på 12 % af den årlige ændring i tilførslen. En ændring fra korndyrkning til sukkerroer vil derfor skønsmæssigt mindske den årlige tilførte C-mængde per ha på 0,6 ton C/ha/år, svarende til 2,2 ton CO₂/ha/år over de næste 10-20 år. Dette er dobbelt så stort som angivet i klimaeffekttabellen.

29 Avl for malkekøer med reduceret tab af metan

Ikke alle køer udleder lige meget metan og der er ved forsøg på Aarhus Universitet foreløbigt estimeret en arvbarhed for metanudledning på 0,19 (Olesen et al., 2018). Det vil sige, at 19% af den samlede variation for egenskaben metanudledning, som den er defineret i det givne projekt, skyldes genetik. Med en arvbarhed af denne størrelse er det bestemt muligt at selekttere for egenskaben og mindske udledningen af metan fra malkekvæg. Genetiske evalueringer udføres traditionelt for egenskaber, hvor man har flere tusinde registreringer gennem mange generationer. Den mængde registreringer eksisterer i øjeblikket ikke for egenskaben metanudledning (Olesen et al., 2018).

Der er i klimaeffekttabellen ikke angivet nogen effekt for avl for malkekøer med reduceret tab af metan, og i Hutchings et al. (2020) er der som bemærkning angivet: ”Udenlandske undersøgelser viser at der er en potentiel effekt, men vi mangler veldokumenteret viden og de faktiske reduktioner under danske forhold”. Der er derfor ikke set nærmere på effekten af dette tiltag.

30 Biogas med hyppig udslusning i kvægstalden

30.1 Beskrivelse af virkemiddel

Bioforgasning af gylle kombineret med hyppig udslusning af gyllen fra stalden, giver et større reduktionspotentiale for metanemissionen, da en stor del af emissionen spares i lagret og opsamles i biogasanlægget.

For nærmere beskrivelse af bioforgasning og hyppig udslusning se hhv. kapitel 2 og 14.

30.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

For beregningerne til klimaeffekttabellen er antaget, at metanemissionen fra kvæggylle er 1,48 kg CH₄/ton gødning (Petersen et al, 2020), og fordelingen af emissionen er 53 % fra stalden og 47 % fra lageret. Hyppig udslusning giver en reduktion på 40 % af staldemissionen og en 40 % forøgelse af potentialet for metanemission fra lageret, som uden biogas ville give en meremission fra lagret på 1,48*0,47*-0,4 kg CH₄/ton. Men gyllen bliver ikke lagret i dette scenarie men derimod sendt til biogasanlæg, og derfor er det større potentielle tab taget med i det reduktionspotentiale, som er beregnet til klimaeffekttabellen (Petersen, 2021). I biogasnotat (Petersen et al., 2020) blev effekten af biogasbehandling af kvæggylle opgjort til 39 % af den samlede emission (1,48 kg CH₄/ton gødning), men biogasbehandling påvirker kun emission fra lageret, og derfor svarer de 39% af den samlede emission til 83% (39/47*100) af lageremissionen.

Effekten i klimaeffekttabellen er beregnet som følger:

$$1,48 \text{ CH}_4/\text{ton gødning} \cdot (0,53 \cdot 0,4 + 0,47 \cdot 1,4 \cdot 0,83) \cdot 25 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{kg CH}_4 = 28 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{ton gødning}$$

Hvor:

0,53	= andel emission fra stalden
0,4	= reduktion i stalden pga. hyppig udslusning
0,47	= andel emission fra lagret
1,4	= meremission i lagret pga. hyppig udslusning
0,83	= andel reduktion pga. bioforgasning

Tabel 30.1. Drivhusgaseffekter, kg CO₂-ækvivalenter pr. ton husdyrgødning.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0	28	0	24	53

Opdateres beregningen med tallene fra den senest rapporterede emissionsopgørelse, altså for år 2020, er effekten af biogasbehandling af kvæggylle estimeret til 37 % af den samlede emission (1,47 kg CH₄/ton gødning), men som nævnt ovenfor påvirker biogasbehandling kun emission fra lageret, og derfor svarer de 37% af den samlede emission til 79 % (37/47*100) af lageremissionen.

Effekten bliver:

$1,47 \text{ CH}_4/\text{ton gødning} \cdot (0,53 \cdot 0,4 + 0,47 \cdot 1,4 \cdot 0,79) \cdot 25 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{kg CH}_4 = 27 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{ton gødning}$

Hvor:

0,53 = andel emission fra stalden

0,4 = reduktion i stalden pga. hyppig udslusning

0,47 = andel emission fra lagret

1,4 = meremission i lagret pga. hyppig udslusning

0,79 = andel reduktion pga. bioforgasning

30.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Hyppig udslusning af kvæggylle indgår ikke i emissionsopgørelserne og fremskrivningerne.

CO₂/energiforbrug indgår ikke i emissionsopgørelserne for landbrugssektoren, men er inkluderet i energisektoren.

30.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Rettes tallet for HRT-dage (Hydraulic Retention Time) i modellen, der beregner MCF (Methane Conversion Factor), som bruges i de nationale emissionsopgørelser og fremskrivninger, fra 20 dage (gennemsnit antal HRT-dage for kvæggylle i 2020) til 7 dage, giver det en forskel på MCF for bioforgasset kvæggylle på -55 %. Dette svarer til en reduktion på 20 kg CO₂-ækv / ton gødning, altså vil effekten i beregningerne i emissionsopgørelserne og fremskrivningerne være noget lavere end effekten angivet i klimaeffekttabellen. Forskellen skyldes, at modellen for MCF ikke indregner kombinationseffekten, som indgår i beregningerne til klimaeffekttabellen.

Tabel 30.2. Emission og reduktion for bioforgasset svinegylle, kombineret med hyppig udslusning, beregnet med MCF-modellen, der bruges i de nationale emissionsopgørelser og fremskrivninger.

	Bioforgasset gylle
Emission, kg CH ₄ /ton gødning	1,47
Reduktion i MCF, %	-55
Reduktion, kg CH ₄ /ton gødning	-0,80
Reduktion, kg CO ₂ -ækv/ton gødning	-20,0

30.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Hyppig udslusning vurderes ikke at have effekt på LULUCF-opgørelsen.

31 Fodertilsætningsstoffer: Nitrat

31.1 Beskrivelse af virkemiddel

Ved tilsætning af nitrat til foderet anvendes brint til reduktion af nitrat til ammoniak i stedet for reduktion af kuldioxid til metan. Der er således store muligheder i at erstatte urea i foderet med nitrat (fx produktet Bolifor CNF), idet man opnår både en forsyning med kvælstof og en reduktion af metanproduktionen (Olesen et al., 2018).

31.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

I klimaeffekttabellen er der ikke angivet en reference på reduktionen, men der er i Olesen et al. (2018) angivet et reduktionspotentiale på 10% og antaget at en dansk malkeko udleder ca. 160 kg metan om året (Olesen et al., 2018). Dette giver effekten angivet i klimaeffekttabellen.

Beregningen:

$$160 \text{ kg CH}_4 / \text{ko} / \text{år} * 25 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{kg CH}_4 * 0,1 = 400 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{årsko}$$

160 kg CH₄ per ko per år svarer til gennemsnittet for 2017 og 2018.

Tabel 31.1. Drivhusgaseffekter, kg CO₂-ækvivalenter pr. årsko.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0	400	?	0	400

For 2020 er emissionen fra fordøjelse faldet lidt, da værdien for Y_m er opdateret. Effekten vil derfor blive:

$$157 \text{ kg CH}_4 / \text{ko} / \text{år} * 25 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{kg CH}_4 * 0,1 = 393 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{årsko}$$

31.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Tilsætning af nitrat er ikke med i emissionsopgørelserne og fremskrivninger for nuværende.

Emissionen af metan fra malkekøer og øvrigt kvæg beregnes som en fast andel af dyrets optag af bruttoenergi, den såkaldte Y_m-faktor. For andet kvæg bruges Y_m angivet i IPCC 2006, men for malkekvæg anvendes en national estimeret Y_m, som er baseret på en omfattende analyse af data fra databasen over forsøg med malkekøer i respirationskamre udført ved Institut for Husdyrvidenskab, AU (Hellwing et al., 2016).

For at nitrat eller andre tilsætningsstoffer til foderet kan indgå i emissionsopgørelserne, kræver det, at der dels laves en Y_m for foderrationer med disse tilsætningsstoffer, og at der er aktivitetsdata for brugen af tilsætningsstofferne i praksis. Ydermere bør det også vurderes, om bruttoenergien i foderrationer med tilsætningsstoffer varierer fra en standardfoderration. Altså er det helt afgørende, at modellen til at estimerer Y_m kan opdateres tilstrækkeligt med nye data fra forsøg, hvor der er anvendt de pågældende tilsætningsstoffer.

Der er en række udfordringer ved at tilsætte nitrat til foderet, bl.a. kan nævnes; fare for ophobning af nitrit i vommen, som er potentielt er skadeligt for dyret; nitrat indeholder kvælstof og det kan derfor ikke bare tilsættes foderationen, men der skal fjernes en tilsvarende mængde kvælstof fra foderrationen for at undgå pollution-swapping (Olesen et al., 2018).

31.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Hvis effekten af tilsætning af nitrat fastsættes til 10 %, vil det i emissionsberegningerne have en effekt tilsvarende den angivet i klimaeffekttabellen for den andel af malkekvæg, der får tildelt nitrat i det omfang angivet for reduktionspotentiallet.

31.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Tilsætning af nitrat til foderet forventes ikke at have nogen effekt på LULUCF-opgørelsen.

32 Fodertilsætningsstoffer: Tang

32.1 Beskrivelse af virkemiddel

Ved flere forskellige forskningsinstitutioner rundt omkring i verden undersøges effekten af tilsætningsstoffer på metanproduktionen fra fordøjelse. Det er f.eks. essentielle olier fra lægeplanter (f.eks. oregano), saponiner, tanniner, tang, sulfat mm. Der forventes også fremadrettet en stor interesse omkring anvendelse af nye tilsætningsstoffer til foderet, hvor tang er det nyeste eksempel på et produkt, hvor visse arter indeholder stoffer, som synes at have en reducerende effekt på metan (Olesen et al., 2018).

32.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

I klimaeffekttabellen er der ikke angivet en reference på reduktionen, men antages samme beregningsmetode, som anvendt for 3-NOP og nitrat (kapitel 8 og 31) har tang en reduktionseffekt på 20 %:

Beregningsen:

$$800 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{årsko} / 25 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{kg CH}_4 / 160 \text{ kg CH}_4 / \text{ko} / \text{år} = 20 \%$$

160 kg CH₄ per ko per år svarer til gennemsnittet for 2017 og 2018.

Tabel 32.1. Drivhusgaseffekter, kg CO₂-ækvivalenter pr. årsko.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0	800	?	0	800

For 2020 er emissionen fra fordøjelse faldet lidt, da værdien for Y_m er opdateret. Effekten vil derfor blive:

$$157 \text{ kg CH}_4 / \text{ko} / \text{år} * 25 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{kg CH}_4 * 0,2 = 785 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{årsko}$$

32.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Tilsætning af tang er ikke med i emissionsopgørelserne og fremskrivninger for nuværende.

Emissionen af metan fra malkekøer og øvrigt kvæg beregnes som en fast andel af dyrets optag af bruttoenergi, den såkaldte Y_m-faktor. For andet kvæg bruges Y_m angivet i IPCC 2006, men for malkekvæg anvendes en national estimeret Y_m, som er baseret på en omfattende analyse af data fra databasen over forsøg med malkekøer i respirationskamre udført ved Institut for Husdyrvidenskab, AU (Hellwing et al., 2016).

For at tang eller andre tilsætningsstoffer til foderet kan indgå i emissionsopgørelserne kræver det, at der dels laves en Y_m for foderrationer med disse tilsætningsstoffer, og at der er aktivitetsdata for brugen af tilsætningsstofferne i praksis. Ydermere bør det også vurderes, om bruttoenergien i foderrationer med tilsætningsstoffer varierer fra en standardfoderration. Altså er det helt

afgørende, at modellen til at estimerer Y_m kan opdateres tilstrækkeligt med nye data fra forsøg, hvor der er anvendt de pågældende tilsætningsstoffer.

32.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Hvis effekten af tilsætning af tang fastsættes til 20 % vil det i emissionsberegningerne have en effekt tilsvarende den angivet i klimaeffekttabellen for den andel af malkekvæg, der får tildelt tang i det omfang angivet for reduktionspotentiallet.

32.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Tilsætning af tang til foderet anses ikke at have nogen effekt på LULUCF-opgørelsen.

33 Fodring med højere andel af majs

33.1 Beskrivelse af virkemiddel

Brask et al. (2013) fandt en reduktion på 8-18% afhængig af græsensilagens kvalitet ved 100% udskiftning af græs med majs 1:1 på tørstofbasis. Dette understøttes også af nyere forskning lavet Aarhus Universitet (Brask-Pedersen et al., 2021). Langt de fleste rationer indeholder dog allerede betydelige mængder af majs, og øget indhold af majs er i Hutchings et al. (2020) vurderet til ca. 3% reduktion i metan baseret på indhold af græs og majs i nuværende rationer.

Tiltaget kan være sværere at implementere for økologer grundet afgræsning og grundet en minimal dyrkning af majsensilage i det nuværende økologiske sædskifte.

33.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

I Hutchings et al. (2020) er der angivet et reduktionspotential på 3% og antaget, at en dansk malkeko udleder ca. 160 kg metan om året (Olesen et al., 2018). Dette giver effekten angivet i klimaeffekttabellen.

Beregningen:

$$160 \text{ kg CH}_4/\text{ko}/\text{år} * 25 \text{ kg CO}_2\text{-ækv}/\text{kg CH}_4 * 0,03 = 120 \text{ kg CO}_2\text{-ækv}/\text{årsko}$$

160 kg CH₄ per ko per år svarer til gennemsnittet for 2017 og 2018.

Tabel 33.1. Drivhusgaseffekter, kg CO₂-ækvivalenter pr. årsko.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0	120	?	?	?

For 2020 er emissionen fra fordøjelse faldet lidt, da værdien for Y_m er opdateret. Effekten vil derfor blive:

$$157 \text{ kg CH}_4/\text{ko}/\text{år} * 25 \text{ kg CO}_2\text{-ækv}/\text{kg CH}_4 * 0,03 = 118 \text{ kg CO}_2\text{-ækv}/\text{årsko}$$

33.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Emissionen af metan fra malkekøer beregnes som en fast andel af dyrets optag af bruttoenergi, den såkaldte Y_m-faktor. For malkekvæg anvendes en national estimeret Y_m, som er baseret på en omfattende analyse af data fra databasen over forsøg med malkekøer i respirationskamre udført ved Institut for Husdyrvidenskab, AU (Hellwing et al., 2016).

Øges indholdet af majs i foderrationen kan det indgå i emissionsopgørelserne og fremskrivninger, men det kræver, at der dels laves en Y_m for foderrationer med øget mængde majs, og at der er aktivitetsdata for udbredelsen af denne type foderrationer i praksis. Ydermere bør det også vurderes, om bruttoenergien i foderrationer med øget majs varierer fra en standardfoderration. Altså

er det helt afgørende, at modellen til at estimerer Y_m kan opdateres tilstrækkeligt med nye data fra forsøg, hvor der er anvendt de pågældende fodersammensætninger.

33.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Hvis effekten af øget majs i foderrationer fastsættes til 3 %, vil det i emissionsberegningerne have en effekt tilsvarende den angivet i klimaeffekttabellen for den andel af malkekvæg, der får tildelt denne type foderrationer.

33.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Der er ikke foretaget beregninger. Fodring med en højere andel majs forventes at have en svag negativ effekt på LULUCF-opgørelsen, fordi det alt andet lige vil medføre mindre græs i omdrift i landbrugsarealet. Det skyldes, at den afsatte rodmasse fra majs er mindre end den afsatte rodmasse fra græs i omdrift.

34 Gylleforsuring i lager for kvæg (optimeret sommer-/lagerforsuring)

34.1 Beskrivelse af virkemiddel

Gylleforsuring er som oftest en teknologi, der bringes i anvendelse til reduktion af ammoniaktab, men det kan også give en reduktion af metanemissionen.

Forsuring af gylle kan ske i stalden, lagertanken eller under udbringning. Forsuring i lagertanken foregår for nuværende typisk kort tid før udbringning og har derfor ringe effekt på metanemission. For optimeret sommer-/lagerforsuring er det antaget, at der forsures én gang, når tanken er halv fyldt, og der regnes med 50% effekt i forhold til effekt af staldforsuring, i lager og ved udbringning for CH₄ og indirekte N₂O-emission. Teknologien for optimeret sommer-/lagerforsuring er endnu ikke udviklet.

34.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

For beregningerne til klimaeffekttabellen er antaget, at metanemissionen fra kvæggylle er 1,48 kg CH₄/ton gødning (Petersen et al, 2020) og fordelingen af emissionen er 53 % fra stalden og 47 % fra lageret. Forsuring af gyllen i lagret giver en reduktion i emissionen af CH₄ fra lageret og en reduktion i indirekte N₂O-emission. Effekten af lagerforsuring sættes for CH₄ til halvdelen af effekten for staldforsuring, som er 60 %, dvs. den sættes til 30 % (Pedersen, 2020). Reduktionen af CH₄ beregnes som:

$$1,48 \text{ kg CH}_4/\text{ton gødning} \cdot 0,47 \cdot 0,3 \cdot 25 \text{ kg CO}_2\text{-ækv/kg CH}_4 = 5,2 \text{ kg CO}_2\text{-ækv/ton gødning}$$

I klimaeffekttabellen er beregnet en reduktion i emissionen af indirekte N₂O som følge af reduktion i NH₃-emissionen fra lager og udbringning. I beregningerne lavet til klimaeffekttabellen er der ikke taget højde for NO_x-emission i forbindelse med beregningen af den indirekte emission. Der regnes med en reduktionseffekt for NH₃ på 30 % i både lager og ved udbringning. For udbringning er der regnet med en emissionsfaktor på 20 % for NH₃-emission. Beregningerne er baseret på Normtal 2015.

Beregningseksempel for N₂O - der er valgt at regne på staldtypen Sengestald med spalter (kanal, bagskyl eller ringkanal), da dette er en af de mest udbredte staldtyper i 2020:

Reduktion i NH₃:

Lager: $0,89 \text{ kg NH}_3\text{-N} \cdot 0,3 = 0,57 \text{ kg NH}_3\text{-N}$

Udbringning: $80,72 \text{ kg NH}_4\text{-N} \cdot 0,2 \text{ kg NH}_3\text{-N/kg NH}_4\text{-N} \cdot 0,3 = 4,84 \text{ kg NH}_3\text{-N}$

Total reduktion: $0,57 + 4,84 = 5,41 \text{ kg NH}_3\text{-N}$

Pr. ton gødning: $5,41 \text{ kg NH}_3\text{-N} / 30,41 \text{ ton gødning} = 0,18 \text{ kg NH}_3\text{-N/ton gødning}$

N_2O : 0,18 kg $\text{NH}_3\text{-N}$ /ton gødning*0,01 kg $\text{N}_2\text{O-N}$ /kg $\text{NH}_3\text{-N}$ *44/28*298 kg $\text{CO}_2\text{-ækv}$ /kg N_2O = 0,8 kg $\text{CO}_2\text{-ækv}$ /ton gødning

Effekten varierer lidt alt efter hvilken dyretype (malkekuvæg, kvier) og staldtype, der beregnes for. For eksemplet givet ovenfor er effekten lidt lavere end angivet i klimaeffekttabellen, mens den for andre dyretyper / staldtyper er lidt højere.

Tabel 34.1. Drivhusgaseffekter, kg $\text{CO}_2\text{-ækvivalenter}$ pr. ton husdyrgødning.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH_4	N_2O		
0	5,2	1,0	0	6,2

I 2022 rapporteringen af emissionsopgørelserne for 2020, giver ændringer i normtal m.m. ikke anledning til ændringer i reduktionseffekten angivet med én decimal.

34.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Optimeret sommer-/lagerforsuring er ikke en udviklet teknologi og indgår derfor heller ikke i emissionsopgørelserne og fremskrivninger. Ydermere er beregningerne for CH_4 -emission fra gødningshåndtering ikke opdelt i emission fra stald og emission fra lager, men regnes med én emissionsfaktor, der dækker både stald og lager. Det vil derfor med den nuværende beregningsmetode ikke være muligt at inkludere reduktion i CH_4 -emissionen for optimeret sommer-/lagerforsuring.

For at dette skal kunne indgå i emissionsopgørelserne, kræver det at emissionsberegningen kan opdeles i stald- og lager emission, dvs. at der skal udvikles en model, der kan håndtere dette. Der er i disse år (frem mod 2025) en række forskningsprojekter i gang, som kan byde ind til en sådan emissionsmodel. Ydermere skal der findes dokumentation af reduktionseffekten og aktivitetsdata for hvor meget og hvilke typer af gylle der lagerforsures.

Reduktion i den indirekte N_2O -emission fra NH_3 -fordampning er inkluderet i både emissionsopgørelserne og fremskrivninger, da reduktion i emissionen af NH_3 pga. forsuring er inkluderet i emissionsberegningerne.

34.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

For CH_4 -emission kan effekten af optimeret sommer-/lagerforsuring ikke vurderes, da det som nævnt ovenfor ikke er muligt med den beregningsmodel, der bruges i emissionsopgørelserne og fremskrivninger for nuværende.

For den indirekte N_2O -emission er effekten i reduktion af NH_3 pga. forsuring ikke indregnet på samme måde i emissionsopgørelserne og fremskrivninger, som gjort i klimaeffekttabellen.

I opgørelserne tillægges den reducerede N fra emissionen til de næste led i kæden, dvs. ved forsuring i lageret, kommer der mere N ved udbringning. Emissionsfaktorerne (EF) for NH_3 fra udbringning er forskellig i forhold til beregningerne i klimaeffekttabellen. I opgørelserne bruges EF givet i Hafner et al. (2021) kombineret med data for andel gylle, der er bragt ud på et givet

tidspunkt og med en given metode. EF er en vægtet værdi af disse. Nedfældning af gylle har en lavere EF end forsuret gylle, og derfor bliver EF for ubehandlet gylle lavere end for forsuret gylle. Ses der på indirekte emission af N_2O i CO_2 -ækv per ton gødning, der er forsuret i lagret, reduceres emissionen i lageret med 0,1 kg CO_2 -ækv / ton gødning, mens emissionen fra udbringning stiger med 0,8 kg CO_2 -ækv / ton gødning, altså vil forsuring i lagret samlet set give en stigning i emissionen på 0,7 kg CO_2 -ækv / ton gødning i emissionsopgørelserne og fremskrivninger for nuværende.

34.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Gylleforsuring forventes ikke at have nogen effekt på LULUCF-opgørelsen.

35 Gylleforsuring i lager for svin (optimeret sommer-/lagerforsuring)

35.1 Beskrivelse af virkemiddel

For beskrivelse se kapitel 34.

35.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

For beregningerne til klimaeffekttabellen er antaget, at metanemissionen fra svinegylle er 2,39 kg CH₄/ton gødning (Petersen et al., 2020), og fordelingen af emissionen er 69 % fra stalden og 31 % fra lageret. Forsuring af gyllen i lagret giver en reduktion i emissionen af CH₄ fra lageret og en reduktion i indirekte N₂O-emission. Effekten af lagerforsuring sættes for CH₄ til halvdelen af effekten for staldforsuring, som er 60%, dvs. den sættes til 30% (Pedersen, 2020).

Reduktionen af CH₄ beregnes som:

$2,39 \text{ kg CH}_4/\text{ton gødning} \cdot 0,31 \cdot 0,3 \cdot 25 \text{ kg CO}_2\text{-ækv/kg CH}_4 = 5,6 \text{ kg CO}_2\text{-ækv/ton gødning}$

I klimaeffekttabellen er beregnet en reduktion i emissionen af indirekte N₂O som følge af en reduktion i NH₃-emissionen fra lager og udbringning. I beregningerne lavet til klimaeffekttabellen er der ikke taget højde for NO_x-emissionen i forbindelse med beregningen af den indirekte emission. Der regnes med en reduktionseffekt på NH₃ på 30 % i både lager og ved udbringning. For udbringning er der regnet med en emissionsfaktor på 20 % for NH₃-emission. Beregningerne er baseret på Normtal 2015.

Beregningseksempel for N₂O, der er valgt at regne på staldtypen "Slagtesvin, Delvis spaltegulv med 25-49% fast gulv", da dette er en af de mest udbredte staldtyper i 2020, samt at det forventes at blive det mest udbredte i fremtiden:

Reduktion i NH₃:

Lager: $0,04 \text{ kg NH}_3\text{-N} \cdot 0,3 = 0,012 \text{ kg NH}_3\text{-N}$

Udbringning: $1,93 \text{ kg NH}_4\text{-N} \cdot 0,2 \text{ kg NH}_3\text{-N/kg NH}_4\text{-N} \cdot 0,3 = 0,12 \text{ kg NH}_3\text{-N}$

Total reduktion: $0,012 + 0,12 = 0,13 \text{ kg NH}_3\text{-N}$

Pr. ton gødning: $0,13 \text{ kg NH}_3\text{-N} / 0,54 \text{ ton gødning} = 0,24 \text{ kg NH}_3\text{-N/ton gødning}$

N₂O:

$0,24 \text{ kg NH}_3\text{-N/ton gødning} \cdot 0,01 \text{ kg N}_2\text{O-N/kg NH}_3\text{-N} \cdot 44/28 \cdot 298 \text{ kg CO}_2\text{-ækv/kg N}_2\text{O} = 1,1 \text{ kg CO}_2\text{-ækv/ton gødning}$

Effekten varierer lidt alt efter hvilken dyretype (søer, smågrise, slagtesvin) og staldtype, der beregnes for. For eksemplet givet ovenfor er effekten lidt højere end angivet i klimaeffekttabellen, mens den for andre dyretyper/staldtyper er lidt lavere.

Tabel 35.1. Drivhusgaseffekter, kg CO₂-ækvivalenter pr. ton husdyrgødning.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0	5,6	1,0	0	6,6

I 2022 afleveringen af emissionsopgørelserne, emission for år 2020, giver ændringer i normtal m.m. ikke anledning til ændringer i reduktionseffekten angivet med én decimal.

35.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Optimeret sommer-/lagerforsuring er ikke en udviklet teknologi og indgår derfor heller ikke i emissionsopgørelserne og fremskrivninger. Ydermere er beregningerne for CH₄-emission fra gødningshåndtering ikke opdelt i emission fra stald og emission fra lager, men regnes med én emissionsfaktor, der dækker både stald og lager. Det vil derfor med den nuværende beregningsmetode ikke være muligt at inkludere reduktion i CH₄-emissionen for optimeret sommer-/lagerforsuring.

For at dette skal kunne indgå i emissionsopgørelserne, kræver det at emissionsberegningen kan opdeles i stald- og lager emission, dvs. at der skal udvikles en model, der kan håndtere dette. Der er i disse år (frem mod 2025) en række forskningsprojekter i gang, som kan byde ind til en sådan emissionsmodel. Ydermere skal der findes dokumentation af reduktionseffekten og aktivitetsdata for hvor meget og hvilke typer af gylle der lagerforsures.

Reduktion i den indirekte N₂O-emission fra NH₃-fordampning er inkluderet i både emissionsopgørelserne og fremskrivninger, da reduktion i emissionen af NH₃ pga. forsuring er inkluderet i emissionsberegningerne.

35.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

For CH₄-emission kan effekten af optimeret sommer-/lagerforsuring ikke vurderes, da det som nævnt ovenfor ikke er muligt med den beregningsmodel, der bruges i emissionsopgørelserne og fremskrivninger for nuværende.

For den indirekte N₂O-emission er effekten i reduktion af NH₃ pga. forsuring ikke indregnet på samme måde i emissionsopgørelserne og fremskrivninger, som gjort i klimaeffekttabellen.

I opgørelserne tillægges den reducerede N fra emissionen til de næste led i kæden, altså ved forsuring i lagret kommer der mere N ved udbringning. Derudover er emissionsfaktorerne (EF) for NH₃ fra udbringning forskellig i forhold til beregningerne i klimaeffekttabellen. I opgørelserne bruges EF givet i Hafner et al. (2021) kombineret med data for andel gylle, der er bragt ud på et givet tidspunkt og med en given metode. EF er så en vægtet værdi af disse. Ses der på indirekte emission af N₂O i CO₂-ækv per ton gødning, der er forsuret i lagret, reduceres emissionen ca. 0,6 kg CO₂-ækv / ton gødning, alt efter hvilket staldsystem, der regnes på (her er der kun regnet på slagtesvin).

35.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Gylleforsuring forventes ikke at have nogen effekt på LULUCF-opgørelsen.

36 Halm til forgasning med biochar retur

36.1 Beskrivelse af virkemiddel

Biochar/biokul er det faste kulstofprodukt (en form for koks), der refterer efter termisk forgasning eller pyrolyse af forskellige typer biomasse, som f.eks. halm. Biokul, der indarbejdes i jorden, kan potentielt øge jordens vand-holdende evne, pH og evne til at tilbageholde næringsstoffer i rodzonen (Olesen et al., 2018).

Halm kan ved opvarmning under iltfrie forhold omdannes til kul, som er mere svært nedbrydeligt end halm i almindelighed. Den dannede biokul kan have halveringstider på op til mere end 1000 år. Ud over biokullet dannes der i processen dels noget CO₂, andre gasser samt forskellige flydende destillater. Fordelingen af kulstoffet mellem de forskellige produkter afhænger dels af udgangsmaterialet, dels den teknologi der anvendes, samt under hvilke temperaturer pyrolyseprocessen foregår (Weber og Quicker, 2018). Stabiliteten af biokullet er også meget afhængig af processen, herunder hvor meget af den tilstedeværende ilt i udgangsmaterialet, der fjernes. Som hovedregel vil en lavere pyrolysetemperatur danne mere biokul i forhold til en højtemperatur pyrolyse, men på den anden side vil det dannede biokul ved lave temperature indeholde mere ilt (O) og brint (H) og være mindre stabilt.

36.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

I klimaeffekttabellen er angivet at biokul til lagring af stabiliseret kulstof i jorden, har en effekt på 25 ton CO₂-ækv / ha (Petersen, 2020). Dette er baseret på beregninger angivet i Olesen et al. (2018) og baseres på en tilførsel på 20 ton biokul / ha. Til dette skal bemærkes, at denne tilførsel kun kan ske ved, at der tilføres biokul, som er produceret af halm produceret andre steder eller af anden biomasse. Ud fra en massebalancebetragtning vil den indgåede biomasse til at producere de ovennævnte 20 ton biokul alt andet lige mangle andre steder i biosfæren, som derved vil opnå en nedgang i forhold til disse steders nuværende balance. Det er derfor mere relevant at anvende den opgjorte effekt i Eriksen et al. (2020). Her har Elsgaard et al. (2020, eds. Eriksen et al. (2020)) opgjort en skønsmæssige nettoeffekt på -1,27 ton CO₂/ha. I det følgende vil der blive sammenlignet med Elsgaard et al. (2020).

For landbrugssektoren er der ikke angivet nogen effekt på ændring i N₂O-emissionen i klimaeffekttabellen (Petersen, 2020). I Eriksen et al. (2020) refereres til udenlandske studier, som viser, at anvendelsen af biokul kan medvirke til at reducere nitratudvaskningen. Endvidere refereres til udenlandske studier, der viser, at biokul medvirker til en lavere N₂O-emission fra marken, men at dette ikke støttes op af resultater fra et dansk studie fra 2020. Derfor konkluderes i Eriksen et al. (2020), at der fortsat mangler viden for at kunne vurdere effekten på N₂O-emissionen under danske dyrkningsforhold som følge af anvendelse af biokul.

Tabel 36.1. Drivhusgaseffekter, ton CO₂-ækvivalenter pr. ha.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
25	0	0	0	25

36.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Anvendelsen af biokul er ikke på nuværende tidspunkt inkluderet i den nationale opgørelse eller i fremskrivningen.

36.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

I den nationale opgørelse er mængden af kvælstof, som udvaskes baseret på estimat fra Institut for Ecoscience, baseret på aktuelle tal fra kombinationen af målinger og modelberegninger. Ændringer i N-udvaskningen over tid vil derfor løbende blive afspejlet i opgørelsen.

I Eriksen et al. (2020) nævnes, at biokul kan medvirke til en lavere N_2O -emission fra marken. Såfremt denne reduktion afspejles i lavere N-gødsning vil dette ligeledes blive afspejlet i gødningsforbruget og dermed indgå i opgørelsen. Såfremt den lavere N_2O -emission fra marken skyldes et højere afgrødeudbytte, vil dette derimod i opgørelsen betyde en øget N_2O -emission fra afgrøderester, fordi denne i beregningen afhænger af udbyttens niveau. DCE vurderer, at den lavere N_2O -udledning, som er nævnt i Eriksen et al. (2020), ikke er tilstrækkeligt dokumenteret til, at den kan indgå i de nationale opgørelser.

Som følge af at der foretages en fjernelse af halm fra landbrugsarealet, vil der ske en nedgang i den dynamiske kulstofpulje i mineraljorderne. På grund af IPCC's regneregler på området vil der ske en stigning i N_2O -udledningen fra mineraljorderne sammenlignet med uændret halmudtag, fordi det antages, at jordens nuværende pulje af organisk materiale ikke bliver vedligeholdt, og som konsekvens sker der en frigørelse af N fra nedbrydningen af organisk materiale i jorden. Der vil være variationer mellem år, som afhænger af årets høstudbytte og temperaturer. Der er ikke foretaget sådanne beregninger. Omfangsmæssigt er det begrænsede mængder N_2O , der frigøres. I 2020 udgjorde mineralisering 0,6 % af landbrugssektorens samlede udledninger, kategori 3Da5.

36.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

IPCC har i deres seneste guidelines (IPCC, 2019) introduceret biokul til brug for de nationale opgørelser. IPCC angiver dog ikke tabskoefficienter ved forskellige pyrolyseprocesser, men angiver kun stabilitetsværdier for biokul fra forskellige processer set over en 100-årig periode. Det er derfor ikke muligt at anvende IPCC guidelines (IPCC, 2019) til sammenligning med de estimer der ses på i denne rapport.

Weber og Quicker (2018) har udført et omfattende review af biokuldata fra både træbiomasse og ikke-træbiomasse. Dette review viser at der er meget store variationer i C- og O-indholdet af de forskellige pyrolyseprodukter og at der er stor variation i det målte kulstofindhold i den askefrie fraktion af biokullet. Der er ikke specifikt angivet tal for halm, men hvis man kigger på græs, ses en variation fra 50 % og op til 80 % C i biokullet.

En simpel omregning fra biomasse til mængden af kul i biokullet på baggrund af data fra Weber og Quicker (2018) er ikke mulig, fordi biokuludbyttet er

omvendt proportionalt med kulstofindholdet i biokullet. Et forsigtigt skøn baseret på middelværdierne vil være ca. 15 % C i biokullet i forhold til mængden af tør biomasse, dog med meget store usikkerheder.

Effektvurdering

Effektvurdering på den nationale opgørelse tager kun hensyn til effekterne på landbrugsjordernes kulstofindhold set i et 10-20 års perspektiv og pr. ha. Der er ikke taget stilling til eventuel udnyttelse af destillater, energiforbrug under processen og eventuelle lækager af drivhusgasser (CH₄) fra pyrolyseprocessen.

Halmmængder til rådighed

Mængden af tilgængeligt halm er opgjort på landsdelsniveau på baggrund af tal fra Danmarks Statistik (DSt) (Tabel HALM1). Opgørelserne fra DSt beregner den totale mængde producerede halm og halm anvendt til foder, til strøelse og til energiforbrug. Det forudsættes, at efterspørgslen efter halm til disse formål er uændret, dvs. mængden af halm, der er tilgængelig for biokulproduktion, er den halm, som for nuværende nedmuldes. Da beregningerne foretages på hektarbasis, vil en konsekvens af biokulproduktionen være, at det udelukkende er de arealer, hvor der er overskudshalm, der påvirkes. I denne rapport vurderes det ikke, hvorvidt det er muligt at indsamle og udnytte overskudshalm, men der vurderes udelukkende en hektareffekt ved det givne tiltag.

I tabel 36.2 er vist de gennemsnitlige halmudbytter for perioden 2011-2020 for seks halmproducerende afgrøder: Vårbyg, havre, vinterbyg, rug, vinterhvede og vinterraps. Disse udgør langt hovedparten af det halmproducerede areal. Af hensyn til beregningerne er de gennemsnitlige halmudbytter pr. afgrøde summeret op ud fra de aktuelle hektar af afgrøderne i landsdelene for at få en gennemsnitlig mængde halm, som kan indgå i C-TOOL-beregningerne. Halmmængderne er korrigeret til tørstof med en faktor 0,85 (Møller, 2005), og der antages en C-andel af tørstof på 0,45, som er default i C-TOOL-beregningerne. I gennemsnit vurderes det over en 10-årig periode, at der vil være ca. 3,7 ton halm / ha / år til rådighed for bioforgasning.

Tabel 36.2. Gennemsnitlige mængder halm til rådighed på landsdelsniveau per år samt omregnet til kulstof. Gennemsnit af 2011-2020 (fortsættes på næste side).

Halm i alt		Gennemsnit 2011-2020						Vægtet tilgængeligt halm, ton halm/ha	Vægtet tilgængeligt C i halm, ton C/ha
		Areal, gennemsnit, 1000 ha	Halmudbytte, gennemsnit, ton/ha	Tørstof, ton/ha	C, ton/ha	C, ton/landssdel			
Nordsjælland	Vårbyg	10,39	2,97	2,49	1,12	11,65	3,63	1,37	
Nordsjælland	Havre og blandsæd	1,88	2,70	2,27	1,02	1,92			
Nordsjælland	Vinterbyg	1,98	3,42	2,87	1,29	2,56			
Nordsjælland	Vinterhvede	13,08	4,03	3,39	1,52	19,94			
Nordsjælland	Rug	3,37	5,16	4,34	1,95	6,58			
Nordsjælland	Vinterraps	5,00	3,38	2,84	1,28	6,39			
Bornholm	Vårbyg	6,16	3,25	2,73	1,23	7,56	3,88	1,47	
Bornholm	Havre og blandsæd	0,47	2,71	2,27	1,02	0,48			
Bornholm	Vinterbyg	1,87	3,83	3,22	1,45	2,71			
Bornholm	Vinterhvede	12,20	4,29	3,61	1,62	19,80			
Bornholm	Rug	0,45	4,73	3,97	1,79	0,80			
Bornholm	Vinterraps	1,85	3,46	2,91	1,31	2,42			
Landsdel Fyn	Vårbyg	39,63	3,28	2,75	1,24	49,10	3,91	1,48	
Landsdel Fyn	Havre og blandsæd	2,76	2,83	2,38	1,07	2,95			
Landsdel Fyn	Vinterbyg	11,75	3,66	3,08	1,39	16,28			
Landsdel Fyn	Vinterhvede	71,50	4,34	3,64	1,64	117,26			
Landsdel Fyn	Rug	5,69	5,39	4,53	2,04	11,59			
Landsdel Fyn	Vinterraps	22,23	3,51	2,95	1,33	29,53			
Landsdel Østjylland	Vårbyg	63,54	3,13	2,63	1,18	75,14	3,75	1,42	
Landsdel Østjylland	Havre og blandsæd	7,05	2,79	2,34	1,05	7,43			
Landsdel Østjylland	Vinterbyg	26,22	3,62	3,04	1,37	35,89			
Landsdel Østjylland	Vinterhvede	98,72	4,17	3,50	1,57	155,46			
Landsdel Østjylland	Rug	15,27	4,83	4,05	1,82	27,86			
Landsdel Østjylland	Vinterraps	26,73	3,48	2,93	1,32	35,20			

Tabel 36.2 Fortsat

		Areal, gennemsnit, 1000 ha	Halmudbytte, gennemsnit, ton/ha	Tørstof, ton/ha	C, ton/ha	C, ton/landsdel	Vægtet tilgæn- geligt halm, ton halm/ha	Vægtet tilgæn- geligt C i halm, ton C/ha
Landsdel Syddjylland	Vårbyg	113,09	2,89	2,42	1,09	123,38	3,40	1,29
Landsdel Syddjylland	Havre og blandsæd	17,45	2,77	2,32	1,05	18,25		
Landsdel Syddjylland	Vinterbyg	22,04	3,42	2,87	1,29	28,51		
Landsdel Syddjylland	Vinterhvede	82,52	4,00	3,36	1,51	124,63		
Landsdel Syddjylland	Rug	20,90	4,49	3,77	1,70	35,45		
Landsdel Syddjylland	Vinterraps	23,18	3,30	2,77	1,25	28,88		
Landsdel Vestjylland	Vårbyg	116,19	2,91	2,45	1,10	127,96	3,29	1,24
Landsdel Vestjylland	Havre og blandsæd	10,97	2,64	2,22	1,00	10,94		
Landsdel Vestjylland	Vinterbyg	14,32	3,23	2,71	1,22	17,49		
Landsdel Vestjylland	Vinterhvede	53,11	3,80	3,19	1,44	76,25		
Landsdel Vestjylland	Rug	21,82	4,49	3,77	1,70	37,00		
Landsdel Vestjylland	Vinterraps	13,93	3,25	2,73	1,23	17,08		
Region Nordjylland	Vårbyg	86,61	2,90	2,44	1,10	94,98	3,50	1,32
Region Nordjylland	Havre og blandsæd	16,09	2,75	2,31	1,04	16,72		
Region Nordjylland	Vinterbyg	18,28	3,38	2,84	1,28	23,33		
Region Nordjylland	Vinterhvede	99,98	3,87	3,25	1,46	146,16		
Region Nordjylland	Rug	25,54	4,80	4,03	1,81	46,32		
Region Nordjylland	Vinterraps	26,40	3,38	2,84	1,28	33,76		
Region Sjælland	Vårbyg	121,44	3,51	2,94	1,32	160,90	4,02	1,52
Region Sjælland	Havre og blandsæd	4,50	2,69	2,26	1,02	4,57		
Region Sjælland	Vinterbyg	12,01	3,77	3,17	1,42	17,11		
Region Sjælland	Vinterhvede	137,76	4,57	3,84	1,73	237,82		
Region Sjælland	Rug	7,29	5,38	4,52	2,03	14,82		
Region Sjælland	Vinterraps	34,85	3,62	3,04	1,37	47,66		

Effekt på C-inputtet

I tabel 36.3 er vist de beregnede ændringer i C-inputtet til C-TOOL for de 20 underopdelinger. Tredje kolonne viser det gennemsnitlige årlige input til opgørelserne for årene 2016-2020 fra afgrøder. Disse inkluderer alle afgrøder, inklusive efterafgrøder til både top- og underjord. I fjerde kolonne vises det forventede input fra de ovennævnte seks halmafgroder. Deres bidrag til C-inputtet er ofte større end gennemsnittet, især i landsdele hvor der produceres andre salgsafgrøder såsom roer og kartofler. Femte kolonne viser underopdelingens nye forventede input af organisk materiale fra afgrøder (eksklusiv husdyrgødning), når ovennævnte halmmængder fjernes. Sidste kolonne viser den absolutte nedgang i den gennemsnitlige hektars biomasseinput.

Tabel 36.3. Beregnet nuværende C-input til de 20 underopdelinger fra afgrøderester/halm og forventet ændring ved udtag til pyrolyse. Tallene er uden biokul tilførsel.

		Gennemsnit input 2016- 2020, ton C/ha	Forventet input fra salgsaf- grøde, ton C/ha/år	Forventet input ef- ter halmfjernelse, uden biokul ton C/ha/år	Ændring i bio- masse, uden bio- kul, ton C/ha/år
Jordtype					
Bornholm	Sandblandet ler, FK 2-3	3.9	4.8	3.4	-1.5
Bornholm	Sandblandet ler, FK 4-6	4.5	5.1	3.6	-1.5
Nordsjælland	Sand, lerblandet sand, FK 2-3	4.5	4.7	3.3	-1.4
Nordsjælland	Sandblandet ler, FK 4-6	4.8	4.7	3.4	-1.4
Region Sjælland	Sand, lerblandet sand, FK 2-3	3.9	5.0	3.5	-1.5
Region Sjælland	Sandblandet ler, FK 4-6	4.4	5.2	3.7	-1.5
Landsdel Fyn	Sand, lerblandet sand, FK 2-3	3.7	4.9	3.5	-1.5
Landsdel Fyn	Sandblandet ler, FK 4-6	4.3	4.7	3.3	-1.5
Landsdel Syddjylland	Sandjord, FK1	4.2	3.8	2.5	-1.3
Landsdel Syddjylland	Sand, lerblandet sand, FK 2-3	4.2	4.4	3.1	-1.3
Landsdel Syddjylland	Sandblandet ler, FK 4-6	4.5	5.0	3.7	-1.3
Landsdel Østjylland	Sandjord, FK1	4.3	4.2	2.8	-1.4
Landsdel Østjylland	Sand, lerblandet sand, FK 2-3	4.1	4.9	3.4	-1.4
Landsdel Østjylland	Sandblandet ler, FK 4-6	4.7	5.2	3.8	-1.4
Landsdel Vestjylland	Sandjord, FK1	4.1	3.8	2.6	-1.2
Landsdel Vestjylland	Sand, lerblandet sand, FK 2-3	4.1	4.5	3.3	-1.2
Landsdel Vestjylland	Sandblandet ler, FK 4-6	4.6	4.9	3.6	-1.2
Region Nordjylland	Sandjord, FK1	4.4	4.0	2.7	-1.2
Region Nordjylland	Sand, lerblandet sand, FK 2-3	4.2	4.6	3.3	-1.2
Region Nordjylland	Sandblandet ler, FK 4-6	4.7	4.9	3.7	-1.2
Gennemsnit	Alle jordtyper, ej organiske	4.3	4.7	3.3	-1.4

Effekt på kulstofbalancen i jord

I tabel 36.4 er vist resultaterne af modelkørslerne for hhv. ændringer i jordernes kulstofpulje / CO₂ over hhv. 10 år og 20 år. Som udgangspunkt er anvendt den nationale opgørelses kulstofbalancer frem til og med 2020. Fra 2021 er der kørt ét scenarie, hvor det gennemsnitlige C-input for årene 2016-2020 er anvendt for alle år frem til og med 2040 kombineret med en forventet temperaturudvikling svarende til RCP4.5 (temperaturdata beregnet af DMI i 2017. Denne udvikling er lidt forskellig fra de anvendte temperaturscenarier i KF22. Forskellen vurderes at være meget lille fordi effekten af tiltaget er forskellen mellem to scenarier). Efterfølgende er der kørt ét scenarie, hvor den gennemsnitlige halmmængde er fjernet for at simulere udviklingen uden denne. Den samlede effektvurdering er opgjort som ændringen i jordens modellerede

HUM og ROM puljer for de 20 underopdelinger plus tillagt kulstofmængden i biokul.

Ved en usikker middelværdibetragtning er det beregnet, at 17,9 % af halmens tørstofindhold overgår til C i biokul ved en pyrolysetemperatur på 500-600 °C, ligning 1:

$$\% \text{ C} = \text{Biokul dannet (\% af halmtørstof)} * \% \text{ C i biokul}$$

Hvor:

Biokul dannet = 27,5 % (middelværdi fra Weber og Quicker, 2018)

% C i biokul = 65 % (IPCC, 2019, Appendix 4)

Indregning af nedbrydelighed af biokullet er opgjort ud fra IPCC (2019), hvor biokul dannet ved medium pyrolysetemperaturer på 450–600 °C svarende til en tilbageværende mængde på 80 % (± 11 %) over en 100-årig periode. Der er foretaget en lineær nedbrydning i perioden frem til år 2040. IPCC angiver dog specifikt:

"Estimating biochar C remaining for durations of <100 years, such as 20 years, would require additional detailed information on the chemical nature of the biochar, how it is applied, as well as climatic and edaphic properties of the location it was applied." (IPCC, 2019, p Ap4.2)

Gennemsnitligt er der beregnet et tab fra arealer, hvor al halm returneres, på ca. 0,3 ton C / ha / år (lig med 1,08 ton CO₂ / ha / år) som følge af en manglende vedligeholdelse af den nuværende dynamiske kulstofpulje i jorden.

Pyrolyse af den til rådighed værende halmmængde vil med de opstillede forudsætninger have en årlig tilførsel på ca. 0,55 ton C i stabilt biokul / ha / år (lig med 2,03 ton CO₂ / ha / år).

Gennemsnitlig er det beregnet, at der over en 10- til 20-årig periode vil være en gennemsnitlig årlig stigning i jordens kulstofmængde på 0,25 ton (0,55 ton minus 0,3 ton) eller med normal nomenklatur en binding på -0,25 ton (-0,13 til -0,40) C / ha / år svarende til -0,92 (-0,47 til -1,47) ton CO₂ / ha / år som følge af, at al produceret halm i den pågældende underopdeling bioforgasses til biokul med ovenstående proces og parametre og returneres til samme areal, og at der samtidig tages hensyn til en nedgang i den normale tilførsel af biomasse. Der er ingen væsentlig forskel på, om der ses på en 10-årig eller 20-årig tids-horisont.

Der er ikke regnet på afledte effekter såsom brug af produkter / energi i selve pyrolyseprocessen, olieholdige produkter fra processen samt lækager fra produktionsprocessen.

Tabel 36.4. Beregnede ændringer i jordens tilførsel af biomasse, tilførsel af biokul samt den forventede kumulative effekt (*fortsættes på næste side*).

		Overskudshalm fjernet, ændring i HUM- og ROM-puljen, uden tilførsel af biokul (positive værdier er emissioner)				Input fra Biokul til ROM-puljen	
Landsdel	Jordtype	Gennemsnitlig ændring, ton C/ha/år 2021-2030	Gennemsnitlig ændring, ton C/ha/år 2021-2040	Gennemsnitlig ændring, ton CO ₂ /ha/år 2021-2030	Gennemsnitlig ændring, ton CO ₂ /ha/år 2021-2040	Ton C/ha/år	Ton CO ₂ /ha/år
Bornholm	Sandblandet ler, FK 2-3	0,29	0,28	1,07	1,02	-0,59	-2,16
Bornholm	Sandblandet ler, FK 4-6	0,31	0,30	1,14	1,10	-0,59	-2,16
Nordsjælland	Sand, lerblandet sand, FK 2-3	0,25	0,25	0,93	0,91	-0,55	-2,02
Nordsjælland	Sandblandet ler, FK 4-6	0,34	0,33	1,25	1,21	-0,55	-2,02
Region Sjælland	Sand, lerblandet sand, FK 2-3	0,20	0,20	0,75	0,73	-0,61	-2,24
Region Sjælland	Sandblandet ler, FK 4-6	0,22	0,22	0,81	0,80	-0,61	-2,24
Landsdel Fyn	Sand, lerblandet sand, FK 2-3	0,23	0,22	0,83	0,81	-0,59	-2,18
Landsdel Fyn	Sandblandet ler, FK 4-6	0,35	0,34	1,27	1,23	-0,59	-2,18
Landsdel Syddjylland	Sandjord, FK1	0,35	0,34	1,30	1,23	-0,52	-1,90
Landsdel Syddjylland	Sand, lerblandet sand, FK 2-3	0,37	0,35	1,35	1,30	-0,52	-1,90
Landsdel Syddjylland	Sandblandet ler, FK 4-6	0,32	0,31	1,17	1,14	-0,52	-1,90
Landsdel Østjylland	Sandjord, FK1	0,24	0,23	0,87	0,86	-0,57	-2,09
Landsdel Østjylland	Sand, lerblandet sand, FK 2-3	0,23	0,23	0,85	0,84	-0,57	-2,09
Landsdel Østjylland	Sandblandet ler, FK 4-6	0,31	0,31	1,14	1,13	-0,57	-2,09
Landsdel Vestjylland	Sandjord, FK1	0,30	0,29	1,09	1,06	-0,50	-1,83
Landsdel Vestjylland	Sand, lerblandet sand, FK 2-3	0,32	0,32	1,19	1,16	-0,50	-1,83
Landsdel Vestjylland	Sandblandet ler, FK 4-6	0,37	0,36	1,34	1,31	-0,50	-1,83
Region Nordjylland	Sandjord, FK1	0,27	0,27	1,00	0,99	-0,53	-1,95
Region Nordjylland	Sand, lerblandet sand, FK 2-3	0,29	0,28	1,05	1,04	-0,53	-1,95
Region Nordjylland	Sandblandet ler, FK 4-6	0,35	0,35	1,28	1,27	-0,53	-1,95
Gennemsnit	Alle jordtyper, ej organiske	0,30	0,29	1,08	1,06	-0,55	-2,03

Tabel 36.4 Fortsat

		Effekt af biokul (negative værdier er bindinger)			
Landsdel	Jordtype	Totalændring, ton C/ha/år 2021-2030	Totalændring, ton C/ha/år 2021-2040	Totalændring ton CO ₂ /ha/år 2021-2030	Totalændring ton CO ₂ /ha/år 2021-2040
Bornholm	Sandblandet ler, FK 2-3	-0,29	-0,30	-1,07	-1,10
Bornholm	Sandblandet ler, FK 4-6	-0,27	-0,28	-1,00	-1,02
Nordsjælland	Sand, lerblandet sand, FK 2-3	-0,29	-0,29	-1,07	-1,08
Nordsjælland	Sandblandet ler, FK 4-6	-0,21	-0,21	-0,76	-0,78
Region Sjælland	Sand, lerblandet sand, FK 2-3	-0,40	-0,40	-1,47	-1,46
Region Sjælland	Sandblandet ler, FK 4-6	-0,38	-0,38	-1,41	-1,40
Landsdel Fyn	Sand, lerblandet sand, FK 2-3	-0,36	-0,36	-1,33	-1,33
Landsdel Fyn	Sandblandet ler, FK 4-6	-0,24	-0,25	-0,88	-0,90
Landsdel Sydjylland	Sandjord, FK1	-0,16	-0,17	-0,58	-0,63
Landsdel Sydjylland	Sand, lerblandet sand, FK 2-3	-0,15	-0,15	-0,53	-0,56
Landsdel Sydjylland	Sandblandet ler, FK 4-6	-0,19	-0,20	-0,71	-0,72
Landsdel Østjylland	Sandjord, FK1	-0,33	-0,32	-1,21	-1,19
Landsdel Østjylland	Sand, lerblandet sand, FK 2-3	-0,33	-0,33	-1,22	-1,21
Landsdel Østjylland	Sandblandet ler, FK 4-6	-0,25	-0,25	-0,93	-0,92
Landsdel Vestjylland	Sandjord, FK1	-0,20	-0,20	-0,73	-0,74
Landsdel Vestjylland	Sand, lerblandet sand, FK 2-3	-0,17	-0,18	-0,63	-0,64
Landsdel Vestjylland	Sandblandet ler, FK 4-6	-0,13	-0,13	-0,47	-0,49
Region Nordjylland	Sandjord, FK1	-0,25	-0,25	-0,93	-0,92
Region Nordjylland	Sand, lerblandet sand, FK 2-3	-0,24	-0,24	-0,88	-0,88
Region Nordjylland	Sandblandet ler, FK 4-6	-0,18	-0,18	-0,65	-0,65
Gennemsnit	Alle jordtyper, ej organiske	-0,25	-0,25	-0,92	-0,93

Diskussion

Der er en betydelig usikkerhed forbundet med den absolutte klimaeffekt ved udtagning af halm til biokul. Usikkerheden kan knyttes til alle delelementer i opgørelsen. Dels er der en usikkerhed på de aktuelle halmmængder, som er opgjort af Danmarks Statistik (DSt, 2022). Denne usikkerhed vil også være til stede i den nuværende opgørelse, hvorfor denne usikkerhed primært er knyttet til en opskalering af det samlede potentiale i forgasning af halm i Danmark.

Som nævnt ovenfor, er der en stor variation i biokuldannelsen (Weber og Quicker, 2018) og dermed også mængden af C i biokullet. I beregningerne er anlagt en middelværdi. Ea Energianalyse (2020) har i tabel 36.5 angivet fordelingen af kulstof ud fra undersøgelser på DTU og COWI mellem de forskellige fraktioner. Ud fra tabel 36.5 kan der beregnes en % C i tørstof på 46,2 %, hvilket er højere end anvendt i beregningerne, som alt andet lige giver en højere mængde C i biokullet. I datasættet fra Ea Energianalyse (2020) kan det beregnes, at C i biokullet udgør 19,4 % af tørstoffet ($0,420 \cdot 0,42 / 0,91$ (korrektion for vandindhold)), hvilket er en større mængde biokul-C end i den foretagne beregning.

Tabel 36.5. Tabel 1 fra Ea Energianalyse (2020). Masse-, energi- og kulstofbalance ved omsætning af 1 ton halm (inkl. 9% vand) i SkyCleans anlæg 1. Energibalancen er angivet for øvre brændværdi inkl. vand og aske. Der ikke indregnet tilførsel af vand i processen i balancen. Al vanddamp ender i gassen. Kilde: COWI og DTU

	Massebalance		Energibalance		Kulstofbalance	
	kg		GJ		Kg C/ton halm	
Halmpiller	1000	100%	16,4	100%	420	
Biokul	300	30%	6,7	41,1%	178	42%
Olie	140	14%	4,6	28,4%	98	23%
Gas	560	56%	5,0	30,6%	144	34%

I Elsgaard et al. (2020) er Thers et al. (2020) angivet som kilde. Her er anvendt vinterhvedehalm, hvor biokul-C udbyttet kan opgøres til 14,5 % af det totale C-indhold, uden at der er angivet holdbarhed. Thers et al. (2020) anvender data til beregning af biokulproduktionen ud fra data fra en flash pyrolysering af vinterhvedehalm ved 750 °C modtaget fra Skap Technology (Thers et al. 2020). Skap Technology angiver på deres hjemmeside, at deres Frichs flash pyrolyse anvender en temperatur på 750-850 °C, og at alle gasser afbrændes for at undgå tjæredannelse (Scapttech, 2022). Ved denne konvertering er der opnået en biokulproduktion, målt i C, på ca. 32 % af indført kulstof (ca. 20 % af tørstoffet omdannet til biokul, indeholdende 72,4 % C). Pyrolyseprocessen, som er nævnt af Ea Energianalyse (2020), er gennemført ved 500-600 °C og vil derfor have andre fordelinger af C mellem de forskellige fraktioner.

IPCC (2019) angiver som standard at 65 % ($\pm 45\%$) af biokullet består af C. Bemærk det store usikkerhedsinterval. Denne værdi er anvendt i beregningen. Dette tal er beregnet ud fra Neves et al. (2011), som er angivet som daf (dry and ash free). Weber og Quicker (2018) angiver et askeindhold på ca. 20 % og en variation i C-indholdet (daf) fra 50-80 %. Disse tal giver således et lavere C-udbytte i biokullet end IPCC (2019). Analysedata modtaget fra Stiesdal Fuel Technologies A/S, udført af EuroFins, har analyseret et biokulprodukt fra halm og fundet et organisk C-indhold på 75,2 % (Analyse: AR-21-FR-

044599-01). I en videre vurdering er det derfor meget vigtigt at have viden om pyrolyseproces og biokullets sammensætning og stabilitet.

Nedbrydning af biokul i jord

IPCC (2019) angiver en lineær nedbrydning på 20 % over 100 år. Dette er lagt ind i vurderingen. L. Elsgaard (pers. meddelelse) angiver, at ca. 3 % af biokullet er labilt og har en umiddelbar nedbrydning, og at der efterfølgende kun sker en minimal nedbrydning. Dette giver Tobias Pape Thomsen, RUC (Thomsen, 2021) også udtryk for (pers. meddelelse). Som udgangspunkt er det indholdet af brint og ilt i det dannede biokul, som er afgørende for nedbrydningshastigheden, hvorfor selve pyrolyseprocessen er vigtig.

Relation til klimaeffekttabellen

Som nævnt tidligere sammenlignes der med Elsgaard et al. (2020) og ikke klimaeffekttabellen (Petersen, 2020).

I nærværende opgørelse er der beregnet en gennemsnitlig CO₂-effekt på -0,92 ton CO₂/ha/år uafhængigt om der ses på en 10-årig eller 20-årig tidshorisont. Disse tal udgør ca. 73 % af vurderingen af Elsgaard et al. (2020).

Der er tre væsentlige forskelle. Dels at Elsgaard et al. (2020) anvender et halm-input på 5 ton halm/ha. I de foretagne beregninger er der anvendt en gennemsnitlig mængde produceret halm pr. ha i perioden 2011-2020 for fem hovedafgrøder, som producerer halm (vårbyg, havre, vinterbyg, rug, vinterhvede og vinterraps). Disse gennemsnitlige halmudbytter pr. afgrøde er yderligere korrigeret til den aktuelle fordeling af de nævnte afgrøder i hver af de 20 underopdelinger, som C-TOOL anvender for at få et tilnærmet tal for den potentielle halmproduktion i hver af de 20 underopdelinger. Det beregnede gennemsnitlige tilgængelige halmmængde fremgår af tabel 36.2. Disse svarer kun til 65-75 % af det tal, som indgår i beregningen af Elsgaard et al. (2020) og dvs., at Elsgaard et al. (2020) overvurderer effekten.

Den anden vigtige årsag til forskellen er, at Elsgaard et al. (2020) i deres vurdering af nedgangen i halmmængden, som indarbejdes i jorden, kun tager hensyn til ændringen i den årlige halmtilførsel og ikke den øvrige omsætning af organisk materiale. Ude i landbrugsjorderne findes en stor mængde kulstof. Disse er i opgørelses-/modelmæssige sammenhænge opdelt i HUM- og ROM-puljerne. På den korte bane, dvs. 50-100 år, kan omsætningen i ROM-puljen ignoreres og man kan nøjes med at se på HUM-puljen. Afhængig af jordtype og tidligere dyrkningshistorik udgør HUM-puljen ofte 50-60 ton C/ha. Uagtet at der sker en ændring i det årlige input til puljen, vil denne store pulje være under kontinuert nedbrydning. Dette tab tages der ikke hensyn til i beregningerne af Elsgaard et al. (2020), hvorved effekten på jordernes kulstofbalance ved udtag til pyrolyse af halm til biokul overvurderes.

En lavere effekt kan også ses i modelberegninger foretaget af Poulsen (2021). Poulsen (2021) har med C-TOOL-modellen i en vinterhvedemark på 100 års sigt beregnet en ændring i jordens kulstofpulje på 9,8 ton C/ha med høj-stabilt biokul (80 % tilbage efter 100 år). Dette giver en gennemsnitlig årlig ændring på 0,36 ton CO₂/ha/år sammenlignet med effekten beregnet af Elsgaard et al. (2020) på 1,27 ton CO₂/ha og den her beregnede effekt på 0,92 ton CO₂/ha/år. Forskellen mellem Poulsen (2021) og nærværende beregninger er ikke nærmere analyseret, men umiddelbart er der væsentlige forskelle i opsætning og input til C-TOOL.

Den tredje vigtige årsag til forskellen er, at Elsgaard et al. (2020) anvender data fra biokulproduktionen ved flash pyrolisering af vinterhvedehalm ved 750 °C som var modtaget fra Skap Technology. Ved denne konvertering er der opnået en biokulproduktion, målt i C, på ca. 32 % af indført kulstof (ca. 20 % tørstoffet omdannet til biokul, indeholdende 72,4 % C). Dette er en højere C % end angivet i IPCC (2019), men lidt lavere end analysen fra Stiesdal Fuel Technologies A/S.

Samlet er det højere biokuludbytte, sammenlignet med Skap teknologien, og som ses i beregningen udført af COWI og DTU for Ea Energianalyse, med til at minimere den overestimering, som sker i beregningerne af Elsgaard et al. (2020), som følge af den manglende vedligeholdelse af jordens mineraliserbare indhold af organisk materiale.

Så samlet set vurderes de foreliggende beregninger med en årlig ændring på ca. 0,93 ton CO₂/ha/år at være det foreløbige bedste bud på CO₂-effekten af pyrolyse for en gennemsnitsmark, hvor den tilgængelige halm på arealet bioforgasses og den producerede biokul returneres til det samme areal samt med en ikke nærmere defineret pyrolyseteknik.

Der kan konstateres meget store variationer og usikkerheder i litteraturen omkring mængder og teknik, hvorfor det ovenstående estimat er forbundet med store usikkerheder. Variationen mellem de 20 forskellige underopdelinger hvor C-TOOL køres i de nationale opgørelser, skyldes en kombination af forskelle mellem de enkelte underopdelingers indhold af primært HUM, dvs. organisk materiale, som har en halveringstid på 20-40 år. Hvor der er en lille mængde, dvs. på sandjorde, ses de mindste tab og på lerjorderne de højeste tab (Tabel 36.4). Hertil kommer at tilført mængde biokul varierer mellem landsdele, fordi nogle landsdele har højere udbytter end andre landsdele. En yderligere komplicerende faktor i opgørelsen er at produceret biokul må anses for at være en kommerciel handelsvare. Det betyder at produceret biokul på i et givent område ikke nødvendigvis vil blive tilbageført til dette område.

Konklusion

Der er store usikkerheder forbundet med en vurdering af klimaeffekten ved pyrolisering af biomasse til biokul. Klimaeffekttabellen angiver en effekt på -25 ton CO₂/ha/år, men dette er baseret på at der tilføres biokul, som er produceret af anden biomasse andre steder fra. Der er derfor sammenlignet med Elsgaard et al. (2020), som angiver en effekt på -1,27 ton CO₂/ha/år mod den her beregnede effekt på -0,93 ton CO₂/ha/år. Forskellen er delvis, at Elsgaard et al. (2020) ikke har indregnet en manglende vedligeholdelse af jordens mineraliserbare organiske materiale, og at der anvendes forskellige pyrolyseteknikker. Ea Energianalyse (2020) har heller ikke i deres effektivvurdering af biokul inkluderet den manglende vedligeholdelse af jordens indhold af mineraliserbart organisk materiale.

På samme vis som halm, vil biokulproduktion produceret på f.eks. rester fra rensningsanlæg, biogasanlæg samt husdyrgødning ændre tilbageførslen af organisk materiale til landbrugsjorderne i forhold til den nuværende situation og dermed bidrage til et reduceret ligevægtsniveau for omsættelig organiske kulstof niveau i de dyrkede landbrugsjorder. Det er ikke muligt med de til rådighed værende data, at foretage en kvalitativ vurdering af effekten på LU-LUCF sektoren.

Afledte effekter på N₂O-udledningen

I Elsgaard et al. (2020) foretages endvidere en vurdering af en mulig effekt på N₂O-udledningen. De målte effekter er opnået i laboratorieforsøg og enkelte feltforsøg, hvor der er tilført store mængder biokul. De opnåede effekter er meget usikkert bestemt. Thers et al. (2020) angiver: "The assumed 15 % mitigating effect of biochar on direct field emissions of N₂O must be considered uncertain." Det er DCE's vurdering, at for at tilførsel af biokul til en jord skal kunne påvirke den mikrobielle omsætning, er det nødvendigt at tilføre mængder, som opblandes meget fint, så det kan påvirke de mikroorganismer, som er ansvarlig for N₂O-dannelsen. Tilførsel/spredning af biokul vil sandsynligvis ske i pelleteret form / alternativt på en meget findelt form, hvor der på kort sigt kun vil være begrænset kontakt mellem biokullet og den store jordpulje og dermed muligvis en begrænset effekt på N₂O-dannelsen. Da de opnåede resultater ydermere skyldes meget høje tilførsler af biokul pr. ha, skal der, for at dette kan indgå i den nationale kontekst, korrigeres til de arealer, hvor der reelt tilføres biokul (måske nogle få procent af arealet) kombineret med, at det skal vurderes over hvor lang tid, en evt. effekt opnås. Den her anvendte metode er på hektarbasis. Det er DCE's vurdering, at med de usikkerheder, der er tilknyttet N₂O-opgørelsen ikke er den fornødne dokumentation til at inddrage dette i den nationale opgørelse.

37 Hyppig udslusning af kvæggylle

37.1 Beskrivelse af virkemiddel

Se kapitel 14.

37.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

For beregningerne til klimaeffekttabellen er brugt, at metanemissionen fra kvæggylle er 1,48 kg CH₄/ton gødning (Petersen et al., 2020), og fordelingen af emissionen er 53 % fra stalden og 47 % fra lageret. Hyppig udslusning giver en reduktion på 40 % af staldemissionen og en 40 % forøgelse af potentialet for metanemissionen fra lageret, som uden bioforgasning vil give en mer-emission fra lagret på $1,48 \cdot 0,47 \cdot 0,4$ kg CH₄/ton. Reduktionen beregnes som:

$(1,48 \text{ kg CH}_4/\text{ton gødning} \cdot 0,53 \cdot 0,4 + 1,48 \text{ kg CH}_4/\text{ton gødning} \cdot 0,47 \cdot 0,4) \cdot 25$
kg CO₂-ækv / kg CH₄ = 0,9 kg CO₂-ækv / ton gødning

Tabel 37.1. Drivhusgaseffekter, kg CO₂-ækvivalenter pr. ton husdyrgødning.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0	0,9	0	0	1

I 2022 rapporteringen af emissionsopgørelserne for år 2020, er metanemissionen fra kvæggylle 1,47 kg CH₄/ton gødning, og dette medfører ikke en ændring i reduktionseffekten angivet med én decimal.

37.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Opholdstiden for gyllen i stalden indgår i både emissionsopgørelserne og fremskrivningerne i beregningerne for CH₄. Hyppig udslusning indgår dog ikke i emissionsopgørelserne, da det ikke er et udbredt virkemiddel i produktionen endnu, og da der ikke foreligger data til at understøtte implementeringen i emissionsopgørelsen. For kvæg er der heller ikke på nuværende tidspunkt forventninger til, at det bliver et udbredt virkemiddel, så det indgår heller ikke i fremskrivningerne.

37.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Rettes tallet for HRT-dage (Hydraulic Retention Time) i modellen, der beregner MCF (Methane Conversion Factor), som bruges i de nationale emissionsopgørelser og fremskrivninger, fra 20 dage (gennemsnit antal HRT-dage for kvæggylle i 2020) til 7 dage, giver det en forskel på MCF for ikke-bioforgasset kvæggylle på -33 %, som svarer til en reduktion på 12 kg CO₂-ækv / ton gødning.

Tabel 37.2. Reduktion ved hyppigudslusning i emissionsopgørelser og fremskrivninger.

	Ubehandlet gylle
	Kvæg
kg CH ₄ /ton gødning	1,47
Reduktion i MCF, %	-33
Reduktion, kg CH ₄ /ton gødning	-0,48
Reduktion, kg CO ₂ -ækv/ton gødning	-12,0

37.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Hyppig udslusning forventes ikke at have nogen effekt på LULUCF-opgørelsen.

38 Hyppig udslusning af svinegylle med lagerforsuring

38.1 Beskrivelse af virkemiddel

Hyppig udslusning, hvor gyllen hurtigt overflyttes fra stalden til gylletank kombineret med optimeret lagerforsuring, forventes at have en større effekt end virkemidlerne hver for sig.

Se beskrivelse af hyppig udslusning i kapitel 14 og optimeret lagerforsuring i kapitel 34.

Teknologien for optimeret lagerforsuring er ikke udviklet.

38.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

Metanemissionen fra svinegylle er i Klimaeffekttabellen 2,39 kg CH₄/ton gødning (Petersen et al., 2020), og fordelingen af emissionen er 69 % fra stalden og 31 % fra lageret. Hyppig udslusning giver en reduktion på 40 % af stalde-missionen og en 40 % forøgelse af potentialet for metanemissionen fra lageret. Effekten af lagerforsuring sættes for CH₄ til halvdelen af effekten for staldfor-suring, som er 60 %, dvs. den sættes til 30 % (Pedersen, 2020).

Reduktionen er beregnet som:

Reduktion i stald:

$$2,39 \text{ kg CH}_4/\text{ton gødning} \times 0,69 \times 0,4 = 0,66 \text{ kg CH}_4/\text{ton gødning}$$

Reduktion i lager:

$$2,39 \text{ kg CH}_4/\text{ton gødning} \times 0,31 - (2,39 \text{ kg CH}_4/\text{ton gødning} \times 0,31 + 2,39 \text{ kg CH}_4/\text{ton gødning} \times 0,31 \times 0,4) \times 0,7 = 0,01 \text{ kg CH}_4/\text{ton gødning}$$

Total:

$$(0,66 \text{ kg CH}_4/\text{ton gødning} + 0,01 \text{ kg CH}_4/\text{ton gødning}) \times 25 \text{ kg CO}_2\text{-ækv/kg CH}_4 = 17 \text{ kg CO}_2\text{-ækv/ton gødning}$$

Der er for N₂O-emission ikke angivet en effekt af virkemidlet i klimaeffektta-bellen.

Tabel 38.1. Drivhusgaseffekter, kg CO₂-ækvivalenter pr. ton husdyrgødning.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0	17	?	0	17

I 2022 rapporteringen af emissionsopgørelserne for år 2020 giver ændringer i normtal m.m. ikke anledning til ændringer i reduktionseffekten angivet med én decimal.

38.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Kombinationen af hyppig udslusning og optimeret sommer-/lagerforsuring indgår ikke i emissionsopgørelserne og fremskrivninger.

For at dette skal kunne indgå i emissionsopgørelserne, kræver det at emissionsberegningen kan opdeles i stald- og lager emission, dvs. at der skal udvikles en model, der kan håndtere dette. Der er i disse år (frem mod 2025) en række forskningsprojekter i gang, som kan byde ind til en sådan emissionsmodel. Ydermere skal der findes dokumentation af reduktionseffekten og aktivitetsdata for hvor meget og hvilke typer af gylle der lagerforsures, samt aktivitetsdata for hyppig udslusning.

38.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

For CH₄-emission kan effekten af kombineret hyppig udslusning og optimeret sommer-/lagerforsuring ikke vurderes, da det ikke er muligt med den beregningsmodel, der bruges i emissionsopgørelserne og fremskrivninger for nuværende.

For den indirekte N₂O-emission vil effekten være som beskrevet i kapitel 35, en reduktion på ca. 0,6 kg CO₂-ækv / ton gødning.

38.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Hyppig udslusning forventes ikke at have nogen effekt på LULUCF-opgørelsen.

39 Hyppig udslusning suppleret med staldforsuring i svinestalde (Intermet)

39.1 Beskrivelse af virkemiddel

Kombineret hyppig udslusning og staldforsuring forventes at have samme effekt som staldforsuring på CH₄-emissionen, da den hyppige udslusning af gyllen ikke forventes at give en mereffekt (Hutchings et al., 2020). For N₂O vil der være en reduktion i indirekte N₂O-emission pga. reduktion i NH₃-emissionen.

39.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

CH₄ - Se kapitel 13.

For N₂O påvirkes emissionen af indirekte N₂O, og der er for gylleforsuring i stald hos svin angivet en reduktion på 3 kg CO₂-ækv/ton gødning (kapitel 13), mens der for hyppig udslusning suppleret med staldforsuring er angivet 2 kg CO₂-ækv/ton gødning (tabel 39.1). Det har ikke været muligt at finde beskrivelse af beregningerne, men da det ved hyppig udslusning suppleret med staldforsuring kun er gylleresten i kummen efter udslusning, som skal forsures (for at holde metanproduktionen nede), giver det god mening, at staldforsuring også resulterer i mindre (indirekte) N₂O-emission. Som en grov simplificeret beregning kan reduktionen i stalden sættes til 0:

Beregningseksempel for N₂O - der er valgt at regne på staldtypen "Slagtesvin, Delvis spaltegulv med 25-49% fast gulv", da dette er en af de mest udbredte staldtyper i 2020, samt at det forventes at blive det mest udbredte i fremtiden:

Reduktion i NH₃:

Lager: 0,04 kg NH₃-N*0,6 = 0,024 kg NH₃-N

Udbringning: 1,93 kg NH₄-N*0,2 kg NH₃-N / kg NH₄-N *0,6 = 0,23 kg NH₃-N

Total reduktion: 0,024+0,23 = 0,256 kg NH₃-N

Pr. ton gødning: 0,256 kg NH₃-N / 0,54 ton gødning = 0,47 kg NH₃-N / ton gødning

N₂O:

0,47 kg NH₃-N / ton gødning*0,01 kg N₂O-N / kg NH₃-N*44/28*298 kg CO₂-ækv / kg N₂O=2,2 kg CO₂-ækv / ton gødning

Effekten varierer lidt alt efter hvilken dyretype (søer, smågrise, slagtesvin) og staldtype, der beregnes for. For eksemplet givet ovenfor er effekten lidt højere end angivet i klimaeffekttabellen, mens den for andre dyretyper / staldtyper er lidt lavere.

Tabel 39.1. Drivhusgaseffekter, kg CO₂-ækvivalenter pr. ton husdyrgødning.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0	36	2	0	38

Opdateres der med normtal brugt i 2022 aflevering af emissionsopgørelse bliver effekten 2,1 kg CO₂-ækv / ton gødning.

39.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Kombinationen af hyppig udslusning og staldforsuring indgår ikke i emissionsopgørelserne og fremskrivninger. Men som beskrevet i kapitel 13 og 14 indgår opholdstid for gyllen i stalden for CH₄-emissionen og forsuring i emissionsberegningerne for NH₃ og dermed den indirekte N₂O-emission.

39.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Det er ikke muligt at estimere en effekt af kombinationen af hyppig udslusning og staldforsuring med den beregningsmodel, der bruges for nuværende til emissionsopgørelserne og fremskrivningerne.

39.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Hyppig udslusning forventes ikke at have nogen effekt på LULUCF-opgørelsen.

40 Køling af svinegylle med lagerforsuring

40.1 Beskrivelse af virkemiddel

Køling af gyllen i stalden kombineret med optimeret lagerforsuring forventes at have en større effekt end virkemidlerne hver for sig.

Se beskrivelse af hyppig udslusning i kapitel 14 og optimeret lagerforsuring i kapitel 34.

Teknologien for optimeret lagerforsuring er ikke udviklet.

40.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

Metanemissionen fra svinegylle er i klimaeffekttabellen 2,39 kg CH₄/ton gødning (Petersen et al., 2020), og fordelingen af emissionen er 69 % fra stalden og 31 % fra lageret. Gyllekøling giver en reduktion på 40 % af staldemissionen og en 40 % forøgelse af potentialet for metanemissionen fra lageret. Effekten af lagerforsuring sættes for CH₄ til halvdelen af effekten for staldforsuring, som er 60 %, dvs. den sættes til 30 % (Pedersen, 2020).

Reduktionen er beregnet som:

Reduktion i stald:

$$2,39 \text{ kg CH}_4/\text{ton gødning} \cdot 0,69 \cdot 0,4 = 0,66 \text{ kg CH}_4/\text{ton gødning}$$

Reduktion i lager:

$$2,39 \text{ kg CH}_4/\text{ton gødning} \cdot 0,31 - (2,39 \text{ kg CH}_4/\text{ton gødning} \cdot 0,31 + 2,39 \text{ kg CH}_4/\text{ton gødning} \cdot 0,31 \cdot 0,4) \cdot 0,7 = 0,01 \text{ kg CH}_4/\text{ton gødning}$$

Total:

$$(0,66 \text{ kg CH}_4/\text{ton gødning} + 0,01 \text{ kg CH}_4/\text{ton gødning}) \cdot 25 \text{ kg CO}_2\text{-ækv}/\text{kg CH}_4 = 17 \text{ kg CO}_2\text{-ækv}/\text{ton gødning}$$

Der er i klimaeffekttabellen angivet en effekt på 1 kg CO₂-ækv/ton gødning på N₂O-emissionen, men der burde ikke have været angivet en effekt for N₂O-emission af virkemidlet i klimaeffekttabellen, da der ikke forventes en effekt på N₂O-emissionen (Petersen, 2022).

Tabel 40.1. Drivhusgaseffekter, kg CO₂-ækvivalenter pr. ton husdyrgødning.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0	17	1	-4,0	14

I 2022 rapporteringen af emissionsopgørelserne for år 2020 giver ændringer i normtal m.m. ikke anledning til ændringer i reduktionseffekten angivet med én decimal.

40.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Kombinationen af køling af gylle og optimeret sommer-/lagerforsuring indgår ikke i emissionsopgørelserne og fremskrivninger.

For at dette skal kunne indgå i emissionsopgørelserne, kræver det at emissionsberegningen kan opdeles i stald- og lager emission, dvs. at der skal udvikles en model, der kan håndtere dette. Der er i disse år (frem mod 2025) en række forskningsprojekter i gang, som kan byde ind til en sådan emissionsmodel. Ydermere skal der findes dokumentation af reduktionseffekten og aktivitetsdata for hvor meget og hvilke typer af gylle der lagerforsures.

CO₂/energiforbrug indgår ikke i emissionsopgørelserne for landbrugssektoren, men er inkluderet i energisektoren.

40.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

For CH₄-emission kan effekten af kombineret køling af gylle og optimeret sommer-/lagerforsuring ikke vurderes, da det ikke er muligt med den beregningsmodel, der bruges i emissionsopgørelserne og fremskrivninger for nuværende.

40.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Køling kombineret med forsuring forventes ikke at have nogen effekt på LULUCF-opgørelsen.

41 Nitrifikationshæmmere til husdyrgødning

41.1 Beskrivelse af virkemiddel

Der forventes at være et potentiale for reduktion af den direkte emission af lattergas ved tilsætning af en nitrifikationshæmmer til husdyrgødning.

I Olesen et al. (2018) står beskrevet, at ”En række syntetiske stoffer er udviklet til at hæmme det første trin i oxidationen af ammonium tilført med gødning, som indeholder ammonium/ ammoniak (herefter ammonium). I jorden omdannes ammonium til nitrit og nitrat via nitrifikation, som er den biologiske proces, de hæmmende stoffer er rettet mod at påvirke.”

41.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

Der findes ingen danske undersøgelser af nitrifikationshæmmers effekt på emissionen af lattergas (Olesen et al., 2018). På baggrund af to internationale metaanalyser, som har analyseret effekten ved tilførsel sammen med handels- og husdyrgødning på tværs af afgrøder og gødningstyper, har DCA i klimaeffekttabellen antaget, at nitrifikationshæmmere i både husdyrgødning og handelsgødning giver anledning til en reduktion på 40 % sammenlignet med lattergasemissionen fra tilført N uden nitrifikationshæmmere (Olesen et al., 2018). Omregnet til CO₂-emission betyder det, at der for hvert kg N anvendt i gødningen med nitrifikationshæmmere kan forventes en reduktion i N₂O-emissionen svarende til 1,9 kg CO₂-ækv / kg N. I beregningen er anvendt IPCC standard N₂O-emissionsfaktor på 1 kg N₂O-N / kg N udbragt.

Emissionsreduktion = 1,9 kg CO₂-ækv / kg N = 1 kg N udbragt * 0,01 kg N₂O-N / kg N * 0,4 * 44 / 28 * 298

Tabel 41.1. Drivhusgaseffekter, kg CO₂-ækvivalenter pr. kg N.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0	0	1,9		1,9

41.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Effekten af nitrifikationshæmmere indgår ikke i den nationale emissionsopgørelse. Såfremt nitrifikationshæmmere fremadrettet skal indgå i opgørelsen, vil der være behov for at dokumentere, om reduktionseffekten på de 40 % baseret på de internationale metaanalyser angivet i Olesen et al. (2018) også gør sig gældende for danske landbrugs- og klimaforhold. Der vil ligeledes være behov for information om udbredelsen af nitrifikationshæmmere, det vil sige hvor stor en andel af gyllen er der anvendt nitrifikationshæmmere i en dosis som matcher reduktionseffekten på de 40 %. Såfremt reduktionseffekten er lavere end 40 % ved lavere dosis, bør der også indsamles viden om sammenhæng mellem dosis og reduktionseffekt.

I tilfælde af at anvendelsen af nitrifikationshæmmere influerer på anvendelsen af handelsgødning, afgrødernes udbytneniveauer eller N-udvaskningen, vil dette blive afspejlet i den nationale opgørelse, fordi disse ændringer vil fremgå af Danmarks statistik for afgrødernes udbytte, Landbrugsstyrelsens

statistik for salget af handelsgødning og overvågningsdata fra NOVANA varretaget af Institut for Ecoscience.

41.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Det er ikke muligt på baggrund af det nuværende datagrundlag at vurdere effekten i landbrugsopgørelsen.

41.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Nitrifikationshæmmere forventes ikke at have nogen effekt på LULUCF-opgørelsen.

42 Nitrifikationshæmmere på handelsgødning

42.1 Beskrivelse af virkemiddel

Der forventes at være et potentiale for reduktion af den direkte emission af lattergas ved tilsætning af en nitrifikationshæmmer til handelsgødning.

I Olesen et al. (2018) står beskrevet at, ”En række syntetiske stoffer er udviklet til at hæmme det første trin i oxidationen af ammonium tilført med gødning, som indeholder ammonium/ ammoniak (herefter ammonium). I jorden omdannes ammonium til nitrit og nitrat via nitrifikation, som er den biologiske proces, de hæmmende stoffer er rettet mod at påvirke.”

42.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

Der findes ingen danske undersøgelser af nitrifikationshæmmers effekt på emission af lattergas (Olesen et al., 2018). På baggrund af to internationale metaanalyser, som har analyseret effekten ved tilførsel sammen med handels- og husdyrgødning på tværs af afgrøder og gødningstyper, har DCA i klimaeffekttabellen antaget, at nitrifikationshæmmere i både husdyrgødning og handelsgødning giver anledning til en reduktion på 40 % sammenlignet med lattergasemissionen fra tilført N uden nitrifikationshæmmere (Olesen et al., 2018). Omregnet til CO₂-emission betyder det, at der for hvert kg N anvendt i gødningen med nitrifikationshæmmere kan forventes en reduktion i N₂O-emissionen svarende til 1,9 kg CO₂-ækv / kg N. I beregningen er anvendt IPCC standard N₂O-emissionsfaktor på 1 kg N₂O-N / kg N udbragt

Emissionsreduktion = 1,9 kg CO₂-ækv / kg N = 1 kg N udbragt * 0,01 kg N₂O-N / kg N * 0,4 * 44 / 28 * 298

Tabel 42.1. Drivhusgaseffekter, kg CO₂-ækvivalenter pr. kg N.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0	0	1,9		1,9

42.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Effekten af nitrifikationshæmmere indgår ikke i den nationale emissionsopgørelse. Såfremt nitrifikationshæmmere fremadrettet skal indgå i opgørelsen, vil der være behov for at dokumentere, om reduktionseffekten på de 40 % baseret på de internationale metaanalyser angivet i Olesen et al. (2018) også gør sig gældende for danske landbrugs- og klimaforhold. Der vil ligeledes være behov for informationer om, i hvor stor en andel af handelsgødningen der er anvendt nitrifikationshæmmere, og om det kan forventes at tildelingen i dosis matcher forventningen om 40 % reduktion i emissionen.

I tilfælde af at anvendelsen af nitrifikationshæmmere influerer på den anvendte mængde handelsgødning eller anvendelsen af gødningstyper, afgrødernes udbyttelniveauer eller N-udvaskningen, vil dette blive afspejlet i den nationale opgørelse, fordi disse ændringer vil fremgå af Danmarks statistik

for afgrødernes udbytte, Landbrugsstyrelsens statistik for salget af handelsgødning og overvågningsdata fra NOVANA varetager af Institut for Ecoscience.

42.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Det er ikke muligt på baggrund af det nuværende datagrundlag at vurdere effekten i landbrugsopgørelsen.

42.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Nitrifikationshæmmere forventes ikke at have nogen effekt på LULUCF-opgørelsen.

43 Paludikultur

43.1 Beskrivelse af virkemiddel

Paludikultur er i Eriksen et al., (2020) defineret som en ”produktion af biomasse fra planter, der trives på marker med høj vandstand og ”Landbrugsarealer, hvor dræning med rør og grøfter afbrydes, kan benyttes til paludikultur. Dette kan være aktuelt i forbindelse med vådlægning af tørvearealer eller arealer, der tidligere har været tørvejord, inden de blev drænet” (Lærke et al., 2020). Formålet er på disse jorde at høste den del af afgrøden, der i begrænset form bidrager til tørvedannelse, og dermed reduceres jordens næringsstofpulje, hvilket medvirker til en reduktion i udvaskningen af næringsstoffer.

43.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

I klimaeffekttabellen er angivet en samlet reduktion i drivhusgasemissionen på 37,4 ton CO₂-ækv / ha (Petersen, 2020), hvor langt den største effekt sker i relation til LULUCF-sektoren med en reduktion på 39,0 ton CO₂-ækv / ha som følge af ophør af nedbrydning af organisk materiale, mens der for samme arealer forventes en stigning i metanemissionen på 7,1 ton CO₂-ækv / ha. For landbrugssektoren er angivet en effekt på N₂O-emissionen svarende til en reduktion på 5,5 ton CO₂-ækv / ha.

Paludikultur er ikke nævnt i Olesen et al. (2018). I Eriksen et al. (2020) refereres til emissionsfaktorer fra DCE rapport nr. 56 (Gyldenkerne og Greve, 2015).

Tabel 43.1. Drivhusgaseffekter, ton CO₂-ækvivalenter pr. ha.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
39,0	-7,10	5,5	n.a.	37,4

43.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

43.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Paludikultur indgår ikke som en afgrøde i landbrugsopgørelsen, fordi denne arealanvendelse er specifik og ikke udbredt i Danmark. For at kunne foretage en effektiv vurdering ved etablering af paludikultur er der behov for detaljeret viden om arealernes beskaffenhed og produktionsomfang. Ved omlægning til paludikultur på landbrugsarealer er der behov for specifikke oplysninger om hvilke afgrøder, gødskningsforhold og jordtyper, der omlægges, før det er muligt at vurdere effekten i N₂O-emission ved etablering af paludikultur. De angivne effekter i Lærke et al. (2020) er ved omlægning af 100% organiske arealer på jorder med >12 % organisk kulstof (OC), hvilket svarer til udtagning af høj organiske dyrkede arealer. Dette svarer emissionsmæssigt til udtagning til vådområder, hvorefter der efterfølgende foretages høst af f.eks. tagrør. Der er i effektiv vurderingen ikke taget hensyn til etablering af paludikulturen.

43.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Paludikultur er ikke defineret til et givet område men et dyrkningssystem for et specifikt område, hvorfor der i klimamæssige sammenhænge bør skelnes mellem den kontinuerte effekt af produktionen. Det kontinuerte bidrag til en biomasseproduktion kunne være biomasse, f.eks. rør til tækkeformål eller indgå i produktionen af bioenergi.

I Lærke et al. (2020) angives ingen effekter for den kontinuerte dyrkning af arealer med paludikultur, men derimod kun klimaeffekten ved omlægning af fuldt drænede tørvejorde med $> 12\%$ OC til delvis/fuldt vanddækkede vådområder. De angivne effekter på 39 ton CO_2 per ha er forårsaget af ophør af nedbrydningen af organisk materiale, og en øget CH_4 -udledning fra disse områder på 7,1 ton CO_2 -ækv/ha er derfor de maksimale værdier, der kan opnås ved oplægningen svarende til etablering af vådområder. Etablering af vådområder sker ud fra de givne topografiske og jordbundsforhold og varierer fra projekt til projekt. Dette medfører bl.a., at mængden af organisk stof i det etablerede område kan variere over en gradient fra ren mineraljord med et lavt indhold af organisk stof til deciderede tørvejorde. Samtidig skal der ved vurdering af omlægningseffekten tages hensyn til den eksisterende vandstand inden etableringen. Hvis vandstanden i det påtænkte område i forvejen er forholdsvis vådt, vil de anvendte emissionsfaktorer, hvor antagelsen er, at området er fuldt drænet ikke være gældende. Emissionen før omlægningen kan derfor være lavere end den som er angivet i klimaeffekttabellen. Ydermere gælder, at ved en etablering af paludikultur vil en del af området ikke være hidtidig landbrugsareal, men kan være områder der i forvejen ikke er landbrugsmæssige dyrket.

Ud fra disse grunde er DCE ikke i stand til at komme med et kvalificeret bud på en generel klimaeffekt på den nationale drivhusgasopgørelse ved paludikulturdyrkning.

44 Præcisionsjordbrug

44.1 Beskrivelse af virkemiddel

I rapporten, der ligger til grund for estimerne i klimaeffekttabellen (Eriksen et al., 2020), står der angivet, at der i tiltaget præcisionsjordbrug indgår fire delvirkemidler; placeret gødning, behovsbestemt gødskning, præcis tildeling af gødning og præcis spredning (granuleret gødning). I klimaeffekttabellen forudsættes en uændret kvælstoftilførsel, men en mere præcis gødskning rettet mod afgrødernes behov, som kan medvirke til en bedre kvælstofudnyttelse, højere udbytte og en reduktion i udvaskningen af kvælstof.

44.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

I klimaeffekttabellen er der alene angivet en effekt på N₂O-emissionen, som er estimeret til 0,01 ton CO₂-ækv/ha. Estimatet er baseret på en antagelse om, at de fire delvirkemidler tilsammen kan medvirke til et teoretisk reduktionspotentiale for N-udvaskningen på 3-4 kg N/ha. Tages der udgangspunkt i en reduktion af N-udvaskningen på 3,5 kg/ha, vil det svare til 7,5 kg CO₂-ækv/ha eller 0,01 ton CO₂-ækv/ha under antagelse af en emissionsfaktor for N-udvaskning på 0,0046 kg N₂O-N/kg N udbragt, baseret på den nationale emissionsopgørelse rapporteret i 2020.

$$0,01 \text{ ton CO}_2\text{-ækv/ha} = 3,5 \text{ kg N/ha} * 0,0046 \text{ kg N}_2\text{O-N/kg N} * 0,01 * 44/28 * 298$$

Tabel 44.1. Drivhusgaseffekter, ton CO₂-ækvivalenter pr. ha.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0	0	0,01	0	0,01

44.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

I den nationale emissionsopgørelse vil eventuelle ændringer i gødningsforbruget, udbyttetniveauet og N-udvaskningen blive direkte afspejlet i data fra Statistik over salg af handelsgødning og fra NOVANA-estimer for N-udvaskningen varetaget af Institut for Ecoscience.

44.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Såfremt præcisionsjordbrug medvirker til en reduktion i N-udvaskningen svarende til 3,5 kg N/ha, vil effekten angivet i klimaeffekttabellen være i overensstemmelse med det, som bliver opgjort i den nationale emissionsopgørelse, fordi der grundlæggende anvendes samme beregningsmetode.

44.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Præcisionsjordbrug har ingen effekt på LULUCF-sektoren i den nationale opgørelse. LULUCF-opgørelsen bygger på input af organisk materiale til jorden med grunddata fra især Danmarks Statistik. I opgørelsen anvendes de opgjorte høstudbytter fra Danmarks Statistik som input af organisk materiale.

DCE har ikke kendskab til, at præcisionsjordbrug har en anderledes udbytteprofil og dermed et ændret input af organisk materiale til jorden end andre dyrkningssystemer, eller at det producerede organiske materiale har en anden nedbrydningsprofil. I tilfælde af at arealer dyrket med en højere præcision bidrager til et øget udbytte, vil dette indgå i opgørelsen fra Danmarks Statistik og blive inddraget i LULUCF.

45 Reduceret jordbearbejdning

45.1 Beskrivelse af virkemiddel

Reduceret jordbearbejdning betyder en mindsket intensitet af jordbearbejdningen i forhold til et traditionelt system med stubbearbejdning og pløjning (Eriksen et al., 2020). Det antages, at omsætningen af organisk stof i jorden – og dermed frigørelsen af kvælstof – mindskes med reduceret jordbearbejdningens intensitet. Dog er effekten af jordbearbejdning på mineraliseringen en kompleks størrelse, som afhænger af mange faktorer relateret til tid, sted, jordtype og klimaforhold.

45.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

I klimaeffekttabellen er alene angivet en effekt fra reduceret jordbehandling for energiforbruget, svarende til 0,05 ton CO₂-ækv / ha.

I Olesen et al. (2018) refereres til, at det ikke har været muligt at finde langvarige forsøg, som kunne påvise en effekt af jordens kulstofindhold som følge af reduceret jordbearbejdning, hvorfor der ikke i klimaeffekttabellen er angivet et estimat for LULUCF-sektoren.

Ligeledes er der heller ikke for landbrugssektoren angivet en effekt. Jordbearbejdning kan påvirke udledninger af lattergas, men i både Eriksen et al. (2020) og Olesen et al. (2018) refereres til studier, der viser en øget såvel som reduceret emission af N₂O, og derfor konkluderes i Olesen et al., (2018), at ”Effekterne på lattergas er dog komplicerede, og dette gør det umuligt for nærværende at tillægge jordbearbejdning en effekt på lattergas.”

Vedrørende effekt på kvælstofudvaskningen refereres i Olesen et al. (2018), at der har ikke kunne konstateres nogen effekt af reduceret jordbearbejdning på kvælstofudvaskning fra typiske danske planteproduktionssystemer, hvorfor der heller ikke er grundlag for at estimere en effekt for dette i klimaeffekttabellen.

Tabel 45.1. Drivhusgaseffekter, ton CO₂-ækvivalenter pr. ha.

LULUCF	Landbrug CH ₄	N ₂ O	Energi	Netto klimaeffekt
0	0	0	0,05	0,1

45.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

I de nationale emissionsopgørelser er reduceret jordbearbejdning ikke en variabel, der indgår i beregningen. Udledningen af N₂O-emissionen fra dyrkning af marken er alene baseret tilførsel og tab/omsætning af kvælstof, og derfor vil der ikke med nuværende beregningsmetode blive afspejlet en effekt af reduceret jordbearbejdning. Med mindre reduceret jordbearbejdning medvirker til en ændring i gødskningsniveauet eller bliver afspejlet i NOVANAs data for kvælstofudvaskningen.

45.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Der er i klimateffekttabellen ikke angivet en emission fra landbrugssektoren.

45.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Da modellen C-TOOL, der anvendes til estimering af kulstofændring i jorden, ikke inkluderer effekter af intensitet i jordbearbejdningen, vil reduceret jordbearbejdning ikke have nogen effekt på LULUCF-sektoren i den nationale opgørelse. LULUCF-opgørelsen bygger på input af organisk materiale til jorden med grunddata fra især Danmarks Statistik. I opgørelsen anvendes de opgjorte høstudbytter fra Danmarks Statistik som input af organisk materiale. DCE har ikke kendskab til, at reduceret jordbearbejdning har en anderledes udbytteprofil og dermed et ændret input af organisk materiale til jorden end andre dyrkningssystemer, eller at det producerede organiske materiale har en anden nedbrydningsprofil. I tilfælde af at arealer med reduceret jordbearbejdning har en anden afgrødefrekvens end normalt, vil disse ændringer blive inddraget i LULUCF-opgørelsen, fordi den samlede arealanvendelse er opgjort ud fra landmændenes indberetninger til Landbrugsstyrelsen via Landbrugsindberetningen.

46 Småbiotoper

46.1 Beskrivelse af virkemiddel

Etablering af småbiotoper og hegn på landbrugsarealet medfører overgang af produktivt landbrugsareal, primært med etårige afgrøder til et areal med en permanent afgrøde, f.eks. permanent græs, hegn, krat eller lignende.

46.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

I klimaeffekttabellen er angivet en forventet effekt med et spænd på en mer-emission på 20,7 ton CO₂-ækv/ha til en reduktion på 11,7 ton CO₂-ækv/ha. Fra landbrugssektoren er estimeret en reduktion i N₂O-emissionen på 1,0 ton CO₂-ækv/ha og 0,36 ton CO₂-ækv/ha fra energiforbrug, mens den resterende effekt er relateret til LULUCF-sektoren.

I klimaeffekttabellen fremgår der i felt med bemærkninger, at tiltaget småbiotoper ikke indgår i N-virkemiddelkataloget. Der fremgår heller ikke informationer om småbiotoper i Olesen et al. (2018), hvorfor det ikke har været muligt at se nærmere på beregningsgrundlaget for den estimerede effekt på CO₂-emissionen. Det har ikke været muligt indenfor projektets ressourcer at identificere referencen til de estimater der ligger til grund for klimaeffekttabellen.

Tabel 46.1. Drivhusgaseffekter, ton CO₂-ækvivalenter pr. ha.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
-22,0 til 10,3	0	1,0	0,36	-20,7 til 11,7

46.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Ændringer i arealanvendelsen som i dette tilfælde, hvor et areal tages ud af landbrugsdrift til etablering af småbiotop, vil blive afspejlet i Danmarks Statistik og dermed efterfølgende blive afspejlet i den nationale emissionsopgørelse. Eventuelle ændringer i handelsgødningens forbrug vil indgå i Landbrugsstyrelsen statistik over salg af handelsgødning, og ligeledes vil eventuelle ændringer i N-udvaskningen afspejles i data fra NOVANA-overvågningen, og dermed blive inkluderet i den nationale opgørelse for landbrug.

46.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Etablering af et areal med en småbiotop vil i landbrugets emissionsopgørelse blive betragtet som et areal, der udgår af det dyrkede areal. En ændring i N₂O-emissionen vil afhænge af, hvilket areal småbiotopen erstatter. Antages udtagningen at ske på bekostning af areal med korn (referencesituation), vil dette medvirke til en N₂O-reduktion i den nationale opgørelse svarende til 1,3 kg CO₂-ækv/ha. Beregningsgrundlag for referencesituationen er nærmere beskrevet i bilag 1.

46.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

I klimaeffekttabellen er effekten opgivet til -10,3 til 22,0 ton CO₂-ækv / ha, hvor den negative værdi er den årlige opbygning, som anvendes i den nationale opgørelse, og de 22,0 ton er initialtabet ved etablering af hegnet. Der er ikke i klimaeffekttabellen angivet en tidshorisont for denne variation.

Småbiotoper og hegn på landbrugsarealer indgår i den nationale opgørelse som en selvstændig arealkategori i lighed med f.eks. frugttræer, landbrugsarealer i omdrift og vedvarende græs. Denne skelnen skyldes biotopernes evne til at lagre kulstof over længere tid i modsætning til etårige afgrøder.

I den nationale opgørelse opgøres nye arealer med småbiotoper ud fra de etablerede arealer, som har opnået støtte, og som er indrapporteret til Miljøstyrelsen og indlagt på Miljøstyrelsen GIS portal (Miljøgis3, 2022). Fjernede hegn og småbiotoper findes ved at foretage et GIS-overlæg mellem markkortene. Hvis der er etableret landbrugsafgrøder på et areal, som er defineret som småbiotop eller hegn, fjernes en standardmængde biomasse. I tabel 46.2 er vist det samlede areal af hegn og småbiotoper, som er fundet etableret i årene 2015 til 2020. I de sidste tre år er der i gennemsnit etableret knap 50 ha om året. Herudover er der muligvis anden etablering, som ikke registreres.

Tabel 46.2. Medtaget areal i opgørelsen med hegn og småbiotoper registreret på Miljøgis3.

Etableringsår	Areal, ha
2015	145
2016	125.3
2017	121.3
2018	64.4
2019	33.3
2020	45.9

I den nationale opgørelse er der opbygget en kulstofmodel for småbiotoper og hegn (Levin et al., 2020). Levin et al. (2020) har beregnet den stående kulstofmængde og ændringer i hegn og småbiotoper på baggrund af LiDAR-analyser for årene 2006 og 2014/2015. LiDAR-målingerne viser meget store forskelle i hegnstørrelsen fra små lave og smalle hegn til større og høje fler-rækkede hegn over til enkelt-rækkede granhegn. Den nuværende hegnstrejningspolitik er baseret på fler-rækkede løvhegn.

Til brug for den nationale opgørelse er der udarbejdet en model, hvor den målte LiDAR-volumen omregnes med til en mængde kulstof per m³ hegn. LiDAR-setuppet inddrager dermed al vegetativ bevoksning med en højde over 2 meter uden for det etablerede skovareal, træ- og frugtplantager, samt arealer som ikke er klassificeret som by og anden infrastruktur. Herved indgår i princippet alle ændringer i levende hegn og småbiotoper, også på ikke støttede arealer, hvis der i fremtiden sker en ny opgørelse af LiDAR-målingerne. Det er besluttet, at Danmark kontinuert skal have lave LiDAR-målinger i en 5-årig rotation med en femtedel hvert år. Nuværende status kan ses her: <https://dmweb.sdfe.dk/maps/LiDARStatus.html>. Under forudsætning af fornøden bevilling vil DCE foretage en ny LiDAR-opgørelse af den samlede biomasse. Resultaterne for denne vil herefter indgå i den nationale opgørelse, som vil blive korrigeret ud fra de målte data.

Resultater

Ved etablering af småbiotoper og hegn overgår et areal fra etårige afgrøder til et permanent bevokset areal. Herved opstår der et initialtab mellem den etårige afgrøde og biotoparealet, som går fra 5,9 ton C/ha til 0 ton C/ha svarende til 22 ton CO₂/ha. Opbygning af ny biomasse på arealet sker vha. af en lineær 25-årig tilvækstmodel. I den nuværende opsætning er der ikke taget hensyn til en evt. stående mængde græsbiomasse i småbiotoperne og i hegnet. Ved udarbejdelse af modellen er der foretaget en ekspertvurdering af nye hegn og småbiotopers størrelse, når de er fuldt udvoksede. Vurderingen blev, at den stående biomasse for et fuldt udvokset hegn blev defineret som den gennemsnitlige målte hegn i 2014/2015 LiDAR-målingen plus 1 standardafvigelse på i alt 4,96 meter. Dette på baggrund af målte volumener på 6-rækkede hegn og fordi de nye hegn anses for at blive højere end mange af de nuværende tjørnehegn. Samlet vurderes det, at nye småbiotoper og hegn vil opnå en samlet over- og underjordisk kulstofmængde på 70,5 ton C/ha. Denne kulstofmængde anses for opnået efter 25 år via en lineær tilvækst, dvs. en årlig ændring (opbygning) på -10,3 ton CO₂/ha/år i de første 25 år.

På grund af det begrænsede areal, lille viden om hvornår de eksisterende hegn er rejst og deres stabile beliggenhed i landskabet, samt ingen viden om initialkulstofmængden i jorden, når der plantes, er det ikke antaget, at der sker en kulstofopbygning i jord. I målinger af kulstofeffekten i jord ved skovrejsning er der målt en kulstofeffekt fra 1 til 42 t CO₂-ækv/ha/år. Størst ved skovrejsning med gran. I de første 10 år efter skovrejsning bindes der blot ca. 2 t CO₂-ækv/ha/år på de ringere jorder, når der plantes skov med eg eller andre langsomt voksende træarter, og når arealerne overlades til naturlig tilgroning (Johannsen et al., 2019). Nærmere undersøgelser af evt. opbygning af kulstof i jord og i hegn skønnes nødvendigt, hvis det skal indgå i de nationale opgørelser eller at der alternativt anvendes data fra målinger, hvor der er foretaget skovrejsning.

Klimaeffekttabellen angiver et spænd fra -22,0 til 10,3 ton CO₂-ækv/ha/år. Det er de samme tal, som indgår i den nationale opgørelse. Det opgjorte spænd i klimaeffekttabellen er et udtryk mellem etableringsåret og den lineære tilvækst i de efterfølgende år. Der er således ingen forskel, udover at den nationale opgørelse inddrager tidsperspektivet.

47 Vådområder på mineraljord

47.1 Beskrivelse af virkemiddel

Vådområder etableres med henblik på at fjerne kvælstof gennem denitrifikation og placeres oftest, hvor disse vil have den største effekt i form af reduktion af nitrat, der tilføres området gennem dræn eller naturlige strømningsveje (Olesen et al., 2018).

Kvælstoffjernelse i vådområder kan variere ganske betydeligt, hvilket dels kan tilskrives belastningens størrelse dels vådområdets hydrologiske karakteristika, og her er det især vandets strømningsdynamik gennem vådområdet, der spiller en rolle (Eriksen et al., 2020).

47.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

Der er i klimaeffekttabellen ikke angivet nogen effekt som følge af etablering af vådområder.

Tabel 47.1. Drivhusgaseffekter, ton CO₂-ækvivalenter pr. ha.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0	0	0	0	0

47.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

I klimaeffekttabellen angives klimaeffekten ved etablering af vådområder på mineraljord til 0 for N₂O. Dog vil etablering af vådområder på eksisterende landbrugsarealer i omdrift, hvor der tilføres mineralskgødning eller husdyrgødning medvirke til en reduktion i det samlede kvælstofforbrug og dermed en mindre direkte N₂O-udledning samt en mindre indirekte udledning (fordampning af N og N-udvaskning) fra landbrugssektoren.

Reduktionen i N₂O-udledningen vil afhænge af den specifikke lokalitet, hvilken slags vådområde, størrelsen på oplandet og hvilken arealanvendelse, der tidligere har været på arealet.

Da data for anvendelsen af kvælstof i husdyrgødning og handelsgødning, arealanvendelsen og N-udvaskning på nationalt niveau opgøres hvert år, vil effekten af udtagning af landbrugsjord til vådområder blive reflekteret i den nationale opgørelse.

47.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Etablering af vådområder vil i relation til den nationale emissionsopgørelse for landbrug betyde udtagning af landbrugsjord. Antages en udtagning at ske på bekostning af areal med korn (referencesituation), vil dette medvirke til en N₂O-reduktion i den nationale opgørelse svarende til 1,3 kg CO₂-ækv / ha. Beregningsgrundlag for referencesituationen er nærmere beskrevet i bilag 1.

47.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

I klimaeffekttabellen angives klimaeffekten ved etablering af vådområder på mineraljord til 0. Dette er i overensstemmelse med IPCC's guidelines (IPCC, 2014), bl.a. som følge af at der ikke dannes CH₄ pga. manglende indhold af organisk materiale på jorderne. Ved arealomlægning vil der ske et direkte tab/lagring af CO₂ i omlægningsåret som følge af ændrede mængder af overjordisk biomasse på de omlagte arealer. Der forventes ingen ændringer i jordernes indhold af organisk materiale. Der vil derfor kun være en meget lille effekt ved vådlægning af mineraljord på den nationale opgørelse.

48 Afbrænding af husdyrgødning

48.1 Beskrivelse af virkemiddel

Afbrænding eller termisk forgasning af husdyrgødning giver muligheder for at reducere kvælstofudvaskningen og fosforoverskuddet i husdyrintensive områder.

48.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

I klimaeffekttabellen er angivet en forventning om en øget emission som følge af afbrænding af husdyrgødning på 0,3 ton CO₂-ækv/ha, som et resultat af øget emission fra LULUCF-sektoren på 1,4 ton CO₂-ækv/ha, mens der fra landbrugssektoren forventes et fald i emissionen af lattergas svarende til 1,0 ton CO₂-ækv/ha.

Tabel 48.1. Drivhusgaseffekter, ton CO₂-ækvivalenter pr. ha

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
-1,4	0	1,0	0	-0,3

48.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Det har ikke været muligt at finde frem til beregningsgrundlaget for den estimerede reduktion i N₂O-emissionen på de 1,0 ton CO₂-ækv/ha som er angivet i klimaeffekttabellen, hverken i Eriksen et al. (2020) eller i det Excel beregningsark, der ligger til grund for klimaeffekttabellen.

Afbrænding af husdyrgødning kan give anledning til reduktion i N-udvaskningen og en øget anvendelse af handelsgødning, hvilket begge er variable, der vil blive afspejlet i Landbrugsstyrelsens statistik over salget af handelsgødning og i Institut for Ecoscience overvågningsprogram NOVANA, og de vil derfor blive inkluderet i den nationale emissionsopgørelse.

48.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Det har ikke været mulig at estimere en effekt i den nationale opgørelse som følge af afbrænding af husdyrgødning, da viden om eventuelle ændringer i variable som N-udvaskning og gødskning ikke er tilgængelige på nuværende tidspunkt.

48.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

I klimaeffekttabellen er afbrænding af husdyrgødning estimeret til at reducere kulstoflagringen i jord med 1,4 tons CO₂ per ha. Ved afbrænding af husdyrgødning omsættes al organisk bundet C i husdyrgødningen omgående til CO₂, hvor den bundne C ved indarbejdelse i jorden nedbrydes over en længere periode.

Det har ikke været muligt at genfinde de 1,4 ton CO₂ pr. ha i referencen (Eriksen et al., 2020). I Sørensen et al. (2020, eds. Eriksen et al.) er der foretaget en opgørelse af, hvor al husdyrgødning afbrændes samt opgjort den totale

mængde C i det der afbrændes. Dette er konverteret til en tabsfaktor i jorden ved at se på restmængden af C i jorden efter 20 år, hvilket er opgjort til 12 % af den afbrændte mængde. I alt en årlig ændring i kulstoflagringen i jord på - 67.221 ton C ved afbrænding af al fiberfraktion fra kvæg-og svinegylle samt afbrænding af fast fjerkrægødning. (Tabel 5 i Sørensen et al., 2020). Det fremgår ikke helt transparent, hvordan dette tal er konverteret til pr. hektar og det her ikke været muligt indenfor projektets rammer at identificere datagrundlaget.

I praksis vil afbrænding af husdyrgødning betyde en nedgang i jordens kulstofpulje. Det vil dog kræve en tilbundsående undersøgelse af omfang og implementering. Afbrænding af al husdyrgødning må anses som ikke muligt. Effekten af at afbrænde en delmængde afhænger af hvor i landet det sker, fordi der er meget store forskelle i husdyrtætheder. I et område med lav husdyrtæthed vil effekten per ha være begrænset, mens den i husdyrtætte områder vil være stor. En sådan beregning vil derfor vise store variationer mellem landsdele. Dette skal ydermere ses i at det givne tiltag overlapper med anden anvendelse af husdyrgødning i biogasanlæg, pyrolisering, øget efterspørgsel efter N holdige handelsgødninger samt P holdige gødninger osv.

49 Avl for fodereffektivitet i svineproduktionen

Der er i klimaeffekttabellen ikke angivet nogen effekt for avl for fodereffektivitet i svineproduktion, men der er dog i Hutchings et al. (2020) under bemærkninger angivet: "Beregningsmodel findes i DK hos AGRO. Der savnes beregninger på effekter, der dækker den danske svineproduktion af de effekter der her forventes gennem avl for bedre fodereffektivitet over de kommende år. Avlsarbejde kan gavne i både økologisk og konventionel svineproduktion". Der er i denne rapport ikke set nærmere på effekten af dette tiltag.

50 Avl i retning af toformålsmalkeracer

Der er i klimaeffekttabellen ikke angivet nogen effekt for avl i retning af toformålsmalkeracer, og i Hutchings et al. (2020) er der som bemærkning angivet: ”Udenlandske undersøgelser viser at der er en potentiel effekt, men vi mangler veldokumenteret viden og de faktiske reduktioner under danske forhold”. Der er derfor ikke set nærmere på effekten af dette tiltag.

51 Anvendelse af systematiske krydsningssystemer hos malkekvæg

Der er i klimaeffekttabellen ikke angivet nogen effekt for anvendelse af systematiske krydsningssystemer hos malkekvæg, og i Hutchings et al. (2020) er der som bemærkning angivet: ”Udenlandske undersøgelser viser at der er en potentiel effekt, men vi mangler veldokumenteret viden og de faktiske reduktioner under danske forhold”. Der er derfor ikke set nærmere på effekten af dette tiltag.

52 Avl for fodereffektivitet hos kvæg

Der er i klimaeffekttabellen ikke angivet nogen effekt for avl for fodereffektivitet hos kvæg, og i Hutchings et al. (2020) er der som bemærkning angivet: ”Udenlandske undersøgelser viser at der er en potentiel effekt, men vi mangler veldokumenteret viden og de faktiske reduktioner under danske forhold”. Der er derfor ikke set nærmere på effekten af dette tiltag.

53 Udvikling af foderplanter med mindre enterisk metanemission

Der er i klimaeffekttabellen ikke angivet nogen effekt for udvikling af foderplanter med mindre enterisk metanemission, og i Hutchings et al. (2020) er der som bemærkning angivet: ”Udenlandske undersøgelser viser at der er en potentiel effekt, men vi mangler veldokumenteret viden og de faktiske reduktioner under danske forhold”. Der er derfor ikke set nærmere på effekten af dette tiltag.

54 Afbrænding i fakkel af luft fra gyllebeholdere med svinegylle

54.1 Beskrivelse af virkemiddel

Afbrænding via en fakkel af luft fra gyllebeholderen, vil kunne reducere emissionen af metan. Dette ville kræve overdækningsforhold, som er langt tættere end det, som er på nuværende tidspunkt. Teknologien er ikke dokumenteret.

54.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

I klimaeffekttabellen er angivet en reduktion i metanemission som følge af afbrænding i fakkel af luft fra gyllebeholderen på 12 ton CO₂-ækv / ton gylle.

I beregningen i klimaeffekttabellen er data for metanemission og gylleproduktion baseret på den nationale emissionsopgørelse rapporteret i 2020. For svinegylle er der i beregningen anvendt en gennemsnitlig metanemission for gylle fra slagtesvin, som ikke er biogasbehandlet, svarende til en metanemission på 2,39 kg CH₄/ton gylle fra stald og lager. I Eriksen et al. (2020) er antaget, at lageret udgør 31 % af den samlede emission, og at reduktionspotentiallet for afbrænding med flamme er 64 % af lager emissionen.

CH₄ reduktion = 12 ton CO₂-ækv / ton gylle = 2,39 kg CH₄/ton gylle * 0,31 * 0,64 * 25 kg CO₂/kg CH₄

I beregningen er ikke taget højde for eventuelle ændringer i N₂O-emissionen, men det kan være tilfældet, at afbrænding af luft fra gyllebeholdere har en effekt på N₂O-emissionen. Ligeledes er der heller ikke i beregningen taget højde for eventuelle effekter på NH₃-emissionen eller N-udvaskningen.

Tabel 54.1. Drivhusgaseffekter, ton CO₂-ækvivalenter pr. ton gødning.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0	12	0	?	12

I den nationale emissionsopgørelse indgår ikke effekt af afbrænding af luft fra gyllebeholdere med svinegylle, da et sådant system ikke eksisterer. Såfremt beregningen blev opdateret til seneste emissionsopgørelse rapporteret i 2022 ville effekten for svinegylle være 12 ton CO₂-ækv/ton gylle, hvilket er det samme som angivet i klimaeffekttabellen. I tabel 54.2 er angivet data for beregningsgrundlaget.

Tabel 54.2 Effektberegning af afbrænding af fækkel i luft fra gyllebeholder med svinegylle, baseret på data fra rapporteringen i 2022.

Svinegylle		
Gennemsnitlig kg CH ₄ /ton gylle		2,39
Beregning af effekt:		
31 % af CH ₄ kommer fra lager*		0,31
Reduktionspotential 64 %*		0,64
Reduktionseffekt	kg CH ₄ /ton gylle	0,47
Reduktionseffekt	kg CO ₂ -ækv/ton gylle	11,9

*Antaget i Klimaeffekttabel, Eriksen et al., 2020

54.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Som tidligere er nævnt er afbrænding i fækkel af luft fra gyllebeholdere ikke et tiltag, der på nuværende tidspunkt er inkluderet i den nationale opgørelse, da systemet ikke anvendes i praksis. For at dette skal kunne indgå i emissionsopgørelserne, kræver det at emissionsberegningen kan opdeles i stald- og lager emission, dvs. at der skal udvikles en model, der kan håndtere dette. Der er i disse år (frem mod 2025) en række forskningsprojekter i gang, som kan byde ind til en sådan emissionsmodel. Ydermere vil det kræve en solid dokumentation af reduktionspotentialet for at blive inkluderet i opgørelsen. Såfremt det tænkes, at fækkelafrændingen ikke sker i alle gyllebeholdere, vil der i relation til emissionsopgørelsen også være behov for data for udbredelsen af afbrændingen.

54.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Effekten i emissionsopgørelsen for fuld skala afbrænding af luft fra samtlige gyllebeholdere med svinegylle, vil med antagelser angivet i klimaeffekttabellen forventes at give anledning til en reduktion i CH₄-emissionen på 12 kg CO₂-ækv/ton svinegylle, hvilket stemmer overens med estimatet angivet i klimaeffekttabellen.

54.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Afbrænding af CH₄ i fækkel af luft fra gyllebeholdere forventes ikke at have nogen effekt på LULUCF-opgørelsen.

55 Rensning af luft fra gyllebeholdere med svinegylle med biofilter

55.1 Beskrivelse af virkemiddel

Opsamling af luft fra overdækkede gyllebeholdere kan renses i jordfiltre. Teknologien er kendt ved rensning af lossepladsgas og er udviklet i Holland. Teknologien er ikke dokumenteret. Det nævnes i klimaeffekttabellen, at der vil kunne dannes N₂O i forbindelse med anvendelse af biofiltre.

55.2 Effekt angivet i klimaeffekttabel

I klimaeffekttabellen er angivet en reduktion i metanemission som følge af rensning af luft fra gyllebeholderen på 13 ton CO₂-ækv / ton gylle.

I beregningen i klimaeffekttabellen er data for metanemission og gylleproduktion baseret på den nationale emissionsopgørelse rapporteret i 2020. For svinegylle er der i beregningen anvendt en gennemsnitlig metanemission for gylle fra slagtesvin, som ikke er biogasbehandlet, svarende til en metanemission på 2,39 kg CH₄/ton gylle fra stald og lager. I Eriksen et al. (2020) er antaget, at lageret udgør 31 % af den samlede emission, og at reduktionspotentiallet for rensning af luft fra gyllebeholdere er antaget at være 70 %.

CH₄ reduktion = 13 ton CO₂-ækv / ton gylle = 2,39 kg CH₄/ton gylle * 0,31 * 0,70 * 25 kg CO₂/kg CH₄

I beregningen er der ikke taget højde for eventuelle ændringer i N₂O-emissionen, men det kan være tilfældet at rensning af luft fra gyllebeholdere med biofiltre har effekt på ændring i N₂O-emissionen. Ligeledes er der heller ikke i beregningen taget højde for eventuelle effekter på NH₃-emissionen eller N-udvaskningen.

Tabel 55.1. Drivhusgaseffekter, ton CO₂-ækvivalenter pr. ton gødning.

LULUCF	Landbrug		Energi	Netto klimaeffekt
	CH ₄	N ₂ O		
0	13	?	0	13

I den nationale emissionsopgørelse indgår ikke teknologi med luftrensning med biofilter fra gyllebeholder med svinegylle. Såfremt beregningen blev opdateret til seneste emissionsopgørelse rapporteret i 2022, ville effekten for svinegylle være 13 ton CO₂-ækv / ton gylle. I tabel 55.2 er angivet data for beregningsgrundlaget.

Tabel 55.2. Effektberegning af rensning af luft med biofilter fra gyllebeholder med svinegylle, baseret på data rapporteret i 2022

Svinegylle		
Kg CH ₄ /ton gylle		2,39
Beregning af effekt:		
31 % af CH ₄ kommer fra lager*		0,31
Reduktionspotential 70 %*		0,70
Reduktionseffekt	kg CH ₄ /ton gylle	0,52
Reduktionseffekt	kg CO ₂ -ækv/ton gylle	13,0

*Antaget i klimaeffekttabel, Eriksen et al., 2020.

55.3 Status i emissionsopgørelser og fremskrivninger

Anvendelse af biofilter til rensning af luften fra gyllebeholdere med svinegylle er ikke en teknologi, der på nuværende tidspunkt er inkluderet i den nationale opgørelse, da der ikke er nogen anvendelse. Det vil kræve en solid dokumentation af reduktionspotentialet for at blive inkluderet i opgørelsen. Såfremt det tænkes, at bio-filtrering af luften i gyllebeholdere ikke sker i alle gyllebeholdere, vil der i relation til emissionsopgørelsen også være behov for data for udbredelsen af denne teknologi.

55.3.1 Effekt på landbrugsopgørelsen

Effekten i emissionsopgørelsen for fuld skala biofiltrering af luften fra gyllebeholder med svinegylle, vil med antagelser angivet i klimaeffekttabellen forventes at give anledning til en reduktion i CH₄-emissionen på 13 kg CO₂-ækv/ton gylle, hvilket svarer til samme effekt som angivet i klimaeffekttabellen.

55.3.2 Effekt på LULUCF-opgørelsen

Rensning af luft fra gyllebeholdere har ingen effekt på LULUCF-opgørelsen.

56 Plantesorter forædlet til fodring

Der er i klimaeffekttabellen ikke angivet nogen effekt for plantesorter forædlet til fodring, og i Hutchings et al. (2020) er der som bemærkning angivet: ”Ny redegørelse påkrævet”. Der er derfor ikke set nærmere på effekten af dette tiltag.

57 Referencer

BF2020, 2020: Basisfremskrivning 2020 – Danmarks Klima- og Energifremskrivning Udgivet i juni 2020 af Energistyrelsen, Carsten Niebuhrs Gade 43, 1577 København V (Rev. 1 30/06/20) Telefon: 33 92 67 00, E-mail: ens@ens.dk, Internet: <http://www.ens.dk/basisfremskrivning>

Blicher-Mathiesen, G., Olesen, J.E., Strandberg, B., Bruus, M., Rubæk, G.H., Hutchings, N.J., Hasler, B. og Martinsen, L. Permanent udtagning og kortvarig brak i omdrift. I Eds, 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://dca.au.dk/djfpdf/DCA-rapport174.pdf>

Bossen, D., 2007: Foderstyring efter koens vægt kan øge laktationsydelsen. http://www.kfc-foulum.dk/artikler/4_koer/fodringsstrategier_dbossen.htm

Brask, 2013. The effect of fat supplementation and forage type on methane production and digestion in dairy cows. PhD-thesis, Aarhus University.

Brask-Pedersen, D.N., Lamminen, M., Mogensen, L., Hellwing, A.L.F., Johansen, M., Lund, P., Larsen, M., Weisbjerg, M.R. og Børsting, C.F. 2021. Effekt af græs- og majsensilage andel på klimaaftryk fra mælkeproduktion. 17 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 05.07.2021. https://pure.au.dk/portal/files/219384665/Gr_s_majs_p_virkning_p_klima.pdf

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. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, 28.01.2020

Børsting, C.F. & Hellwing, A.L.F., 2021: Normtal 2021, Normtal for husdyrgødning –2021, 40 sider. Aarhus Universitet. https://anis.au.dk/fileadmin/DJF/Anis/dokumenter_anis/normtal/normtal_2021/normtal_fra_anne_louise/Normer_ANIS_hjemmeside_excel_version_171221.pdf

DCA, 2016, Mail modtaget fra DCA, 6 september 2016

DSt, 2022, Tabel "HALM1" i Statistikbanken, <https://www.statistikbanken.dk/statbank5a/default.asp?w=837>

DTU, 2019, Reduktion af landbrugets klimaaftryk ved hjælp af pyrolyse, notat fra DTU til Klimarådet, dateret august 2019.

Elsgaard, L. Strandberg, B. og Bruus, M. 2020, Halm til forgasning med returløring af biochar (pyrolyse-produceret kul) til jorden. I 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://dca.au.dk/djfpdf/DCArapport174.pdf>

Ea Energianalyse, 2020, SkyClean, Pyrolyse af halm og nedmuldning af biokul som klimavirkemiddel, <https://www.stiesdal.com/wp-content/uploads/2021/03/EA-Energianalyse-SkyClean-pyrolyse-af-halm-og-nedmuldning-af-biokul-som-klimavirkemiddel-feb-2021.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>

Eriksen, J., Jensen, P.N., Jacobsen, B.H. (redaktører) 2014. Virkemidler til realisering af 2. generations vandplaner og målrettet arealregulering. DCA Rapport 052. http://web.agrsci.dk/djfpublikation/djfpdf/Virkemiddelkatalog_web.pdf

Gyldenkerne, S. og Greve, M.H. 2015. For bestemmelse af drivhusgasudledning ved udtagning/ekstensivering af landbrugsjorder på kulstofrige lavbundsjorder. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 47 s. - Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 56. <http://dce2.au.dk/pub/TR56.pdf>

Hafner, SD., Nyord, T., Sommer, GS. & Adamsen, AP., 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. Available at: <https://pure.au.dk/portal/files/223538048/EFreport23092021.pdf> (Feb. 2022)

Hansen, M.N., Kai, P. & Birkmose, T.S., 2015. Vidensyntese om drivhusgasser og emissionsbaseret regulering i husdyrproduktionen. AgroTech.

Hansen, E. M., Thomsen, I.K., Lærke, P.E., Jørgensen, U., Boeltt.B., Gislum, R., Rasmussen, J., Rubæk, G.H., Kudsk, P., Strandberg, B., Bruus, M., Hutchings, N.J. og Pedersen, M.F., 2020, "Afgroeder med stort kvælstofoptag" i eds. Eriksen et al., 2020.

Hellwing, A.L.F., Weisbjerg, M.R., Brask, M., Alstrup, L., Hymøller, L., Larsen, M.K., & P. Lund (2016). Prediction of the methane conversion factor (Y_m) for dairy cows on the basis of national farm data. Animal Production Science, 56, 535-540. <https://www.publish.csiro.au/an/AN15520>

Hristov, A.N., Oh, J., Giallongo, F., Frederick, T.W., Harper, M.T., Weeks, H.L., Branco, A.F., Moate, P.J., Deighton, M.H., Williams, S.R., Kindermann, M., Duval, S., 2015. An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production. Proc. Natl. Acad. Sci. 112, 10663–10668.

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., Gyldenkerne, S., Møller, H.B., Hansen, M.J., Feilberg, A. & Adamsen, A.P., 2020: Opdatering af effekter og potentialer af klimavirkemidler til anvendelse i landbrug. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, 27.02.2020

- IPCC 2006: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- IPCC, 2007: AR4 Climate Change 2007: Synthesis Report This Synthesis Report is based on the assessment carried out by the three Working Groups of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) during the AR4 cycle. <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/>
- IPCC, 2014: 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds). Published: IPCC, Switzerland.
- 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.
- Johannsen, V. K., Nord-Larsen, T., Vesterdal, L., & Bentsen, N. S., (2019). Kulstofbinding ved skovrejsning: Sagsnotat, 26 s. https://curis.ku.dk/portal/files/225664165/Sagsnotat_kulstof_skovrejsning_20190724.pdf
- KF22, 2022: Klimafremskrivning 2022. Energistyrelsen. (Under udarbejdelse)
- Klimarådet, 2020, Kendte veje og nye spor til 70 procent reduktion, <https://klimaraadet.dk/da/rapporter/kendte-veje-og-nye-spor-til-70-procents-reduktion>
- Kristensen, T., Lehmann, J.O, Knudsen, M.T., Pedersen, B.F., Petersen, S.O., Eriksen, J., Sørensen, M.M., Gyldenkerne, S. og Mikkelsen, M.H. Levering på bestillingen ”Estimering af national klimaeffekt for omlægning til økologisk jordbrug”. Journal 2020-0062101. 4/9-2020 Aarhus Universitet.
- Landbrugsavisen, 2012, Stor forskel i udbytter i pil, <https://landbrugsavisen.dk/avis/stor-forskel-p%C3%A5-udbytter-i-pil>
- LBST, 2022a, Vejledning om gødsknings- og harmoniregler Planperioden 1. august 2021 til 31. juli 2022, https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Goedningsregnskab/Vejledning_om_goedskning_og_harmoniregler_2021_2022.pdf
- LBST, 2022b, Vejledning om regler for pligtige og husdyrefterafgrøder og dyrkningsrelaterede tiltag Planperioden 1. august 2020 til 31. juli 2021 https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Efterafgroeder_og_jordbearbejdning/Vejledning_om_regler_for_pligtige_og_husdyrefterafgroeder_og_dyrkningsrelaterede_tiltag_planperioden_2020_2021.pdf
- Levin, G., Angelidis, I. & Gyldenkerne, S. 2020. Assessment of change in biomass from 2006 to 2014/2015 of non-forest woody vegetation in Denmark. Technical documentation. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 30 pp. Technical Report No. 178. <http://dce2.au.dk/pub/TR178.pdf>

Lærke, P.E., Strandberg, B. og M. Bruus, 2020, i ”Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet” (Eds. Eriksen et al.). Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 452 s. – DCA rapport nr. 174 <https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport174.pdf>

Miljoegis3, 2022, <https://miljoegis3.mim.dk/spatialmap>.

Mikkelsen, M.H., Gyldenkerne, S. & Albrechtsen, R. 2022. Inkludering af klimaeffekt af økologisk landbrugsproduktion i den nationale emissionsopgørelse og fremskrivning. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 42 s. - Videnskabelig rapport nr. 491 <https://dce2.au.dk/pub/SR491.pdf>

MST, 2022: Teknologilisten, Miljøstyrelsen. <https://mst.dk/erhverv/landbrug/miljoeteknologi-og-bat/teknologilisten/gaa-til-teknologilisten/> (Marts 2022).

Møller, J. (ed), 2005, Fodermiddeltabel – Sammensætning og foderværdi af fodermidler til kvæg Rapport nr. 112, Dansk Kvæg.

Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Nielsen, M., Gyldenkerne, S., Mikkelsen, M.H., Albrechtsen, 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., Gyldenkerne, S., Mikkelsen, M.H., Albrechtsen, 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., Olsen, T. M. & Hansen, M.G. 2022. Denmark's National Inventory Report 2021. Emission Inventories 1990-2022 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy (Under udarbejdelse)

Olesen, J.E., Petersen, S.O., Lund, P., Jørgensen, U., Kristensen, T., Elsgaard, L., Sørensen, P. og Lassen, J., 2018, VIRKEMIDLER TIL REDUKTION AF KLIMAGASSER I LANDBRUGET, DCA rapport Nr. 130. <https://dcapub.au.dk/djfpublikation/djfpdf/DCArapport130.pdf>

Petersen S.O., 2020: Opdatering af klimaeffekter for virkemidler i landbruget bl.a. som følge af nyt kvælstofvirkemiddelkatalog – tilføjelse. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, 18.08.2020

Petersen, S.O., 2021: Personlig kommunikation via mail per 10.11.2021. Professor Søren O. Petersen, Institut for Agroøkologi- Jordbiologi og Næringsstoffer, Aarhus Universitet.

Petersen, SO, 2022: Personlig kommunikation via mail per 14.03.2022. Professor Søren O. Petersen, Institut for Agroøkologi- Jordbiologi og Næringsstoffer, Aarhus Universitet.

Petersen SO, Mikkelsen MH, Albrechtsen R, Gyldenkerne S, 2020. Justering af den beregnede emission af metan fra afgasset gylle. Bestilling fra Departementet leveret 08.06.20.

Poulsen, L.B., 2021, Modelling soil carbon changes following application of straw biochar in Danish soils. DTU Environment, DTU Chemical Engineering Bachelor Thesis, June, 2021, pp 42.

Scaptech, 2022, www.scaptech.dk/index.php/2011-03-31-04-22-52.

Sørensen, Peter. 2021. Mængden af kvælstof i efterafgrøde planterester. Internt notat (ikke fagfællebedømt). Institut for Agroøkologi, AU

Sørensen, P., Kudsk, P., Strandberg, B., Bruus, M., Rubæk, G.H., Hutchings, N.J. og Jacobsen, B.H., 2020, Afbrænding af husdyrgødning, i "Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet" (Eds. Eriksen et al.). Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 452 s. – DCA rapport nr. 174 <https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport174.pdf>

Thers, H., Abalos, D., Dörsch, P., Elsgaard, L. 2020. Nitrous oxide emissions from oilseed rape cultivation were unaffected by flash pyrolysis biochar of different type, rate and field ageing. Sci. Total Environ 724, 138-140.

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 Universitets Center, <https://forskning.ruc.dk/en/publications/klimaaftryk-fra-anvendelse-af-halm-i-pyrolyse-og-biogas-en-analys>

Weber, K. and Quicker, P., 2018, Properties of biochar, Fuel 217, 240-263.

Bilag 1 Beregning af N₂O ved referencesituation (korndyrkning)

Beregning af N₂O-emissionen fra dyrkning af landbrugsjord i den nationale emissionsopgørelse er baseret på retningslinjer angivet i IPCC Guidelines (2006). En ændring i arealanvendelsen på landbrugsjord vil typisk påvirke både den direkte N₂O-emission, såvel som den indirekte N₂O-emission. Den direkte emission omfatter emission fra udbringning af husdyrgødning og handelsgødning på marken, samt emission fra kvælstof i afgrøderester, dvs. den del af afgrøden, som efterlades på marken efter høst. Den indirekte emission kommer fra ammoniakemission fra udbragt gødning, hvor der samtidig også vil ske en emission af N₂O, og fra udvaskningen af kvælstof til jord og vandområde (rodzone, vandløb og hav).

Beregning af den direkte og indirekte N₂O-emissionen for en referencesituation er estimeret til en emission på 1,3 ton CO₂-ækv / ha, hvor langt størstedelen er relateret til den direkte emission (tabel A.1). Referencesituationen er beregnet med udgangspunkt i areal med dyrkning af korn, hvor arealet af korn er baseret på data for år 2020 og gødskningsbehov er baseret på Vejledning om gødsknings- og harmoniregler Planperioden 1. august 2021 til 31. juli 2022. Der tages udgangspunkt i data baseret på den seneste afrapporterede emissionsopgørelse i 2022, hvor seneste historiske år er 2020. Kornafgrøder udgør ca. 55 % og græs ca. 25% af det samlede dyrket areal i Danmark, og derfor antages ændring i arealanvendelsen ved f.eks. øget græsareal, brak, vådområde, overvejende at ske på bekostning af kornarealet.

I referencesituationen beregnes ammoniakemissionen fra gødskning baseret på emissionsfaktoren for handelsgødning, fordi ændringer i afgrødevalget ikke antages at påvirke husdyrgødningsproduktionen, og dermed heller ikke den totale mængde af husdyrgødning udbragt på marken.

Tabel A.1. Estimat for N₂O-emission for referencesituation, areal med dyrkning af korn, baseret på data fra den nationale opgørelse (Submission2022).

Reference situation		
Direkte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	1104
Gødskning	kg CO ₂ -ækv/ha	802
Afgrøderester	kg CO ₂ -ækv/ha	302
Indirekte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	164
NH ₃ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	32
N-udvaskning	kg CO ₂ -ækv/ha	132
Total emission landbrug	ton CO ₂ -ækv/ha	1,27
Beregningsgrundlag		
Direkte N₂O-emission		
Gødskning:		
Gennemsnitlig gødskning for korn	kg N/ha	171
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	1,71
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	2,69
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -reduktion	kg CO ₂ -ækv/ha	802
Afgrøderester:		
Gennemsnit N-input	kg N/ha	64
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,64
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	1,01
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -reduktion	kg CO ₂ -ækv/ha	302
Indirekte N₂O-emission		
NH₃ emission		
NH ₃ -EF	kg NH ₃ -N/kg N udbragt	0,04
NH ₃ -emission	kg N/ha	6,81
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,07
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	0,11
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	32
N-udvaskning		
Gennemsnitlig N-udvaskning	kg N/ha	60
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,0047
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,28
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	0,44
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	132

Beregningsgrundlag

Emissionsberegning fra anvendelse af gødning på marken

I referencesituationen antages et gødningsbehov for korn at være 171 kg N / ha, hvilket er baseret på gødningsvejledningen 2021 / 2022 for den mest udbredte jordtype (JB 5-6), vægtet i forhold til den arealmæssige allokering i 2020 baseret på Danmarks Statistik.

Tabel A.2. Estimat for gennemsnitligt gødskningsbehov for korn.

	Danmarks Statistik		Vejledning om gødsknings- og harmoniregler. Planperioden 1. august 2021 til 31. juli 2022	
	Dyrket areal 2020, ha	% fordeling	Gødskningsnorm, JB 5-6	kg N/ha
Vinterhvede	483.445	36	208	75
Vårhvede	18.288	1	165	2
Rug	115.002	9	153	13
Vinterbyg	87.665	6	184	12
Vårbyg	563.879	42	144	60
Havre	74.633	6	153	8
Triticale og andet korn til modenhed	6.479	0	188	1
Korn i alt	1.349.391	100		
Vægtet N-gødskningsnorm				171

N₂O-emissionen fra gødskning af marken er beregnet til 802 kg CO₂-ækv / ha, ud fra et forventet kvælstofbehov på 171 kg N / ha, en N₂O-emissionsfaktor på 0,01 kg N₂O-N / kg N udbragt til mark, baseret på IPCC (2006), molvægtsomregning fra N₂O-N til N₂O (44 / 28) og en ækvivalent effekt på 298 kg CO₂ per kg N₂O baseret på IPCC 4th Assessment Report IPCC (2007).

$$\text{Emission}_{\text{Gødskning}} = 802 \text{ kg CO}_2\text{-ækv / ha} = 171 \text{ kg N / ha} * 0,01 \text{ kg N}_2\text{O-N / kg N} * 44 / 28 * 298 \text{ kg CO}_2 / \text{kg N}_2\text{O}$$

Emissionsberegning fra afgrøderester

Emissionen fra den del af afgrøden der efterlades på marken efter høst afhænger af N-indholdet i planteresterne. Med udgangspunkt i den nationale opgørelse og data for kornafgrøder de seneste 10 år, 2010-2020, kan den gennemsnitlige mængde N i afgrøderester estimeres til 64 kg N / ha (tabel A.3).

På baggrund heraf er emissionen fra afgrøderester beregnet til 302 kg CO₂-ækv / ha.

$$\text{Emission}_{\text{Afgrøderester}} = 302 \text{ kg CO}_2\text{-ækv / ha} = 64 \text{ kg N / ha} * 0,01 \text{ kg N}_2\text{O-N / kg N} * 44 / 28 * 298$$

Tabel A.3. Estimat for gennemsnitlig kg N i afgrøderester for korn per ha.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Gennemsnit 2010-2020
Dyrket areal med korn, 1000 ha	1.455	1.472	1.476	1.415	1.458	1.439	1.454	1.441	1.420	1.366	1.349	
N i afgrøderester, Mio. kg N	89	89	94	91	101	103	92	100	64	96	95	
Gennemsnit kg N afgrøderester/ha	61	61	63	64	69	72	63	70	45	70	71	64

Reference: Data fra den nationale emissionsopgørelse, submission 2022

Emissionsberegning fra ammoniakemission

Med en gennemsnitlig N-gødsning på 171 kg/ha (tabel A.2), og en ammoniakemissionsfaktor på 0,04 kg NH₃-N per kg N udbragt, baseret på den gennemsnitlige emission for anvendelsen af handelsgødning i 2020 opgjort i den nationale opgørelse, kan N₂O-emissionen fra ammoniakemission opgjort i CO₂-ækvivalenter estimeres til 32 kg CO₂-ækv/ha.

$$\text{Emission}_{\text{NH}_3} = 32 \text{ kg CO}_2\text{-ækv/ha} = 171 \text{ kg N} * 0,04 \text{ kg NH}_3\text{-N/kg N} * 0,01 \text{ kg N}_2\text{O-N/kg N} * 44/28 * 298$$

Emissionsberegning fra kvælstofudvaskning

I den nationale opgørelse er beregningen af N₂O fra kvælstofudvaskning på baggrund af et estimat baseret på landsniveau, hvorfor et specifikt estimat for udvaskning for kornafrøder ikke er tilgængelig. Alternativt er beregnet et estimat for den gennemsnitlige kvælstofudvaskning til rodzonen for de seneste 10 år på 60 kg N/ha, hvilket er baseret på kvælstofudvaskningsdata fra Institut for Ecoscience, med datagrundlag fra NOVANA-resultater og data fra Danmarks Statistik for det dyrkede areal. Gennemsnittet på de 60 kg N/ha stemmer fint overens med estimat angivet i Eriksen et al. (2020) s. 388, hvor der står beskrevet, at *"En opdateret gennemsnitlig udvaskningsberegning for landbrugsarealet gennemført med NLES4 viser, at den udgjorde ca. 61 kg N/ha (Koncept for anvendelse og effektfastsættelse af kvælstofvirkemidler, denne rapport), hvilket er i samme størrelsesorden som i Grøn Vækst rapporten for perioden 2007-2011..."*

Tabel A.4. Estimat for gennemsnitlig kg N udvasket per ha .

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Gennemsnit 2010-2020
Dyrket areal, 1000 ha	2.646	2.640	2.645	2.628	2.652	2.633	2.625	2.631	2.632	2.626	2.620	
N udvasket til rodzonen, Mio. kg N	167	165	164	164	155	153	164	157	160	152	149	
Gennemsnit kg N udvasket/ha	63	62	62	62	58	58	62	60	61	58	57	60

Reference: Data fra den nationale emissionsopgørelse, submission 2022

I den nationale opgørelse anvendes en N₂O-emissionsfaktor baseret på IPCC Guidelines (2006), hvor der skelnes mellem N-udvaskningen til tre puljer, rodzonen, vandløb og hav. På baggrund af data for kvælstofudvaskningen fra NOVANA og IPCC N₂O-emissionsfaktorer, er beregnet en gennemsnitlig N₂O-emissionsfaktor for årene 2015-2019 på 0,0047 kg N₂O-N per kg N udvasket til rodzonen.

Tabel A.5. Estimat for gennemsnitlig kg N udvasket per ha.

	2015	2016	2017	2018	2019	Gennemsnit 2015-2019
N-udvaskning til rodzone (NOVANA), mio. kg N	153	164	157	160	152	
kt N ₂ O	1,22	1,14	1,13	1,06	1,20	
IEF, Kg N ₂ O-N per kg N udvasket til rodzone	0,0051	0,0044	0,0046	0,0042	0,0050	0,0047

På baggrund heraf er emissionen fra kvælstofudvaskning beregnet til 132 kg CO₂-ækv / ha.

$$\text{Emission}_{\text{N-udvaskning}} = 132 \text{ kg CO}_2\text{-ækv} / \text{ha} = 60 \text{ kg N} * 0,0047 \text{ kg N}_2\text{O-N} / \text{kg N} \\ * 0,01 \text{ kg N}_2\text{O-N} / \text{kg N} * 44 / 28 * 298$$

Bilag 2 Beregning af N₂O-emissionen for brak-lægning (slåningsbrak)

Tabel B.1. Estimat for N₂O-emission for areal med braklægning (slåningsbrak), baseret på data fra den nationale opgørelse (Submission2022).

Emission ved braklægning (slåningsbrak)		
Direkte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	108
Gødskning	kg CO ₂ -ækv/ha	0
Afgrøderester	kg CO ₂ -ækv/ha	108
Indirekte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	59
NH ₃ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	0
N-udvaskning	kg CO ₂ -ækv/ha	59
Total landbrug	ton CO ₂ -ækv/ha	0,17
Beregningsgrundlag		
Direkte N₂O-emission		
Gødskning:		
Antaget ingen gødskning	kg N/ha	0
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	0
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	0
Afgrøderester:		
Antaget N-indhold som for græs udenfor med 3 års ompløjningsrate		
ompløjningsrate	Kg N/ha	23
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,23
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	0,36
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	108
Indirekte N₂O emission		
NH₃-emission		
NH ₃ -EF	kg NH ₃ -N/kg N udbragt	0,04
NH ₃ -emission	kg N/ha	0
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	0
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	0
N-udvaskning		
Antaget gennemsnit N-udvaskning	kg N/ha	27
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,0047
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,13
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	0,20
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	59

Bilag 3 Beregning af N₂O-emissionen for efterafgrøder

Tabel C.1. Estimat for N₂O-emission for areal med efterafgrøder, baseret på data fra den nationale opgørelse (Submission2022).

Emission for efterafgrøder		
Direkte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	1216
Gødskning	kg CO ₂ -ækv/ha	704
Afgrøderester	kg CO ₂ -ækv/ha	513
Indirekte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	98
NH ₃ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	28
N-udvaskning	kg CO ₂ -ækv/ha	70
Total landbrug	ton CO ₂ -ækv/ha	1,31
Beregningsgrundlag		
Direkte N₂O-emission		
Gødskning:		
Antaget gennemsnitsgødskning	kg N/ha	150
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	1,50
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	2,36
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	704
Afgrøderester:		
Antaget mer-N fra efterafgrøder på 45 kg N/ha	kg N/ha	109
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	1,09
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	1,72
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	513
Indirekte N₂O-emission		
NH₃-emission		
NH ₃ -EF	kg NH ₃ -N/kg N udbragt	0,04
NH ₃ -emission	kg N/ha	5,97
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	00,06
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	00,09
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	28
N-udvaskning		
Antaget en lavere N-udvaskning på 28 kg N/ha		
ift. reference	kg N/ha	32
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,0047
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,15
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	0,24
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	70

Bilag 4 Beregning af N₂O-emissionen for fler-årige energiafgrøder

Tabel D.1. Estimat for N₂O-emission for flerårige energiafgrøder, baseret på data fra den nationale opgørelse (Submission2022).

Emission ved flerårige energiafgrøder		
Direkte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	759
Gødskning	kg CO ₂ -ækv/ha	562
Afgrøderester	kg CO ₂ -ækv/ha	197
Indirekte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	53
NH ₃ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	22
N-udvaskning	kg CO ₂ -ækv/ha	30
Total landbrug	ton CO ₂ -ækv/ha	0,81
Beregningsgrundlag		
Direkte N₂O-emission		
Gødskning:		
Antaget gødskning (energipil)	kg N/ha	120
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	1,20
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	1,89
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	562
Afgrøderester:		
Antaget samme N-input som lupin (5 årig)	Kg N/ha	42
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,42
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	0,66
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	197
Indirekte N₂O-emission		
NH₃-emission		
NH ₃ -EF	kg NH ₃ -N/kg N udbragt	0,04
NH ₃ -emission	kg N/ha	4,77
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,05
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	0,07
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	22
N-udvaskning		
Antaget N-udvaskning	kg N/ha	14
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,0047
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,06
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	0,10
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	30

Bilag 5 Beregning af N₂O-emissionen ved græs i sædskifte

Tabel E.1. Estimat for N₂O-emission for græs i sædskifte, baseret på data fra den nationale opgørelse (Submission2022).

Emission ved græs i sædskifte		
Direkte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	1720
Gødskning	kg CO ₂ -ækv/ha	1358
Afgrøderester	kg CO ₂ -ækv/ha	362
Indirekte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	123
NH ₃ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	54
N-udvaskning	kg CO ₂ -ækv/ha	69
Total landbrug	ton CO ₂ -ækv/ha	1,84
Beregningsgrundlag		
Direkte N₂O-emission		
Gødskning:		
Antaget gødskning (fodergræs m kl./lucerne (<50% bælgsæd))		
	kg N/ha	290
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	2,90
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	4,56
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	1358
Afgrøderester:		
Gennemsnitlig N-input (Udbytte 8 ton ts/ha – ompløjning 2-3 år)		
	Kg N/ha	77
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,77
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	1,21
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	77
Indirekte N₂O-emission		
NH₃-emission		
NH ₃ -EF	kg NH ₃ -N/kg N udbragt	0,04
NH ₃ -emission	kg N/ha	11,53
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,12
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	0,18
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	54
N-udvaskning		
Antaget N-udvaskning	kg N/ha	31
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,0047
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,15
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	0,23
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	69

Bilag 6 Beregning af N₂O-emissionen for mellemafgrøder

Tabel F.1. Estimat for N₂O-emission for areal med mellemafgrøder, baseret på data fra den nationale opgørelse (Submission2022).

Emission for mellemafgrøder		
Direkte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	1209
Gødskning	kg CO ₂ -ækv/ha	802
Afgrøderester	kg CO ₂ -ækv/ha	407
Indirekte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	133
NH ₃ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	32
N-udvaskning	kg CO ₂ -ækv/ha	101
Total landbrug	ton CO ₂ -ækv/ha	1,34
Beregningsgrundlag		
Direkte N₂O-emission		
Gødskning:		
Ingen ændring i gødskning ift. referencesituation	kg N/ha	171
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	1,71
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	2,69
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	802
Afgrøderester:		
Antaget mer-N fra efterafgrøder på 23 kg N/ha	Kg N/ha	87
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,87
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	1,37
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	407
Indirekte N₂O-emission		
NH₃-emission		
NH ₃ -EF	kg NH ₃ -N/kg N udbragt	0,04
NH ₃ -emission	kg N/ha	6,81
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,07
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	0,11
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	32
N-udvaskning		
Antaget en lavere N-udvaskning på 14 kg N/ha ift. reference		
reference	kg N/ha	46
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,0047
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,22
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	0,34
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	101

Bilag 7 Beregning af N₂O-emissionen ved reduktion i handelsgødningforbruget på 1 kg N udbragt

Tabel G.1. Estimat for N₂O-emission ved reduktion i handelsgødningforbruget på 1 kg N udbragt i forhold til referencesituationen (korn), baseret på data fra den nationale opgørelse (Submission2022).

Emission ved reduktion i handelsgødning på 1 kg N udbragt		
Direkte emission	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	1097
Gødskning	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	797
Afgrøderester	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	300
Indirekte emission	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	163
NH ₃ -emission	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	32
N-udvaskning	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	131
Total landbrug	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	1260
Beregningsgrundlag		
Direkte N₂O-emission		
Gødskning:		
Antaget gødskning	kg N/ha	170
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	1,70
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	2,68
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	797
Afgrøderester:		
N-input (samme forhold som fald i gødskning)	Kg N/ha	64,07
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,64
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	1,01
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	300
Indirekte N₂O-emission		
NH₃-emission		
NH ₃ -EF	kg NH ₃ -N/kg N udbragt	0,04
NH ₃ -emission	kg N/ha	6,77
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,07
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	0,11
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	32
N-udvaskning		
N-udvaskning (samme forhold som fald i gødskning)	kg N/ha	60,05
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,0047
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,28
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	0,44
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	131

Bilag 8 Beregning af N₂O-emissionen ved udtagning af omdriftsareal til permanent ugødet brak

Tabel H.1. Estimat for N₂O-emission ved udtagning af omdriftsareal til permanent ugødet brak i forhold til referencesituationen (korn), baseret på data fra den nationale opgørelse (Submission2022).

Emission for permanent ugødet brak		
Direkte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	483
Gødskning	kg CO ₂ -ækv/ha	451
Afgrøderester	kg CO ₂ -ækv/ha	32
Indirekte emission	kg CO ₂ -ækv/ha	93
NH ₃ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	18
N-udvaskning	kg CO ₂ -ækv/ha	75
Total landbrug	ton CO ₂ -ækv/ha	0,58
Beregningsgrundlag		
Direkte N₂O-emission		
Gødskning:		
Antaget gødskning ved ekstensiv græsning	Kg N/ha	75
Antaget gødskning	kg N/ha	96
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,96
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	1,51
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	451
Afgrøderester:		
N-input	Kg N/ha	7
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,07
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	0,11
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	32
Indirekte N₂O-emission		
NH₃-emission		
NH ₃ -EF	kg NH ₃ -N/kg N udbragt	0,04
NH ₃ -emission	kg N/ha	3,83
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,04
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	0,06
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	18
N-udvaskning		
N-udvaskning (antaget en reduktion på 26 kg N/ha		
ift. reference)	kg N/ha	34
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,0047
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,16
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	0,25
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	75

Bilag 9 Beregning af N₂O-emissionen ved dyrkning af frøgræs (1 årig)

Tabel I.1. Estimat for N₂O-emission ved dyrkning af frøgræs (1-årig), baseret på data fra den nationale opgørelse (Submission2022).

Emission for dyrkning af frøgræs (etårigt)		
Direkte emission	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	1786
Gødskning	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	797
Afgrøderester	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	988
Indirekte emission	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	100
NH ₃ -emission	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	32
N-udvaskning	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	69
Total landbrug	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	1886
Beregningsgrundlag		
Direkte N₂O-emission		
Gødskning:		
Antaget gødskning	kg N/ha	170
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	1,70
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	2,68
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	797
Afgrøderester:		
N-input	Kg N/ha	211
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	2,11
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	3,32
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	988
Indirekte N₂O-emission		
NH₃-emission		
NH ₃ -EF	kg NH ₃ -N/kg N udbragt	0,04
NH ₃ -emission	kg N/ha	6,77
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,07
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	0,11
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	32
N-udvaskning		
N-udvaskning (reduceret med 29 kg N/ha)	kg N/ha	31
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,0047
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,15
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	0,23
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	69

Bilag 10 Beregning af N₂O-emissionen ved dyrkning af roer

Tabel J.1. Estimat for N₂O-emission ved dyrkning af roer, baseret på data fra den nationale opgørelse (Submission2022).

Emission for dyrkning af roer		
Direkte emission	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	885
Gødsning	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	628
Afgrøderester	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	258
Indirekte emission	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	118
NH ₃ -emission	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	25
N-udvaskning	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	93
Total landbrug	kg CO ₂ -ækv/kg N reduceret	1003
Beregningsgrundlag		
Direkte N₂O-emission		
Gødsning:		
Antaget gødsning	kg N/ha	134
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	1,34
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	2,11
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	628
Afgrøderester:		
N-input (gennemsnit 2010-2020)	Kg N/ha	55
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,55
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	0,86
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	258
Indirekte N₂O-emission		
NH₃-emission		
NH ₃ -EF	kg NH ₃ -N/kg N udbragt	0,04
NH ₃ -emission	kg N/ha	5,33
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	0,01
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,05
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	0,08
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	298
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	25
N-udvaskning		
N-udvaskning (reduceret med 29 kg N/ha)	kg N/ha	18
N ₂ O-N-EF	EF, kg N ₂ O-N per kg N	42
N ₂ O-N-emission	kg N ₂ O-N	0,0047
N ₂ O-emission	kg N ₂ O	0,20
CO ₂ -ækvivalent (GWP)	kg CO ₂ /kg N ₂ O	0,31
CO ₂ -emission	kg CO ₂ -ækv/ha	298

SAMMENLIGNING AF KLIMAEFFEKTER

Emissionsopgørelse, emissionsfremskrivning og klimaeffekttabel

I denne rapport gennemgås de 56 virkemidler der er listet i Klimaeffekttabellen, hvor der for hvert af virkemidlerne er angivet en kort beskrivelse samt gengivet baggrunden for beregningen af effekten angivet i Klimaeffekttabellen. Derudover er der beskrevet effekten ved en beregning der følger metoderne, der anvendes i den nationale emissionsopgørelse, med henblik på, at undersøge og kvantificere virkemidlernes klimaeffekt, som de reflekteres i emissionsopgørelsen og fremskrivningen.