



**KLIMAVIRKEMIDLER  
TIL DANSK LANDBRUG  
2023**

**SEGES**  
INNOVATION

## KLIMAVIRKEMIDLER TIL DANSK LANDBRUG

er udgivet af

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

8740 5000  
segesinnovation.dk

### FORFATTERE

Alice Thoft Christensen; Anders Fogh; Arne Oksen;  
Benita Hyltdgaard; Cecilie Skov Nielsen; Finn Udesen;  
Helle Pelant Lahrman; Irene Asta Wiborg; Jette Søholm Petersen;  
Klaus Kaiser; Lars Villadsgaard Toft; Lisbeth Henriksen;  
Lone Balle Carlqvist; Malene Myllerup; Michael Holm;  
Morten Nyland Christensen; Nicolaj Ingemann Nielsen;  
Per Tybirk; Søren Kolind Hvid; Ulrik Sander Nielsen

### FAGFÆLLEBEDØMMELSE

Peter Langborg Wejse; Jens Elbæk; Kent Myllerup

### REKVIRENT

Landbrug & Fødevarer F.m.b.A.

### FINANSIERING

Landbrug & Fødevarer F.m.b.A.

### UDARBEJDELSE AF RAPPORTEN

Forfatterne har i forbindelse med udarbejdelse af rapporten indhentet viden fra en række vidensinstitutioner og virksomheder.

### CITERES SOM:

Henriksen, L.; Kaiser, K.; Christensen, M.N.; Hyltdgaard, B.;  
Wiborg, I.A.; Toft, L.V.; Hvid, S.K.; Holm, M.; Tybirk, P.;  
Nielsen, N.I. 2023. Klimavirkemidler til dansk landbrug. 89 sider.  
SEGES Innovation P/S

### HENVENDELSER VEDR. RAPPORTEN

Peter Langborg Wejse, Afdelingschef for Center for Klima  
& Bæredygtighed, pelw@seges.dk, SEGES Innovation P/S

### FORSIDEFOTO

SEGES Innovation P/S

2. udgave  
September 2023

.....  
**SEGES Innovation er en uafhængig innovationsvirksomhed,**  
som i mere end 50 år har udviklet ny viden og konkrete løsninger  
til bæredygtig fødevarerproduktion. Virksomheden omsætter  
også dyb viden om landbrug og fødevarer til avanceret software,  
der viser nye veje.

## 1. Resumé

SEGES Innovation giver i denne rapport sin vurdering af, hvor meget landbruget kan reducere drivhusgasudledningen frem til 2030 i forhold til Landbrugsaftalens reduktionsmålsætning på 55-65 % af drivhusgasudledningen i 1990. Omsat til CO<sub>2</sub>e bliver det til et krav om reduktion på yderligere cirka 7,75 mio. ton med de nyeste emissionskoefficienter samt nuværende kendte og nye virkemidler.

Udgangspunktet for denne rapport er at beskrive tilgængelige og nye virkemidler, som vurderes at kunne implementeres inden 2030 gennem videreudvikling og efterfølgende implementering. Der er også beskrevet kommende virkemidler, som formentlig ikke når ret stor udbredelse inden 2030, men som vurderes at kunne implementeres efter 2030 forudsat fortsat udvikling, så der sikres en faldende udledning af drivhusgasser også efter 2030.

I nærværende rapport er der samlet et overblik over virkemidler til grise-, kvæg-, fjerkræproduktion samt markbrug. Det samlede overblik af virkemidler inkluderer teknologier til stald, lager og mark, foderadditiver og fodersammensætning, effekten af produktivitet samt ændring i produktionsformer. Vurderingen er, at landbruget kan reducere drivhusgasudledningen med 6,9-9,8 mio. ton CO<sub>2</sub>e i 2030. Når reduktion fremgår som et interval, skyldes det usikkerheden i implementeringen og udviklingen af nye virkemidler frem mod 2030. Det er meget vigtigt at se denne vurdering i sammenhæng med de opsatte forudsætninger.

Rapporten indeholder desuden en opgørelse af de omkostninger, der er forbundet med investering og implementering af virkemidlerne på den enkelte bedri forhold til Det er således en opgørelse over landmandens omkostninger. De samfundsøkonomiske omkostninger er kun i enkelte tilfælde medtaget perifert. Implementering af virkemidlerne kræver samlet set store investeringer for den enkelte landbrugsvirksomhed. Selv om der i sagens natur er stor usikkerhed knyttet til sådanne beregninger, står det klart, at det er en stor udfordring, som fordrer, at erhvervet ikke belastes yderligere økonomisk. Det er derfor vigtigt at udvikle virkemidler så omkostningseffektivt som muligt.

Med erkendelse af den relativt store usikkerhed, der hersker i forhold til både reduktionspotentiale og omkostninger, vil griseproducenterne være i stand til at reducere over halvdelen af CO<sub>2</sub>-udledningen i forhold til 2020, men de sidste reduktionsomkostninger er høje. Kvægbedrifterne synes at kunne reducere op til 44 % af egen udledning. Omkostningerne bliver relativt høje, når reduktionen overstiger en fjerdedel af egen udledning. Gennemgående synes plantebedrifterne at være i stand til at kunne overopfylde reduktionskravene og endda til en lavere pris.

Der skal afsættes i størrelsesorden 250 mio. kr. om året til innovation og udvikling, for at landbruget har en mulighed for at komme i mål. Samtidig er der flere centrale barrierer forbundet med både udviklingen og implementeringen af virkemidlerne, der skal håndteres for at opnå den tilsigtede effekt. Det er blandt andet effektive governance-modeller for hurtigere godkendelse af nye virkemidler og mangel på faglige ressourcer i forsknings- og udviklingsmiljøerne.

Det vil kræve en stor indsats at færdigudvikle virkemidlerne, fjerne barrierer og implementere virkemidlerne i løbet af de næste syv år. Samlet set er det konklusionen, at med den nødvendige vilje til at investere og fjerne barrierer kan målet for dansk landbrug nås.

## Indhold

2. Indledning .....	5
3. Udgangspunkt for landbrugets reduktion af drivhusgasser (Baseline).....	6
4. Klimavirkemidler – Mark .....	8
4.1 Udtagning af kulstofrige jorde .....	8
4.2 Klimaoptimeret skovrejsning .....	13
4.3 Nitrifikationshæmmere i handels- og husdyrgødning .....	14
4.4 Klimaoptimeret gødningsanvendelse .....	15
4.5 Biochar-Pyrolyse .....	16
4.6 Øget kulstoflagring i jord .....	18
4.7 Dyrkning af græs til græsprotein .....	21
4.8 Økologi .....	22
4.9 Produktivitet i marken.....	27
5. Klimavirkemidler - Kvæg.....	29
5.1 Gylleforsuring i stald.....	29
5.2 Drænet fast gulv med gødningskraber og ajlefløb .....	30
5.3 Foderadditiver til reduktion af enterisk metan .....	32
5.4 Fedt i foderet til reduktion af enterisk metan.....	33
5.5 Avl for malkekøer, der udnytter foder bedre til produktion af mælk og kød .....	34
5.6 Opfangning og omsætning af metan i kvægstalde .....	35
6. Klimavirkemidler - Gris.....	37
6.1 Gylleforsuring i stald.....	37
6.2 Hyppig gylleudslusning .....	38
6.3 Linespilsanlæg .....	40
6.4 Gyllekøling .....	42
6.5 Klimaoptimeret foder og udvikling i produktivitet .....	44
7. Lagerbehandling – Kvæg og Gris.....	51
7.1 Biogas .....	51
7.2 Forsuring i gylletanke .....	53
7.3 Fakkelafløb af metan fra gylletanke .....	55
7.4 Biologisk oxidering af metan fra gylletanke .....	56
8. Klimavirkemidler – Fjerkræ.....	58
8.1 Gødningsbånd.....	58
8.2 Varmeveksler til fjerkræstalde.....	58
9. Ændring i produktionsgrundlaget 2030.....	60
9.1 Kvæg.....	60
9.2 Gris.....	60

9.3 Mark .....	61
10. Samlet potentiale for reduktion af drivhusgasser fra landbruget frem med 2030 .....	62
11. Økonomiske konsekvenser, muligheder og udfordringer .....	64
11.1 Mark .....	65
11.2 Kvæg .....	68
11.3 Grise .....	69
11.4 Lagerbehandling – Kvæg og Gris .....	71
11.5 Fjerkræ .....	73
11.6 Reduktionspotentiale og omkostninger for landmanden .....	74
12. Anbefaling til udviklings- og innovationsbehov frem mod 2030 .....	80
12.1 Mark .....	80
12.2 Kvæg .....	82
12.3 Grise - Gyllehåndtering .....	82
12.4 Lagerbehandling – kvæg og gris .....	83
12.5 Fjerkræ .....	85
12.6 Økologi .....	85
12.7 Økonomi .....	86
12.8 Sammenfatning udvikling og innovation .....	87
13. Barrierer og anbefalinger .....	88
14. Konklusion .....	89

## 2. Indledning

Folketinget har besluttet, at landbruget inden 2030 skal reducere drivhusgasudledningen med 55-65 % i forhold til 1990. For at nå dette mål har Folketinget nedsat et udvalg, der skal se på reguleringsmæssige modeller, herunder om man skal lægge en CO<sub>2</sub>-afgift på landbrugets biologiske processer.

SEGES Innovation giver i denne rapport – ud fra nyeste viden – en vurdering af reduktionspotentialet i landbruget frem til 2030. Desuden beskrives SEGES Innovations anbefalinger til udvikling og innovationsbehov frem mod 2030 for at nå målet.

Med udgangspunkt i den nuværende udledning beregnes, hvor meget landbruget potentielt kan reducere drivhusgasudledningen i 2030, hvis både kendte implementerbare virkemidler og nye endnu ikke-færdigudviklede virkemidler færdigudvikles. Reduktionen opgøres i mio. ton CO<sub>2</sub>e, og holdes op imod landbrugsaftalens målsætning for 2030 om en reduktion på 7,4 mio. ton CO<sub>2</sub>e, som med nye justerede emissionsfaktorer opjusteres til 7,75 mio. ton CO<sub>2</sub>e, jævnfør nedenfor.

Potentialeberegningen suppleres med en vurdering af, hvad der realistisk kan nås til 2030, givet tidsrammen samt de forskellige barrierer, der er gældende med denne tidshorisont.

Behovene for finansiering inden for forskning, innovation og implementering for at fremskaffe tilstrækkelig viden og udvikle virkemidler er beskrevet. Finansieringen er en forudsætning for, at landbruget når sit fulde potentiale og bliver i stand til at opfylde målsætningen for reduktion af drivhusgasser i 2030. Dog er der en række barrierer for at nå den tilsigtede effekt, herunder ressourcer, regler og godkendelse af virkemidler. Det er vigtigt, at der sideløbende med forsknings- og udviklingsindsatsen arbejdes med at nedbryde disse barrierer.

Selv om man har regnet på landbrugets udledning af drivhusgasser siden 1990, opnås hele tiden ny viden om drivhusgasserne og opvarmningsgraden for de enkelte drivhusgasser i forhold til CO<sub>2</sub>. For metan og lattergas arbejdes der nu med to såkaldte "Global Warming Potential"-værdier, som angiver effekten af henholdsvis metan og lattergas, når den sammenlignes med CO<sub>2</sub> over en 100-årig periode. GWP<sub>100</sub>-værdien for metan og lattergas, der anvendes, når Danmark hvert år indberetter, hvor meget drivhusgas der udledes fra landet, var i 2022 henholdsvis 25 og 298. I april 2023 ændredes disse værdier i den nationale indberetning til henholdsvis 28 og 265. I nærværende, opdaterede rapport anvendes derfor konsekvent GWP<sub>100</sub>-værdier i overensstemmelse med Danmarks nuværende, årlige indrapportering på 28 for metan og 265 for lattergas.

Generelt knytter der sig flere usikkerhedsmomenter til beregningen af såvel reduktionspotentialet som omkostningerne forbundet med udvikling og implementering af virkemidlerne. Det skyldes, at der løbende foretages revisioner af emissionsfaktorerne, at implementeringshastigheden for de kendte virkemidler er afhængig af landbrugsvirksomhedernes økonomiske situation samt eventuelle barrierer for implementering. Derudover er der usikkerhed om udviklingsmulighederne og -hastigheden i forhold til nye virkemidler, som dels afhænger af den teknologiske udvikling og dels af de tilgængelige ressourcer til forskning, udvikling og innovation samt de efterfølgende forudsætninger for implementering.

### 3. Udgangspunkt for landbrugets reduktion af drivhusgasser (Baseline)

#### Baggrund og forudsætninger

Som en del af "Aftale om grøn omstilling af dansk landbrug" ("landbrugsaftalen") fra 4. oktober 2021 blev der af Folketinget fastsat et bindende reduktionsmål for land- og skovbrugssektorens drivhusgasudledninger på 55-65 % i forhold til 1990-udledningen.

Ifølge landbrugsaftalen skulle landbrugets udledning af drivhusgasser dermed sænkes med 7,4 mio. ton CO<sub>2</sub>e fra 2020 og frem mod 2030, under hensyntagen til principperne i Klimaloven, herunder bæredygtig erhvervsudvikling og dansk konkurrencekraft, sunde offentlige finanser og beskæftigelse.

Landbrugsaftalen indeholder en række initiativer, som reducerer udledningen af drivhusgasser, herunder et implementeringsspor med reduktionskrav på 2,4 mio. ton CO<sub>2</sub>e, som allerede nu kan implementeres, samt et udviklingsspor med tiltag, der har til formål at reducere CO<sub>2</sub>-udledningerne med de resterende 5 mio. ton. Efterhånden som de teknologiske tiltag til nedbringelse af udledning af drivhusgasser udvikles tilstrækkeligt, flyttes initiativerne over i implementeringssporet.

Energistyrelsen opgjorde den samlede udledning af CO<sub>2</sub>e fra landbrug, gartneri og skovbrug til 17,4 mio. ton i 2020. Derved vil der være en forskel til denne rapport's opgørelse, som stammer fra, at denne rapport dels anvender emissionsfaktorer fra Aarhus Universitets Danmarks National Inventory Report 2023 (NIR23), hvor reduktionspotentialet er baseret på en værdi for "Global Warming Potential" (GWP<sub>100</sub>) for lattergas på 265 og metan på 28. Endvidere er gartneri samt energiforbrug i skovbrug ikke inkluderet i denne rapport, og ej heller randzoner og statsejede arealer, såsom lufthavne og lignende. Opgjort på denne måde er landbrugets samlede udledning i 2020 beregnet til at udgøre 14,7 mio. ton CO<sub>2</sub>e.

Anvendelsen af nyere, opdaterede emissionsfaktorer end i landbrugsaftalen, indebærer, at såvel udgangspunktet for CO<sub>2</sub>-udledningerne i 2020 som reduktionskravet samt reduktionseffekten af de enkelte virkemidler er opdateret. Landbrugsaftalens reduktionskrav udgør herefter 7,75 mio. ton CO<sub>2</sub>e.

Som produktionsgrundlag for beregningerne anvendes regnskabs- og produktionsdata fra SEGES Innovations økonomidatabase, som vægtes ved benyttelse af vægte fra Danmarks Statistik, så resultaterne er repræsentative for hele landbrugserhvervet. Udgangspunktet er de endelige regnskaber for 2020.

Landbrugets samlede udledning beregnes ved at kombinere regnskabs- og produktionsdata for hvert enkelt landbrug med emissionskoefficienterne fra NIR23, som indeholder konkrete emissionsangivelser for landbrugets produktionsenheder, f.eks. CO<sub>2</sub>e pr. ko, pr. slagtesvin, pr. ha græs og så videre, jævnfør Tabel 3.1 nedenfor.

Ved at kombinere data på bedriftsniveau fra SEGES Innovations økonomidatabase med de nationale emissionskoefficienter opnås en virksomhedsspecifik beregning af udledningen af drivhusgasser, som danner basis for beregningen af den samlede udledning af CO<sub>2</sub>e fra de dele af landbruget, som er relevante i nærværende rapport.

Den udledte mængde CO<sub>2</sub>e er således opgjort ud fra en "bottom up"-opgørelse ved hjælp af vægtede regnskabsdata på bedriftsniveau. Derved kan der tages højde for den forskelligartede påvirkning af de enkelte driftsgrene og øvrige segmenter.

Det knytter sig af naturlige årsager stor usikkerhed til landbrugets samlede udledning i 2030, da udledningen dels vil være afhængig af det fremtidige produktionsgrundlag og dels emissionsfaktorerne på det pågældende tidspunkt. Produktionsgrundlaget i 2030 vil afhænge af den almindelige strukturudvikling i landbruget,

udviklingen i landbrugets økonomi, størrelsen af produktionsarealet, der resterer efter udtagning med videre, hvilke virkemidler der anvendes, samt i hvilken udstrækning virkemidlerne anvendes.

Tabel 3.1: Produktion, areal, emissionsfaktorer og udledning.

2020	Produktion / areal (ha)	Emissionsfaktor (kg CO <sub>2</sub> e/enhed)	CO <sub>2</sub> e-udledning i alt (ton)
Årskøer, stor race	489.200	6.235,86	3.050.581
Årskøer, Jersey	77.800	5.051,04	392.971
Årsopdræt	516.879	1.746,04	902.491
Ammekøer	81.600	2.681,42	218.804
Slagtekvier	24.500	623,59	15.278
Slagtekalve	161.000	623,59	100.397
Stude	5.000	1.247,17	6.236
Fravænnede	33.909.000	11,00	372.999
Smågrise	32.587.000	10,00	325.870
Slagtegrise*	17.073.000	55,00	939.015
Årshøns	4.318.000	0,31	1.337
Slagtekyllinger	122.874.000	0,04	4.945
<b>Dyrehold i alt</b>			<b>6.330.925</b>
<i>LULUCF inklusiv kulstofrige jorde i direkte N<sub>2</sub>O:</i>			
Græsareal	342.210	6.066,2	2.075.914
Øvrige arealer	2.037.217	1.356,7	2.754.220
<i>Andet: Slam, afgrøder, mineralisering kalkning, urea m.m.:</i>			
Græsareal	342.210	461,8	158.033
Øvrige arealer	2.037.217	613,3	1.245.053
<b>Mark i alt</b>			<b>6.233.200</b>
<b>Husdyrgødning i alt</b>			<b>986.380</b>
<b>Handelsgødning i alt</b>			<b>1.180.080</b>
<b>CO<sub>2</sub>e-udledning i alt, ton</b>			<b>14.730.605</b>

\* Der er usikkerhed forbundet med eksporttal af polte. Baseret på DST's indberetning til EUROSTAT angives eksport af racerene avlssdyr til 318.000 i 2020. Samtidig angives eksporten af levende grise/søer i vægklassen 50-135 til 261.000. I nærværende produktionsgrundlag anvendes anslået 300.000 eksporterede polte.



## 4. Klimavirkemidler – Mark

### 4.1 Udtagning af kulstofrige jorde

Drænede kulstofrige jorde har en høj udledning af drivhusgasser. Over en femårig periode fra 2015-2020 udledte disse jorde i gennemsnit 2,8 mio. tons CO<sub>2</sub>e om året, hvilket svarer til 6-7 % af Danmarks samlede drivhusgasemissioner<sup>1</sup>.

Klimaeffekten af virkemidlet opstår, når de kulstofrige jorde tages ud af omdrift, og arealets naturlige høje vandstand genetableres. Herved tilføres jorden mindre ilt, hvilket hæmmer nedbrydningen af jordens organiske materiale, hvorved der samlet set udledes færre drivhusgasser. Derudover vil der forekomme en mindre drivhusgasreduktion fra sparet kvælstofgødning og brændstofforbrug, når arealet ikke længere pløjes og gødskes.

En opgørelse fra Aarhus Universitet viser, at der er ca. 291.000 ha kulstofrige arealer i Danmark, hvoraf ca. 171.000 ha ligger på landbrugsarealer. De ca. 171.000 ha fordeler sig på ca. 98.000 ha, som indeholder 6-12 % organisk kulstof (OC), og 73.500 ha, som indeholder mere end 12 % OC<sup>2</sup>. Tallene er fra 2010 og vil, alt andet lige, være lavere nu, idet det estimeres, at der hvert år forsvinder ca. 1,1 % af det samlede areal af kulstofrige jorde, fordi det organiske indhold i jorden nedbrydes over tid. I takt med at indholdet af organisk kulstof falder til et niveau, der ligger under henholdsvis 6 % og 12 %, vil arealerne falde ud af kategorierne "6-12 % OC" og "mere end 12 % OC". Det betyder, at der i 2030 vil være 137.500 ha kulstofrig landbrugsjord.

Udtagning af lavbundsarealer kan ske gennem tre forskellige ordninger: vådområdeordningen, klima-lavbundsordningen eller lavbundsordningen<sup>3</sup>. Vådområdeordningen har primært fokus på kvælstofeffekten af vådlægning men omfatter også klimaeffekten, mens klima-lavbunds- og lavbundsordningerne begge har klimaeffekten som det primære fokusområde.

Udtagning og vådlægning af kulstofrige jorde kan som oftest ikke gennemføres uden samtidig at udtage noget af det omkringliggende areal. Dette betegnes ofte som et randareal og vil i mange tilfælde også være landbrugsareal. Der vil med andre ord være en andel af ethvert udtagningsprojekt, som ikke er kulstofrig jord. I lavbundsordningen er der krav om, at der ved vådlægning opnås en reduktion i udledningen af klimagasser på minimum 10 tons CO<sub>2</sub>e/ha, mens der i klima-lavbundsordningerne er krav om, at minimum 60 % af projektarealet udgøres af kulstofrig lavbunds jord med minimum 6 % organisk kulstof.

Hvis man kigger på de lavbundsprojekter, der indtil videre har opnået tilsagn, ses stor variation i randarealets andel i projekterne (Figur 4.1). I de 52 projekter, der ses i Figur 4.1, udgør randarealet gennemsnitligt 24,4 % af projektarealet<sup>4</sup>. En rapport fra Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri bekræfter denne tendens, idet de benytter en antagelse om, at randarealet vil udgøre 25 % af det samlede projektareal, ligeledes baseret på de hidtidige projekter<sup>5</sup>. I rapporten angives desuden en forventning om, at randarealets andel af projektarealet vil øges, i takt med at kulstofrige arealer udtages, idet det formodes, at de større, sammenhængende kulstofrige arealer vil udtages først. Dette fremgår dog ikke tydeligt af de hidtidige projekter, idet der her kun er ganske få store projekter, og der kan desuden i disse projekter umiddelbart ikke ses en sammenhæng mellem projektets størrelse og randarealets andel.

<sup>1</sup> Nielsen, O.K. et al. 2023. Denmark's National Inventory Report 2023. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt center for Miljø og Energi.

<sup>2</sup> Greve, M. H., Pedersen, B. F. og Greve, M. B. 2019. Redegørelse for fejl i arealangivelse af organiske jorde. Aarhus Universitet, DCA - Nationalt center for Fødevarer og Jordbrug.

<sup>3</sup> Landbrugsstyrelsens hjemmeside: Tilskud til projekter, der skal udtage lavbunds jorde (lbst.dk)

<sup>4</sup> LandbrugsGIS - download kortdata - Landbrugsstyrelsen (fvn.dk)

<sup>5</sup> Teknisk reduktionspotentiale: Udtagning af lavbunds jorde 2022. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.

En tidligere rapport fra SEGES Innovation har set på størrelsesfordelingen af de kulstofrige landbrugsarealer, hvor det blev konkluderet, at størstedelen af det samlede kulstofrige areal findes på sammenhængende arealer på over 100 ha<sup>6</sup>. Udtagningsprojekter med meget store arealer er dog vanskelige at gennemføre, da der oftest vil være mange aktører involveret. Det er derfor svært at spå om tendensen i projekternes størrelse og randarealets andel over tid.

Der er flere årsager til de markante forskelle i randarealet andel i udtagningsprojekterne. En række praktiske årsager inkluderer hydrologiske årsager, hvor det er nødvendigt at udtage et omkringliggende areal, når det kulstofrige område vådlægges og ikke længere drænes. Der er stor forskel i topografien og i de hydrologiske forhold på områderne og derfor også stor forskel på, hvor meget udenomsareal der skal udtages sammen med det kulstofrige areal for at sikre, at der ikke sker oversvømmelser af de omkringliggende områder, hvor man ikke ønsker høj vandstand. Dette undersøges og klarlægges i forbindelse med forundersøgelserne til udtagningsprojekterne.

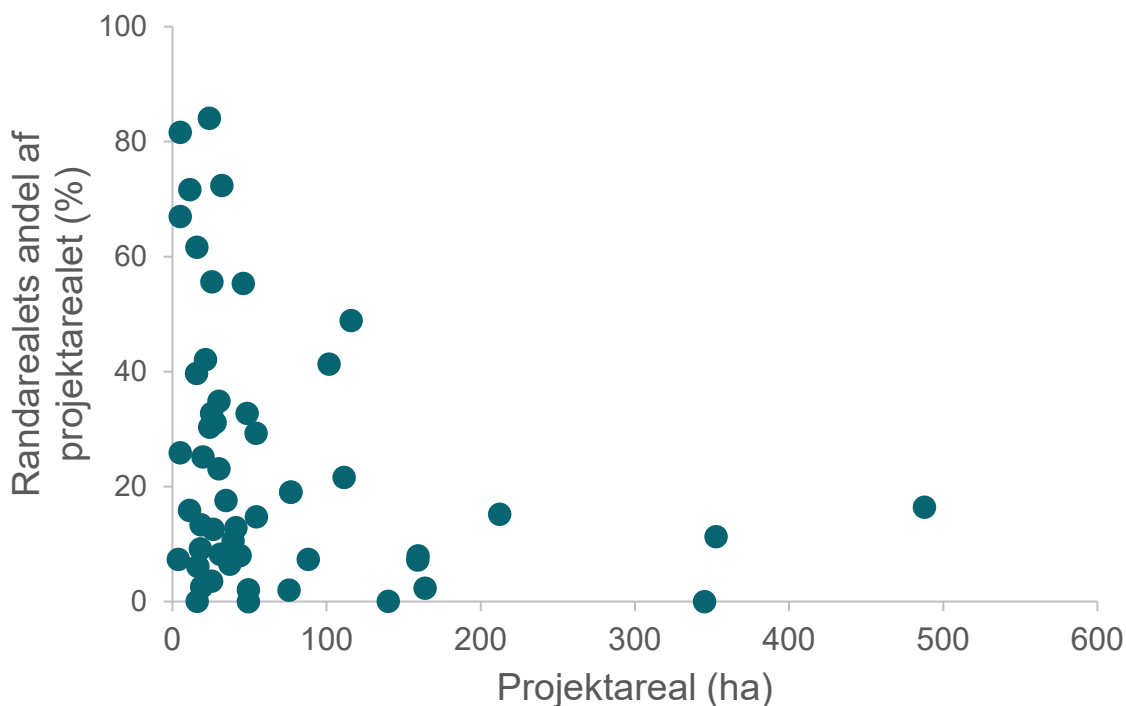
En anden årsag er, at en vis andel af de kulstofrige arealer ligger placeret som mindre pletter, omgivet af mineral jord, hvor man i en udtagningsproces typisk vil udtage et større sammenhængende område fremfor at tage de mindre pletter ud enkeltvist. Dette gælder især klima-lavbundsordningen, hvor projektarealet skal være minimum 10 ha. Der er også set eksempler på kulstofrige områder, hvor der historisk set har været en ø, hvor dette i dag fremstår som et hævet område med mineraljord i midten af det kulstofrige område.

Derudover er der en række afvejninger i forhold til områdets anvendelse efter udtagning. Hvis der på arealet ønskes høj biodiversitet, er den mest effektive forvaltning afgræsning med helårsafgræsning, hvilket kræver både våde og tørre arealer i indhegningen, hvor højere beliggende randarealer sikrer, at der er tørre arealer til de græssende dyr i indhegningen året rundt<sup>7</sup>. Hvis arealet skal bruges til rekreative formål efter udtagning og vådlægning, kan det ligeledes være ønskværdigt at inkludere et randareal, som er tørt og dermed tilgængeligt hele året. Derudover er mineraljord oftest mindre næringsrig end kulstofrig jord, hvilket gør, at der hurtigere kan etableres god natur med høj biodiversitet.

SEGES Innovation erfarer desuden, at der er en stigende tendens til at udtage hele marker fremfor kun at udtage den kulstofrige del af marken. Det skyldes, at det er administrativt tungt at skulle dele en mark samt de driftsmæssige udfordringer, idet det skal være muligt for landmanden at manøvrere med landbrugsmaskiner på den tilbageværende del af marken.

<sup>6</sup> Olsen, D., Højholt, M. et al. (2022). De kulstofrige lavbundsjordene i Danmark - Anvendelse, placering og potentiale for udtag, SEGES Innovation. Link: [Microsoft Word - Kulstofrige lavbundsjordene - anvendelse placering og potentiale \(landbrugsinfo.dk\)](#)

<sup>7</sup> Brunbjerg, A. K., Bladt, J., Fløjgaard, C. og Ejrnæs, R. 2023. Prioritering af biodiversitet ved udtagning og genopretning af kulstofrige lavbundsjordene. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, Rapport nr. 544.



Figur 4.1. Figuren viser projektareal og randarealets andel af det totale projektareal for 52 lavbundsprojekter, der er givet tilsagn til<sup>8</sup>.

### Forudsætninger

Selvom både interessen for og klimaeffekten ved udtagning er stor, peger erfaringer fra lavbundsordningen på nogle væsentlige barrierer for at udtage arealer. Barriererne er blandt andet fosforlækage, for lav klimaeffekt<sup>9</sup> og lodsejermodstand.

Lodsejermodstand opstår oftest, hvis der ikke foreligger en reel kompensation for udtagning og vådlægning. Beregninger baseret på tilpassede afgrødekalkuler viser, at de aktuelle kompensationssatser vil kompensere nogle landmænd fuldt og helt for tab af indtjening og det følgende fald i jordværdi, mens andre landmænd langt fra kompenseres med den nuværende model. En forudsætning for, at man kan nå en udtagning af 100.000 ha, er således, at man formår at justere kompensationsordningerne, så de reelt kompenserer lodsejerne for det værditab, de lider ved udtagningen.

Taskforce- og ekspertgrupper med flere arbejder på at finde løsninger på barriererne. SEGES Innovation skønner, at det er realiserbart at kunne indfri ambitionen om udtagning af i alt 100.000 ha kulstofrige jorde inden 2030, hvis barriererne overvindes eller nedbrydes<sup>10</sup>.

### Reduktionspotentiale - Effekt i forhold til Landbrugsaftalen i forhold til 2030-målet (Territorial) (CO<sub>2</sub>e-effekt)

#### Arealmæssigt potentiale

Vurdering i Landbrugsaftalen:

- I aftalen vurderes, at der kan udtages og vådlægges 50.500 ha landbrugsjord (inkl. randareal) i perioden 2020 til 2030, samt at der kan udtages og vådlægges yderligere 12.000 ha ved at nedbryde barrierer.
- Herudover forventes det, at der udtages 38.000 ha landbrugsjord (inkl. randareal) til ekstensivering. Det bemærkes, at disse ikke bliver vådlagt frem mod 2030.

<sup>8</sup> LandbrugsGIS - download kortdata - Landbrugsstyrelsen (fvm.dk)

<sup>9</sup> Filsø, S.S. 2019. Erfaringer fra Lavbundsordningen - Udtagning af kulstofrige jorde som klimavirkemiddel. SEGES Innovation.

<sup>10</sup> Olsen, D., Højholdt, M., Bondgaard, F., Heltborg, W. og Hørfarter, R. 2022. De kulstofrige lavbundsjordene i Danmark, Anvendelse, placering og potentiale for udtag. SEGES Innovation. [https://www.landbrugsinfo.dk/-/media/landbrugsinfo/public/e/7/a/rapport\\_kulstofrige\\_lavbundsjordere\\_anvendelse\\_placering\\_og\\_potentiale.pdf](https://www.landbrugsinfo.dk/-/media/landbrugsinfo/public/e/7/a/rapport_kulstofrige_lavbundsjordere_anvendelse_placering_og_potentiale.pdf)

SEGES Innovation vurderer:

- Der kan udtages og vådlægges 62.500 ha kulstofrige jorde inden 2030.
- Der kan yderligere udtages og vådlægges 38.000 ha ved nedbrydning af barrierer og ved sikring af tilstrækkelige midler til denne indsats.

Skønnet fra SEGES Innovation er dermed, at der kan vådlægges i spændet fra 62.500-100.500 ha kulstofrige jorde, hvis de nuværende barrierer nedbrydes, hvilket i alt vil løbe op i ca. 84.200-135.000 ha landbrugsareal ved et gennemsnitligt randareal på 24,4 % i udtagningsprojekterne, som tidligere nævnt (Tabel 4.1).

Som nævnt ovenfor forventes der i 2030 at være ca. 137.500 ha kulstofrig landbrugsjord. Med den nuværende kompensationsmodel vil dyrkningsmæssigt værdifulde arealer ikke blive udtaget. Det betyder, at der vil blive udtaget forholdsvis flere arealer med 6-12 % OC end arealer med 12 % OC, da arealerne med indhold af organisk kulstof på 6-12 % oftere er mindre dyrkningsegne end arealer med højt kulstofindhold. Et skøn er derfor, at de udtagne arealer vil fordele sig ligeligt mellem de to kategorier. Det skønnes desuden, at ca. halvdelen af arealerne, som udtages, er græsarealer.

#### *Klimaeffekter af udtagning*

Klimaeffekten ved udtagning af kulstofrige jorde afhænger af anvendelse, næringsstofstatus og særligt vandsandsniveau før og efter udtagning. Kulstofindholdet har også en betydning, men der er endnu ikke foretaget tilstrækkeligt med emissionsmålinger på arealer med 6-12 % OC. Udledningerne af drivhusgasser fra jorde med 6-12 % OC estimeres at være halvt så høje som emissionerne fra jorde med over 12 % OC. Det har dog vist sig, at der med hensyn til indhold af kulstof ikke er stor forskel på jorde med 6-12 % OC og over 12 % OC<sup>11</sup>, og derfor er emissionerne fra jordene med 6-12 % måske underestimeret.

Selvom man ved, at specielt dræningsdybden har stor betydning for emissionerne fra kulstofrige jorde, så regner man i de nationale opgørelser med, at alle de kulstofrige jorde i landbrugsdrift er dybt drænet. Som før nævnt, forventes det, at der med den nuværende kompensationsmodel udtages jorde fra den dyrkningsmæssigt ringe ende, hvoraf mange af arealerne i forvejen er ret vandlidende grundet utilstrækkelig dræning, og de har derfor allerede inden vådlægning et relativt højtliggende vandspejl. Klimaeffekten af en vådlægning af disse jorde vil derfor være mindre, end hvis jorden var dybt drænet. Der foreligger imidlertid ikke et kort eller en analyse af den nuværende vandstand på de kulstofrige jorde eller den potentielle vandstand efter udtagning og vådlægning. Et sådan kort forventes dog færdigt i 2024<sup>12</sup>, hvor det forventes at bidrage til mere præcise estimater for emissionerne fra de kulstofrige jorde og klimaeffekten ved vådlægning.

I den nationale opgørelse indregnes udledninger af drivhusgasser fra vådområder. I nedenstående tabel indregnes derfor beregninger for udledninger fra vådlagte arealer (primært metan) i overensstemmelse med den nationale opgørelse. Klimaeffekten ved udtagning af kulstofrig jord er derfor lig med forskellen i emissionsfaktorerne for arealets før- og eftertilstand. I eftertilstanden er antaget, at vandstanden i det vådlagte areal er ca. 10 cm under jordniveau, som er det optimale i forhold til reduktion af de samlede udledninger, dvs. både metan, lattergas og CO<sub>2</sub><sup>12,13</sup>. Hvis vandstanden efter vådlægning er over jordniveau, altså med et blankt vandspejl, øges udledningen af metan betragteligt.

<sup>11</sup> Olesen, J.E., Greve, M.H., Elsgaard, L., Lærke, P.E. og Dalgaard, T. 2019. CAP2020 analyse om muligheder for beskyttelse af tørvejorde. DCA.

<sup>12</sup> Greve M.H. et al. 2021. Vidensyntese om kulstofrig lavbunds jord. Aarhus Universitet, DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug.

<sup>13</sup> Gyldenkerne, S. og Greve, M. 2020. Bestemmelse af drivhusgasemissionen fra lavbunds jorde. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, nr. 384.

Tabel 4.1: Klimaeffekt ved udtagning af kulstofrige jorde.

	Landbrugsaftalen		SEGES Innovations vurdering
Totalt landbrugsareal: Udtaget ifm. vådlægning, ha <sup>a</sup>	50.500-62.500	100.000	ca. 84.200-135.000
Kulstofrige jorde: Vådlagt og udtaget, ha <sup>b</sup>	ca. 38.200-47.250	75.600	62.500-100.000
Klimaeffekt pr. hektar, ton CO <sub>2</sub> e/ha <sup>c</sup>	24,8		
<b>Klimaeffekt i alt, vådlægning og udtagning, mio. ton CO<sub>2</sub>e/år</b>	<b>0,95-1,17</b>	<b>1,87</b>	<b>1,55-2,48</b>
Totalt landbrugsareal: Ekstensivering med slæt, ha <sup>d</sup>	38.000	-	0-50.700
Kulstofrig jord: Ekstensivering med slæt, ha	28.500	-	0-38.000 <sup>f</sup>
Klimaeffekt pr. hektar, ton CO <sub>2</sub> e/ha <sup>e</sup>	9,7		
<b>Klimaeffekt i alt, ekstensivering, mio. ton CO<sub>2</sub>e/år</b>	<b>0,276</b>	<b>-</b>	<b>0-0,368</b>
<b>Samlet klimaeffekt, vådlægning og ekstensivering, mio. ton CO<sub>2</sub>e/år</b>	<b>1,22-1,45</b>	<b>1,87</b>	<b>1,92-2,48</b>

<sup>a</sup> Total omdrifts- og græsareal, som udtages, dvs. inkl. 24,4 % randareal.

<sup>b</sup> Omdrifts- og græsarealer, der er kulstofrige, som udtages og vådlægges, dvs. ekskl. randareal.

<sup>c</sup> Klimaeffekten er beregnet som forskellen i udledning af CO<sub>2</sub>, lattergas og metan før og efter vådlægning baseret på tal fra DCA's vidensyntese om kulstofrig lavbundsjord. Klimaeffekten er et gennemsnit af effekten for jorde i omdrift og med permanent græs samt med hhv. 6-12 % OC og 12 % OC.

<sup>d</sup> Total omdriftsareal, som omlægges til græs uden gødningstilførsel, dvs. inkl. randareal

<sup>e</sup> Klimaeffekten er beregnet som forskellen mellem udledninger fra hhv. omdriftsareal og perm. græs.

<sup>f</sup> Hvis 100.000 ha vådlægges, er der 0 ha, som ekstensiveres.

Hvis der udtages og vådlægges 62.500 ha landbrugsareal, hvoraf ca. 47.250 ha er kulstofrig jord, og 38.000 ha, hvoraf 28.500 ha er kulstofrig jord, omlægges til ekstensivering, som angivet i Landbrugsaftalen, er den samlede klimaeffekt 1,45 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år. Hvis der derimod udtages 100.000 ha landbrugsjord i forbindelse med vådlægningsprojekter (dvs. ingen ekstensivering) bliver den samlede klimaeffekt 1,87 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år.

Der er også en ubetydelig klimaeffekt ved udtagning fra randarealerne, som vil være en blanding af mineralske jordtyper. Gennemsnitligt for alle mineraljorde sker der en langsom mineralisering af jorden, som leder til udledning af lattergas, og samtidig sker der ændringer i kulstofindholdet i jorden over tid. Samlet set udledes der 5,9 kg CO<sub>2</sub>e/ha/år fra jorde, der ikke er kulstofrige. Dette er beregnet som på baggrund af tal for henholdsvis mineralisering og kulstofopbygning/nedbrydning i perioden 1990-2021<sup>1</sup>.

Beregningen af klimaeffekten ved ekstensivering på 9,7 ton CO<sub>2</sub>e/ha er behæftet med en vis usikkerhed. Klimaeffekten er beregnet som forskellen mellem udledningen af drivhusgasser fra en drænet kulstofrig jord i omdrift og permanente græsarealer, hvoraf sidstnævnte i nogle tilfælde gødskes og i andre tilfælde ikke gør. Der vil derfor til en vis grad være indregnet en effekt af reduceret gødningstilførsel i klimaeffekten. Denne effekt kan potentielt være større i den enkelte mark, hvis der omlægges fra fuld gødskning til ekstensivering uden gødningstilførsel. Den etårige bio-ordning "Ekstensivering med slæt", som er gældende for 2023, omhandler udelukkende ekstensivering af omdriftsarealer, og der er krav om, at minimum 50 % af projektarealet skal være kulstofrigt<sup>14</sup>. Den samlede klimaeffekten vil, ligesom ved vådlægningsprojekter, afhænge af fordelingen mellem mineral jord og kulstofrig jord. I beregningen i Tabel 4.1 indgår en forventning om, at 75 % af projektarealet vil være kulstofrigt (i gennemsnit).

I det mest ambitiøse scenarie forventes en nedbrydning af barrierer i en grad, hvor det bliver realiserbart at udtage og vådlægge 100.000 ha kulstofrige jorde, hvor der i alt udtages 135.000 ha landbrugsjord. Klimaeffekten ved vådlægning af 100.000 ha er beregnet til 2,48 mio. tons CO<sub>2</sub>e/år. Potentialet vurderes at være mellem 1,92 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år og 2,48 mio. tons CO<sub>2</sub>e/år frem mod 2030, hvor førstnævnte er i et scenarie, hvori 62.500 ha kulstofrige jorde vådlægges (totalt landbrugsareal på ca. 84.200 ha) og 38.000 ha ekstensiveres. Sidstnævnte scenarie er det mest ambitiøse, hvor 100.000 ha vådlægges og udtages. Det forudsættes

<sup>14</sup> Ekstensivering med slæt 2023 (lbst.dk)

ved begge scenarier, at der er tilstrækkeligt med midler til at kompensere lodsejerne, og at de eksisterende og velkendte barrierer for udtagning af landbrugsjorde nedbrydes.

Det bemærkes, at hvis udledningerne fra vådlagte jorde (primært metan) ikke indregnes i klimaeffekten ved vådlægning, dvs. hvis jordene efter vådlægning ikke længere indregnes i landbrugssektorens samlede udledninger, øges den samlede effekt ved udtagning af 100.000 ha kulstofrige landbrugsjorde til 3,08 mio. tons CO<sub>2</sub>e/år.

#### **4.2 Klimaoptimeret skovrejsning**

Skovrejsning er velkendt og har fundet sted i mange år. Skovrejsningen motiveres dog primært med andre formål end klimahensyn.

Skovrejsning kan bidrage til reduktion i CO<sub>2</sub>-emissionerne, men effekten vil blandt andet afhænge af, hvor og hvordan skoven etableres og forvaltes. Kulstofbindingen afhænger først og fremmest af produktiviteten, som igen afhænger af jordbundsforhold, nedbør, temperatur, træarter samt etableringen og forvaltningen af skoven<sup>15</sup>.

Der er med Landbrugsaftalen afsat 613 mio. kr. i perioden 2022-2030 til privat skovrejsning. Den forventede klimaeffekt i 2030 er i Landbrugsaftalen opgjort til 0,05 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år, der forventes opnået gennem privat skovrejsning, hertil kommer en effekt af midlertidig reduceret hugst i skove, der forventes at give en effekt i 2030 på 0,07 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år.

Det bemærkes i øvrigt, at skovrejsning har en række positive sideeffekter på klimaet, da skovrejsning udover effekten af at opbygge kulstoflager i skov, også bidrager til en kulstofoplagering i træprodukter, som også bidrager positivt ved, at man kan erstatte fossiltunge materialer og fossile brændsler med træ<sup>15</sup>.

#### **Forudsætninger**

Det forudsættes, at der er tilstrækkelig med interesse blandt lodsejerne til at etablere skov. I forudgående tilskudsrunder har der vist sig stor interesse for skov, der potentielt kan etableres rigtig mange steder i landet.

Der vurderes dog at være en risiko for, at tilskudsmidlerne til privat skovrejsning ikke er tilstrækkeligt store til at kunne finansiere skovrejsning på arealer, der i dag er højproduktive. Det forudsættes derfor, at der skal andre midler i spil, hvis målsætningerne for skovrejsning skal indfries. Her kan blandt andet Klimaskovfondens midler komme i spil. Både økologiske og konventionelle landmænd kan anvende skovrejsning som virkemiddel.

#### **Reduktionspotentiale - effekt i forhold til Landbrugsaftalen i forhold til 2030-målet (Territorial) (CO<sub>2</sub>e-effekt)**

Reduktionspotentialet afhænger meget af, hvor og hvordan skoven etableres og forvaltes.

Kulstofbindingen varierer meget over tid ved etablering af skov (fra 1 til 42 CO<sub>2</sub>e/ha/år). I de første 10 år efter skovrejsning bindes der blot ca. 2 ton CO<sub>2</sub>e/ha/år på de ringere jorder, når der etableres skov med langsomt voksende træarter samt ved naturlig tilgroning. På gode jorder kan der i de 10 første år bindes 11 ton CO<sub>2</sub>e/ha/år ved skovrejsning med hurtigt voksende løvtræer og op til 17 ton CO<sub>2</sub>e/ha/år med hurtigt voksende nåletræer<sup>15</sup>.

Vurderingen er, at ny skovrejsning, som den er gennemført siden 1990, vil have en gennemsnitlig kulstofbinding på 12 ton CO<sub>2</sub>e/ha/år med en spændvidde på 4-21 ton CO<sub>2</sub>e/ha/år afhængig af hovedfaktorerne.

<sup>15</sup> Johannsen, V.K., Nord-Larsen, T., Vesterdal, L. og Bentsen, N.S. 2019. Kulstofbinding ved skovrejsning. Sagsnotat. Københavns Universitet.

### Skovrejsning på organiske jorde

Skovrejsning kan også finde sted på organiske jorde. Men hvis skovrejsning på sådanne arealer foretages på en måde, hvor arealerne tørlægges, vil det være uhensigtsmæssigt – og måske endda direkte negativt for klimaet.

Herudover er der flere andre ønsker til skovene. For eksempel er der i den private skovrejsningsordning fokus på andre mål end klima, hvor det primære formål i den eksisterende private skovrejsningsordning er reduktion af kvælstofudledningen. Det bemærkes, at tilskud til løvskov i 2022 var på 28.000 kr./ha, mens tilskuddet til nåleskov var på 12.000 kr./ha<sup>16</sup>, på trods af, at nåletræer jævnfør ovenstående har en højere kulstofbinding end løvtræer.

Potentialet vurderes til at være op mod 0,12 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år frem mod 2030, som skrevet i Landbrugsaftalen.

### **4.3 Nitrifikationshæmmere i handels- og husdyrgødning**

Nitrifikationshæmmere er en række additiver, der hæmmer det første trin i den mikrobielle proces, hvor ammonium omdannes til nitrat (nitrifikation). Ved at hæmme nitrifikationsprocessen forsinkes dannelsen af nitrat i jorden, som er en forudsætning for, at denitrifikation kan forløbe. Da både nitrifikation og denitrifikation er potentielle kilder til lattergas, kan nitrifikationshæmmere således reducere den samlede lattergasemission fra marken, hvis de benyttes sammen med ammoniumholdig handels- eller husdyrgødning.

#### **Forudsætninger**

I beregningerne indgår en fremskrivning af forbrug af ammoniumholdig handels- og husdyrgødning baseret på uændret arealanvendelse. Gødningsforbruget vil eksempelvis blive påvirket af ændringer i afgrødevalg og ved omlægning til økologi, hvor der ikke benyttes handelsgødning. Endvidere vil fordelingen mellem husdyr- og handelsgødning blive påvirket af antallet af husdyr.

Handelsgødning indeholder i gennemsnit 60 % ammoniumkvælstof. Beregning af reduktionspotentiale er, som nævnt i indledningen, baseret på en værdi for "Global warming potential" (GWP<sub>100</sub>) for lattergas på 265. Økologiske landmænd må ikke anvende syntetisk fremstillede nitrifikationshæmmere. Der er derfor behov for at udvikle naturlige nitrifikationshæmmere til økologisk landbrug. Hvis det lykkes at udvikle nitrifikationshæmmere, som kan benyttes af økologer, vil reduktionspotentialet være højere end angivet nedenfor.

#### **Reduktionspotentiale – effekt i forhold til Landbrugsaftalen i forhold til 2030-målet (Territorial) (CO<sub>2</sub>e-effekt)**

På nuværende tidspunkt er der ikke tilstrækkeligt datagrundlag til at beregne et andet reduktionspotentiale end det, der fremgår af Aarhus Universitets nye virkemiddelkatalog fra 2023, hvor den samlede effekt for både handels- og husdyrgødning er beregnet til 416 kt CO<sub>2</sub>e/år<sup>17</sup>. Der er i beregningen af reduktionspotentialet taget højde for, at 25 % af den totale N-mængde er økologisk, hvor der ikke må benyttes nitrifikationshæmmere på nuværende tidspunkt. Der er i reduktionspotentialet ikke indregnet en fordobling af det økologiske areal, som nævnt i Landbrugsaftalen. Hvis det økologiske fordobles, vil det reducere det samlede reduktionspotentialet ved brug af nitrifikationshæmmere.

I 2023-versionen af Aarhus Universitets virkemiddelkatalog er der differentieret mellem handels- og husdyrgødning, idet reduktionseffekten ved brug af nitrifikationshæmmere i handelsgødning er nedjusteret til 1,0 kg CO<sub>2</sub>e/kg N, mens den i husdyrgødning fastholdes på 1,7. Foreløbige markforsøg hos SEGES Innovation understøtter dette, idet resultaterne viser lavere lattergasemission fra handelsgødning sammenlignet med husdyrgødning.

<sup>16</sup> Landbrugsstyrelsen. 2022. Tilskud til privat skovrejsning. Hjemmeside.

<sup>17</sup> Andersen, M.N., Hansen, E.M., Adamsen, A.P. et al. 2023. Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget, Aarhus Universitet, DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug.

Det forventes, at der i nær fremtid vedtages differentierede emissionsfaktorer for henholdsvis handels- og husdyrgødning med en lavere emissionsfaktor for handelsgødning end for husdyrgødning. Det vil påvirke det totale reduktionspotentiale ved brug af nitrifikationshæmmere, idet effekten af nitrifikationshæmmere på nuværende tidspunkt er sat til 40 % af den potentielle lattergasemission fra ammoniumholdig gødning.

Potentialet vurderes til at være op mod 0,416 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år frem mod 2030, som skrevet i Aarhus Universitets nyeste virkemiddelkatalog.

Da det forventes i indeværende rapport, at ca. 10 % af det dyrkede areal forsvinder frem mod 2030, mens Aarhus Universitets nyeste virkemiddelkatalog benytter Energistyrelsens Klimastatus og -fremskrivningen 2022, hvori der indregnes <sup>18</sup>en mindre arealnøgning på 111.000 ha til ekstensivering og udtagning af kulstofrig lavbundsjord og medfølgende randzoner, nedjusteres potentialet i at anvende nitrifikationshæmmere med ca. 5 % til 0,395-0,441 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år. Om arealreduktionen slår fuldt igennem på reduktionspotentialet for nitrifikationshæmmere afhænger af rammerne for den fremtidige anvendelse af landbrugsarealet, som behandles yderligere i afsnit 9.3 i nærværende rapport.

#### **4.4 Klimaoptimeret gødningsanvendelse**

I markforsøg er der observeret store forskelle på emissionerne fra henholdsvis handels- og husdyrgødning. Forskellene påvirkes også af klima og udbringningsteknik.

Den nuværende strategi er optimeret i forhold til kvælstofeffektivitet og udbytte – ikke i forhold til klimaaftryk. Der arbejdes på at udvikle ny strategier og teknikker, som reducerer lattergasemissionen, uden at det går ud over udbytte og kvalitet.

Samtidig skal der udvikles værktøjer/modeller, som kan indbygges i farm management-systemer og støtte landmanden i at forbedre gødningsstrategi, og som kan registrere og dokumentere den forbedrede adfærd i forhold til klima for at sikre en incitamentsstruktur.

Københavns Universitet, Aarhus Universitet og SEGES Innovation har alle lavet markforsøg med lattergas-målinger med det formål at undersøge og dokumentere emissionerne fra forskellige sædskifter, gødningstyper og så videre Resultaterne skal evalueres og udgives i videnskabelige artikler, inden de kan danne grundlag for differentierede nationale emissionsfaktorer. Herefter forventes det, at emissionsfaktoren for lattergas vil blive differentieret ud på henholdsvis handels- og husdyrgødning, hvor emissionsfaktoren på husdyrgødning vil være ca. dobbelt så høj som den på handelsgødning. Det forventes, at emissionsfaktoren for husdyrgødning vil være på niveau med den nuværende standard-emissionsfaktor på 1 %, og emissionsfaktoren for handelsgødning altså vil være noget lavere.

#### **Reduktionspotentiale – effekt i forhold til Landbrugsaftalen i forhold til 2030-målet (Territorial) (CO<sub>2</sub>e-effekt)**

Da arbejdet først lige er startet, er det svært at vurdere reduktionspotentialet, men ud fra den variation, der ses i lattergasemissionerne, er det meget stort. Da der sandsynligvis skal udvikles ny teknik til udbringning af husdyrgødning, og da det tager tid at få godkendt differentierede emissionsfaktorer, kan en del af potentialet først realiseres efter 2030. Men det skønnes, at der ved klimaoptimering af gødningsstrategier kan opnås en reduktion på op til 0,4-0,6 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år inden 2030, hvis der skrues op for forskning og udvikling nu.

Dertil kommer en nedjustering af den totale udledning af lattergas ved gødningsudbringning, når der vedtages nye differentierede emissionsfaktorer for henholdsvis husdyr- og handelsgødning.

<sup>18</sup> Klimastatus og -fremskrivningen. 2022. Energistyrelsen. [Rapport](#).



Det skal nævnes, at en reduktion af udledning af lattergas ved brug af klimaoptimerede gødningsstrategier vil reducere det samlede potentiale ved brug af nitrifikationshæmmere, som er beskrevet i et særskilt afsnit. Da det forventes, at ca. 10 % af det dyrkede areal forsvinder frem mod 2030, vil potentialet i klimaoptimeret gødningsanvendelse falde med ca. 10 % til 0,4-0,5 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år. Både konventionelle og økologiske landmænd vil kunne anvende optimeret gødningsanvendelse og kunne reducere lattergasudledningen.

#### **4.5 Biochar-Pyrolyse**

Pyrolyseteknologi kan lagre kulstof i jorden, og kan derfor være med til at reducere landbrugets emissioner markant. I Landbrugsaftalen er der en ambition om, at pyrolyse skal reducere emissionerne med 2 mio. ton CO<sub>2</sub>e årligt i 2030. Teknologien er således vigtig for at bringe landbruget i mål med klimamålsætningerne i Landbrugsaftalen.

I pyrolysen, der er en termisk nedbrydningsproces, nedbrydes biomasse ved høje temperaturer (300-900°C) under iltfrie forhold. Hermed dannes gas og bio-olie af ca. halvdelen af det tilsatte kulstof, mens der dannes biochar af den resterende andel. I pyrolysen kan landbrugets overskudsbiomasser benyttes f.eks. halm og restfibre fra biogasanlæg, hvorved der dannes biochar, som indeholder store mængder stabilt kulstof. Ved at bringe biochar tilbage på landbrugsjorden, lagres kulstof i jorden i mange år til gavn for landbrugets klimaaftrek.

Ved produktion af biochar dannes, som nævnt, også pyrolysegas og bio-olie. Anvendelsesmulighederne af de to produkter er mange, for eksempel kan gassen anvendes direkte, bio-olien kan benyttes i maritime motorer, eller den kan raffineres til flere forskellige typer af brændstof. Gassen kan også omdannes til metanol ved at tilføje brint, som kan bruges til fremstilling af flybrændstof. Landbrugets restprodukter kan derved bidrage til at producere klimavenlige brændstoffer, og vil derfor også bidrage til en reduktion i emissionerne fra andre sektorer end landbrugssektoren f.eks. transportsektoren.

#### **Forudsætninger**

Tidligere beregninger af klimagevinsten ved biochar har fokuseret på halm som det primære input-materiale til pyrolyseprocessen. Halm er den råvare, som repræsenterer det suverænt største uudnyttede potentiale, og hvis målsætningerne om øget biogasproduktion skal indfries, skal en stor del af halmen anvendes til biogasproduktion. I 2030 er det forventningen, at omkring 1 mio. ton halm vil blive brugt til biogasproduktion. Ved at separere den afgassede biomasse kan man fange en del af det ikke omsatte fibermateriale, hvorefter fiberfraktionen af den afgassede biomasse kan anvendes til pyrolyse og produktion af biochar. På denne måde udnyttes landbrugets ressourcer optimalt. Dette forudsætter, at pyrolyseanlæg placeres i forbindelse med et biogasanlæg, så ressourcerne udnyttes optimalt, og transporten minimeres.

Pyrolyse forventes også på sigt at kunne konkurrere om den mængde halm, der i øjeblikket bruges til energiformål. Der er derfor også regnet på effekten af, at de omkring 1,4 mio. ton halm – der i dag anvendes til fyring – i stedet antages at blive anvendt til produktion af biochar i 2030. Der er her regnet med et potentiale på 1,4 mio. ton halm, som er den mindste mængde halm, der har været anvendt til fyring gennem de seneste 10 år<sup>19</sup>. Dette for at være sikker på en stabil tilførsel af biomasse til pyrolyseanlæggene.

Klimaeffekten af at bjærge halmen kontra at nedmulde den er ikke medtaget i disse beregninger, da denne klimaeffekt er beregnet under virkemidlerne vedrørende kulstoflagring i jorden.

Der er i disse beregninger antaget et uændret halmudbytte i 2030. Der forventes generelt højere kerneudbytter frem mod 2030, hvilket også forventeligt vil resultere i højere halmudbytter. Der er dog også forhold, der forventes at trække den anden vej. Dette er f.eks. fordobling af det økologiske areal, dyrkning af græs til

<sup>19</sup> Danmarks Statistik. Statistikbanken. HALM1. Online database.

græsprotein, 4 % brakkrevet i EU-landbrugsreformen, udtagning af kulstofrig jord, skovrejsning m.m. Alle tiltag, der fører til et mindre halmudbytte på grund af mindre arealer med korn eller lavere udbytter (økologi). Vi antager derfor uændrede halmudbytter, men det er behæftet med en del usikkerhed, hvor meget halm der reelt er til rådighed i 2030.

Forudsætningen for, at det beregnede reduktionspotentiale kan realiseres, er, at der inden for de kommende 2-3 år kommer rammevilkår, der gør, at produktionen af biochar økonomisk kan betale sig. På nuværende tidspunkt er der ikke et incitament til at benytte biochar som klimavirkemiddel for landmanden, ligeledes er der heller ikke et incitament til at producere det.

Det antages desuden, at opskalering af pyrolyseteknologien til kommerciel skala finder sted, og gør det muligt at producere de mængder biochar, som der er biomasse til at producere.

Brændstofforbruget til transport og udbringning af biochar vil sandsynligvis stige en smule. Husdyrgødning transporteres i dag til biogasanlæggene, hvorefter den afgassede biomasse transporteres tilbage og bringes ud på marken. Ved produktion af biochar udskiftes tilbageførslen af afgasset biomasse til marken med biochar, hvorfor brændstofforbruget anses for at være uændret. En stigning vil dog forventes, da der frem mod 2030 forventes en fordobling i mængden af husdyrgødning, der leveres til biogas. Klimaeffekten af dette er dog ikke medregnet. Både konventionelle og økologiske landmænd kan anvende pyrolyse/biochar som virkemiddel.

Tabel 4.2: Værdier, med angivelse af kilde, benyttet ved beregning af reduktionspotentiale for biochar.

	Værdi
Biomasseinput til biogas (2030), mio. ton <sup>a</sup>	22,6
Biomasseoutput fra biogas – fiberfraktion, mio. ton tørstof <sup>b</sup>	1,33
Organisk kulstof i fiberfraktion, Kg C/ton tørstof <sup>c, d</sup>	392
Andel af fiberfraktion der anvendes til pyrolyse, % <sup>e</sup>	80
Andel af kulstof fra fiberfraktion der omdannes til biochar kulstof, % <sup>c, d</sup>	51
Andel af stabilt kulstof i biochar over et 100-årigt perspektiv, % (For pyrolysetemperatur over 600°C <sup>20</sup> )	89
Tørstofindhold i halm, %	85
Biochar udbytte ved pyrolyse af halm, % <sup>c, d</sup>	29
Kulstofindhold i biochar ved pyrolyse af halm, % <sup>c</sup>	64

Kilder:

<sup>a</sup> SEGES Innovations vurdering (se afsnit om Biogas)

<sup>b</sup> SEGES Innovations vurdering (resttørstof efter fuldstændig separation med dekanter)

<sup>c</sup> Adamsen og Møller 2022<sup>21</sup>

<sup>d</sup> Data fra Stiesdal SkyClean A/S 2022

<sup>e</sup> SEGES Innovations vurdering

### Reduktionspotentiale – effekt i forhold til Landbrugsaftalen i forhold til 2030-målet (Territorial) (CO<sub>2</sub>e-effekt)

I 2030 forventes det, at den optimale anvendelse af biomassen gør, at pyrolyse primært skal ske på fiberfraktionen af den afgassede biomasse. Det forventes derfor, at der produceres ca. 1,33 mio. ton tørstof i fiberfraktion, som kan anvendes til pyrolyse. For at kunne håndtere denne mængde biomasse kræver det opførelse af

<sup>20</sup> Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 2019.

<sup>21</sup> Adamsen, A.P.S. og Møller, H.B. 2022. Production of biochar based on straw, digestate fibers and sewage sludge – In Elsgaard et al 2022, Knowledge synthesis on biochar in Danish agriculture. Aarhus Universitets, DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. Rapport nr. 208.

ca. 36 stk. 20 MW pyrolyseanlæg inden 2030. Stiesdal etablerer det første kommercielle pyrolyseanlæg i Danmark. Anlægget er ti gange større end deres demonstrationsanlæg i Skive, og i forbindelse med opskalering af teknologi opstår der ofte nye udfordringer, hvorfor der vil være usikkerhed om, hvorvidt alle anlæg når at være i drift inden 2030.

Når der antages, at teknologien fungerer i kommerciel skala, at det ikke er en barriere at opføre de nødvendige anlæg, og at 80 % af fiberfraktionen anvendes til pyrolyse, produceres der 0,21 mio. ton biochar kulstof baseret på restfibre fra biogasproduktionen. Når 89 % af kulstoffet anses som stabilt over en 100-årig periode, er klimaeffekten for produktionen af biochar på 0,7 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år i 2030. Hvis vi desuden udnytter de 1,4 mio. ton halm, der i dag anvendes til energiformål, til produktion af biochar, vil der produceres 0,22 mio. ton biochar kulstof fra pyrolyse af halm, hvilket ligeledes bidrager med en klimaeffekt på 0,7 mio. ton CO<sub>2</sub>e. Dette vil medføre, at der skal opføres yderligere pyrolyseanlæg end de 36 anlæg, der skal håndtere restfibrene.

Den samlede klimaeffekt for produktion af biochar fra restfibre fra biogasproduktionen og den mængde halm, der i dag anvendes til energiformål, er på ca. 1,4 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år i 2030. Skal Landbrugsaftalen opfyldes på dette punkt, kræver det altså brug af alternative biomassekilder udover restfibre fra biogasproduktion og halm.

Ved produktion af biochar dannes også pyrolysegas og bio-olie, som kan anvendes direkte til energiformål, eller det kan omdannes til grønne brændstoffer, som kan bruges i f.eks. det maritime erhverv eller i flyindustrien. Produktionen af biochar vil derfor også reducere emissionerne fra transportsektoren, men denne reduktion er ikke kvantificeret.

Hvis kulstoflagringen fra biochar skal tælles med som en reduktion i landbrugets emissioner, kræver det, at biochar bringes ud på landbrugsjorden. Skal dette være økonomisk rentabelt for den enkelte landmand, kræver det, at biochar har nogle jordforbedrende evner, som kan bidrage til et øget udbytte. Biochar kan øge jordens vandholdende evne, pH og evne til at tilbageholde næringsstoffer i rodzonen. Dette skyldes biochars porøse struktur og overfladeegenskaber, hvorfor biochar har været foreslået som jordforbedring<sup>22</sup>. Øgede udbytter vil dog generelt ikke kunne forventes på danske landbrugsjorde, måske med undtagelse af meget sandede jorde<sup>23</sup>. Flere forsøg skal være med til at klarlægge, hvorvidt biochar har en ønskelig effekt på landbrugsjorden under danske forhold.

En anden mulighed end at udbringe biochar på landbrugsjorden kunne derfor være at danne biochar ved pyrolyse og derefter deponere biochar, hvilket også resulterer i en kulstoflagring. Det er dog vigtigt at pointere, at denne lagring i så fald skal kunne tilskrives den enkelte landbrugsbedri forhold til Med de nuværende regler kan den ikke godskrives landbrugssektoren, men derimod affaldssektoren.

Potentialet vurderes til at være op mod 1,4 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år frem mod 2030, forudsat der er tilstrækkeligt med midler til opskalering af teknologien, og der etableres en effektiv incitamentsstruktur.

#### **4.6 Øget kulstoflagring i jord**

"Øget kulstoflagring i jord" anvendes her som fællesbetegnelse for virkemidler og dyrkningstiltag, der påvirker kulstoflagringen i jord. Kulstoflagring som virkemiddel handler om at reducere nettoemissionen af CO<sub>2</sub> fra omsætningen af organisk stof i jorden. Nettoemissionen af CO<sub>2</sub> kan både være negativ og positiv. Hvis der opbygges kulstof i jorden, så er nettoemissionen af CO<sub>2</sub> negativ, hvilket vil sige, at puljen af kulstof i jorden

<sup>22</sup> Lehman, J. and Joseph, S. 2015. Biochar for environmental management – science, technology and implementation, 2<sup>nd</sup> edition. Routledge, New York, NY.

<sup>23</sup> Sørensen and Abalos. 2022. Nutrient composition of biochar and effects on nutrient availability and yields. In Elsgaard et al. 2022, Knowledge synthesis on biochar in Danish agriculture. Aarhus Universitets, DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. Rapport nr. 208.

øges (negativ emission). Kulstoflagring i form af biochar fra pyrolyse er beskrevet i et særskilt afsnit ovenfor og indgår derfor ikke her.

Opgørelse af kulstoflagring er en balanceberegning (C-input til jorden minus C-output fra jorden). En ændret dyrkningspraksis vil påvirke forholdet mellem input og output. Effekten på kulstoflagringen af en ændret dyrkningspraksis er størst i det første år efter ændringen. Ved en fortsat ændret dyrkningspraksis går udviklingen i jordpuljerne mod en ny ligevægt, hvorefter nettoeffekten på CO<sub>2</sub>-emissionen er nul. Der er således aldrig to år med samme effekt af et virkemiddel på kulstoflagringen. Som tommelfingerregel er 90 % af puljeændringen indtrådt efter ca. 15 år med en ny dyrkningspraksis. Hvis en bedrift f.eks. øger arealet med efterafgrøder i 2021, så reduceres effekten år for år derefter, og efter 2035 er der stort set ingen yderligere kulstofopbygning i jorden og derfor ingen yderligere klimaeffekt.

I den nationale opgørelse af drivhusgasemissioner varierer emissionen af CO<sub>2</sub> fra mineraljord i de senest 10 år mellem ca. -800 kt CO<sub>2</sub>/år og ca. +200 kt CO<sub>2</sub>/år bortset fra 2018, hvor C-inputtet til jorden var usædvanligt lavt på grund af den ekstreme tørke. I 2020 var emissionen i den nationale opgørelse -95 kt CO<sub>2</sub>. Tilbage i 1990 bidrog emissionen af CO<sub>2</sub> fra mineraljord med 1.020 kt CO<sub>2</sub>, altså en positiv emission.

### **Forudsætninger**

I det følgende er omtalt de vigtigste tiltag (virkemidler), der kan påvirke C-input og C-output fra jordpuljen frem mod 2030 i forhold til 2020, undtagen produktion af biochar ved pyrolyse, som er beskrevet i et tidligere afsnit.

#### *Input fra nedmuldning af halm*

I de senere år er der i gennemsnit nedmuldet godt 2 mio. ton kornhalm i Danmark<sup>19</sup>. Det vurderes, at mængden af halm, der nedmuldes, vil blive reduceret frem mod 2030 som følge af en øget anvendelse af halm til produktion af biogas og eventuelt også som følge af anvendelse af halm til pyrolyse. Ved anvendelse til biogas uden efterfølgende pyrolyse af restfibrene i biogasgyllen bliver en betydelig del af kulstoffet i halmen returneret til jorden med biogasgyllen. Det forventes imidlertid, at op mod 80 % af restfibrene i biogasgyllen bliver pyrolyseret i 2030.

Hvis omfanget af halmnedmuldning bliver reduceret med 1 mio. ton som følge af, at mere halm anvendes til biogasproduktion med efterfølgende pyrolyse af restfibrene, så reduceres C-inputtet til jorden (eksklusiv evt. biochar) med i gennemsnit ca. 150 kg C/ha på landsplan. Til sammenligning er det samlede årlige input af kulstof til jorden i gennemsnit mellem 4.000-4.500 kg C/ha.

#### *Input fra efterafgrøder*

Efter den fulde indfasning af den målrettede kvælstofregulering i 2019 er der årligt blevet dyrket ca. 500.000 ha med efterafgrøder. Det forventes, at kvælstofindsatsen samlet set øges frem mod 2030. Det bliver imidlertid en mindre andel af det dyrkede areal (mindre kystvandopland), der skal levere den øgede kvælstofindsats. Det giver nogen usikkerhed om udviklingen i arealet med efterafgrøder, fordi de områder af landet – hvor der allerede er en stor målrettet kvælstofindsats – allerede anvender hovedparten af det arealmæssige potentiale til efterafgrøder uden sædskifteændringer. Det vurderes, at arealet med efterafgrøder vil stige til ca. 600.000 ha i 2030, det vil sige ekstra ca. 100.000 ha i forhold til nærmest foregående år. Dette er i form af frivillige efterafgrøder placeret i områder uden krav til målrettede efterafgrøder, eller efterafgrøder til biomasseproduktion.

SEGES Innovation vurderer, at efterafgrøder netto øger C-tilførslen med ca. 1.200 kg C/ha/år med efterafgrøde (i forhold til spildkorn som er reference). Det svarer til ca. 50 kg C/ha i gennemsnit på hele det dyrkede areal ved ekstra 100.000 ha efterafgrøder. Det skal bemærkes, at der i den nationale opgørelse<sup>17</sup> regnes med, at efterafgrøder i gennemsnit øger C-inputtet med 2.200 kg C/ha/år i forhold til sort jord som reference.

### *Input fra græsdyrkning*

Det vurderes, at der ikke vil ske nogen øget dyrkning af græs til kvægfoder på konventionelle kvægbrug frem mod 2030, fordi øget græsdyrkning generelt ikke reducerer kvægbrugenes klimaaftryk, hverken det territoriale klimaaftryk eller produktaftrykket. Der vil evt. blive etableret en produktion af græs til græsprotein. Det behandles i et særskilt afsnit. Det forventes desuden, at der vil komme en øget dyrkning af kløvergræs som følge af omlægning til økologi. Det er også behandlet særskilt.

### *Input fra husdyrgødning og anden organisk gødning*

Der tilføres årligt ca. 700 kg C/ha til jorden i gennemsnit med husdyrgødning og anden organisk gødning. Det reduceres naturligvis, hvis husdyrproduktionen reduceres. Her er antaget en uændret husdyrproduktion. Det vurderes, at andelen af husdyrgødning, der bliver afgasset, øges fra ca. 30 % til ca. 60 % i 2030. Det vil medføre en reduktion i tilførslen af C til jorden. Endvidere har vi estimeret, at op mod 80 % af restfibrene i biogasgylle bliver pyrolyseret i 2030. Effekten af pyrolyse i dette omfang vil reducere tilførslen af ikke-pyrolyseret kulstof til jorden med ca. 0,4 mio. ton C, hvilket svarer til ca. 160 kg C/ha/år.

### *Input fra øvrige afgrøderester*

Langt det største input af C til jorden kommer fra øvrige afgrøderester, det vil sige fra stub, henfaldne rødder og andre plantedele samt rodexudater. Mængden af C varierer meget afhængig af afgrøde og udbyttens niveau. C-tilførslen vil typisk ligge i intervallet 2.000-5.000 kg C/ha/år. Det vurderes, at der i gennemsnit tilføres 2.500-3.000 kg C/ha/år med øvrige planterester. Øget omlægning til økologi og en eventuel etablering af en produktion af græsprotein kan resultere i mindre forskydninger i afgrødesammensætningen frem mod 2030. Derudover forventes ikke væsentlige ændringer i afgrødesammensætningen, der kan påvirke inputtet af C til jorden. Det forventes, at der vil blive høstet stigende udbytter, hvilket vil øge mængden af C i planterester. Ved en udbyttestigning på 1 % i gennemsnit om året og en tilsvarende stigning i mængden af afgrøderester, øges C-inputtet med i størrelsesordenen 175 kg C/ha/år. Effekten af yderligere udbyttestigninger på mængden af afgrøderester er dog ikke godt belyst.

### *Tab af C fra dyrkningsjorden*

Størrelsen af tabet af C fra jorden er først og fremmest bestemt af jordpuljernes størrelse. Det vurderes, at der som følge af den mikrobielle omsætning af organisk stof i jorden tabes i gennemsnit ca. 4.200 kg C/ha/år. Øgede temperaturer vil øge tabet af kulstof, men betydningen heraf vil være beskeden frem mod 2030. Der er på nuværende tidspunkt ikke et tilstrækkeligt grundlag for at indregne nogen effekt af metoder til jordbearbejdning og afgrødeetablering på tabet af kulstof fra jorden.

### *Samlet effekt på input af kulstof til jorden*

Mindre nedmuldning af halm, øget anvendelse af husdyrgødning til biogas og pyrolyse af restfibre i biogasgylle vil reducere inputtet af ikke-pyrolyseret kulstof til jorden. Flere efterafgrøder og højere udbytter vil øge tilførslen af C til jorden. Det vurderes, at den samlede effekt af de forventede dyrkningsmæssige ændringer vil være et svagt faldende input af ikke-pyrolyseret kulstof til jorden.

## **Reduktionspotentiale – effekt i forhold til Landbrugsaftalen i forhold til 2030-målet (Territorial) (CO<sub>2</sub>-effekt)**

Det vurderes, at niveauet i 2030 vil være en mindre negativ emission, formentlig i intervallet fra 0 til -300 kt CO<sub>2</sub>, svarende til niveauet i 2020 som var -95 kt CO<sub>2</sub>. Kulstoflagringspotentialet ligger primært i produktion af biochar, som er beskrevet i afsnit 4.5.

Estimaterne på udviklingen i input af kulstof er usikre. Det er dog sikkert, at stigende udbytter siden 1990 har øget inputtet af kulstof til jorden betydeligt. Det er endvidere sikkert, at kulstoflagring altid går mod en ny balance, hvor der netto ikke er nogen klimateffekt. Kulstoflagring (ikke pyrolyseret kulstof) er derfor ikke nogen

langsigtet løsning til at opnå klimaneutralitet. Potentialet i øget kulstoflagring vurderes derfor til at være 0 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år frem mod 2030, da reduktionspotentialet ligger i pyrolyse af halm til biochar og i udnyttelse af halm i biogasanlæg fremfor nedmuldning.

#### **4.7 Dyrkning af græs til græsprotein**

Der er gennem flere år arbejdet på at udvikle teknologier til bioraffinering af græs med henblik på produktion af et proteinrigt foder, der kan erstatte importerede, proteinrige fodermidler. Der er etableret to mindre kommercielle anlæg, som er i drift. Der arbejdes fortsat med at udvikle og optimere teknologien, herunder at øge udvindingen af protein. Protein-ekstraheringsgraden skal øges fra det nuværende niveau på 10-20 % af grønmassens proteinindhold for at gøre produktionen rentabel.

Det vurderes, at etablering af en større produktion af græsprotein både er afhængig af teknologiske gennembrud og af offentlig støtte til anlægsinvesteringerne. Økonomien er endvidere påvirket af de synergieffekter, der kan være ved at anvende dele af biomassen efter raffineringen til biogasproduktion.

#### **Forudsætninger**

Nedenstående beregninger er baseret på en emissionsfaktor for lattergas fra N-gødning og fra N i afgrøderest på 1,0 %.

Med hensyn til klimaeffekter ved dyrkning af græs til græsprotein i stedet for dyrkning af korn tages udgangspunkt i emissionsopgørelsen<sup>24</sup>, hvor der er regnet med en netto-klimagevinst på 1.580 kg CO<sub>2</sub>e/ha/år som gennemsnit over en periode på ti år efter den ændrede dyrkning. Denne effekt er et resultat af en øget emission af lattergas svarende til 620 kg CO<sub>2</sub>e/ha/år og en øget kulstoflagring svarende til 2.200 kg CO<sub>2</sub>e/ha/år (negativ emission). En så stor kulstoflagringseffekt forudsætter, at græsdyrkingen erstatter afgrøder med et langt lavere kulstofinput til jorden, f.eks. vårsæd uden nedmuldning af halm og uden efterafgrøde. Den angivne effekt af at dyrke græs i stedet for korn er på niveau med andre undersøgelser, som f.eks. et indlæg ved Plantekongressen 2023<sup>25</sup>, der også angiver, at ca. 90 % af puljeændringen typisk er indtrådt efter ca. 20 år.

Ovennævnte kulstoflagringseffekt er som tidligere nævnt kun gældende i de første ca. 15 år. Effekten på emissionen af lattergas fortsætter uændret. Derfor kan netto-klimagevinsten forsvinde på sigt, fordi den øgede emission af lattergas på et tidspunkt overstiger resteffekten fra kulstoflagringen. Øget dyrkning af græs til græsprotein fører til en reduceret produktion af halm. Der vil således være mindre halm til rådighed til energiformål. Denne effekt er ikke medtaget her.

#### **Reduktionspotentiale – effekt i forhold til Landbrugsaftalen i forhold til 2030-målet (Territorial) (CO<sub>2</sub>e-effekt)**

I Tabel 4.3 herunder er angivet den samlede klimaeffekt ved dyrkning af henholdsvis 50.000 og 100.000 ha med græs i stedet for korn som gennemsnit for de første ti år. Efterfølgende er klimagevinsten mindre, og på et tidspunkt bliver effekten negativ. Det er ikke muligt at vurdere udbredelsen af teknologien til produktion af græsprotein i 2030.

<sup>24</sup> Mikkelsen, M.H. et al. 2022. Sammenligning af klimaeffekter – Emissionsopgørelse, emissionsfremskrivning og klima-effekttabel. Aarhus Universitets, DCE - Nationalt center for Miljø og Energi. Rapport nr. 501.

<sup>25</sup> Eriksen, J. og Jensen, J.L. 2023. Kulstoflagring i kvægsædskiftet. Mundtligt oplæg ved Plantekongres 2023.

Tabel 4.3: Netto-klimaeffekt ved dyrkning af græs i stedet for korn i kg CO<sub>2</sub>e/ha, samt samlet klimaeffekt ved henholdsvis 50.000 og 100.000 ha med græs i stedet for korn i kt CO<sub>2</sub>e/år. Klimaeffekt af fortrængt produktion af halm til energiformål er ikke indregnet.

Antal år efter ændret dyrkning	Netto-klimaeffekt	50.000 ha græs	100.000 ha græs
Gns. 1-10 år	1.580 kg CO <sub>2</sub> e/ha	79 kt CO <sub>2</sub> e/år	158 kt CO <sub>2</sub> e/år

Estimatet for omfanget af dyrkning af græs til græsprotein i 2030 vurderes at være særdeles usikkert. Dog er der et potentiale på op til 0,158 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år frem mod 2030.

Hvis grøn bioraffinering skal udvikles til et egentligt klimavirkemiddel kræves:

- dokumentation for potentialet for kulstoflagring ved at erstatte korn med græs
- en kraftig reduktion i lattergasemissionerne ved anvendelse af de store mængder kvælstofgødning i græsmarken
- at der udvikles en strategi til omlægning af græsmarkerne, som ikke medfører risiko for lattergasemissioner
- at det kan påvises, at fiberfraktionen har en høj foderværdi, når den bruges til malkekøer.

I første omgang er græsprotein udviklet til økologiske brug, da de kan betale en højere pris for proteinprisen, men forudsætningen for en større udbredelse er, at konventionelle landbrug i fremtiden også kan anvende græsprotein som foder.

## 4.8 Økologi

### Indledning

I Landbrugsaftalen fra oktober 2021 fremgår det, at man vil understøtte en fordobling af det økologiske areal, hvilket samtidig blev vurderet til at bidrage til en årlig reduktion i udledningen med 500 kt CO<sub>2</sub>e/år i fødevarerhvervet i 2030. Fordoblingsmålet er baseret på det økologiske areal i 2018 på 279.299 ha, hvormed målet er, at den økologiske produktion i 2030 udgør et areal på min. 522.580 ha. Det økologisk dyrkede areal var i 2021/2022 på 310.000 ha, hvilket er en fordobling i forhold til 2007.

Økologisk produktion er en samlet EU-reguleret landbrugsproduktionsform, der generelt resulterer i lavere drivhusgasudledninger end den konventionelle produktion pr. ha baseret på review af national og international litteratur<sup>26</sup>. Den lavere klimaudledning pr. ha er relateret til forskelle i gødningsanvendelse, sædskifte, andel af græs og dyretæthed i forhold til konventionel produktion. Omkring 1/3 af klimaeffekten for økologi tilskrives øget kulstoflagring i jorden.

### Forudsætninger

Aarhus Universitet og DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug har i en analyse opgjort de gennemsnitlige klimaaftryk pr. ha inkl. klimaaftrykket fra husdyrproduktionen for konventionelle og økologiske bedrifter opdelt på kvægbrug, svinebrug, planteavlbrug og øvrige<sup>27</sup>. Forskellen i klimaaftrykket pr. ha inkl. klimaaftrykket fra husdyrproduktionen er blevet anvendt til at estimere klimaeffekten ved omlægning fra konventionel til økologisk produktion.

<sup>26</sup> Mogensen I., Knudsen, M.T. et al. 2022. Videnssynthese om livscyklusvurderinger og klimaeffektivitet i landbrugssektoren. DCA-rapport nr. 200.

<sup>27</sup> Kristensen, T. et al. 2020. Estimering af national klimaeffekt for omlægning til økologisk jordbrug, Aarhus Universitet, DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug.

## Scenarier

Effektberegningen af økologi som klimavirkemiddel vil afhænge af antagelser om den fremtidige fordeling af produktionssystemer og metode, som diskuteret og fremlagt af Aarhus Universitet i myndighedsopgave til Landbrugsstyrelsen<sup>27</sup>. Her fremgår det, at der er en betydelig effekt af sammensætningen af driftsgrene på den vægtede gennemsnitlige udledning, såvel inden for produktionsform som på den relative forskel mellem de to produktionsformer. Emissionen fra malkekvæg er væsentlig højere end fra planteavl, hvorfor andelen af malkekvæg har markant betydning på det generelle estimat. Den samlede klimaeffekt på nationalt niveau er derfor afhængig af, hvordan omlægningen påvirker den samlede husdyrproduktion i Danmark. Historisk set har forskellige bedriftstyper lagt om til økologi i forskellige perioder. I mange år var det mest kvægbrug, der lagde om til økologi. I de senere år har planteavlsbrug udgjort en større andel.

I en markedsdrevet virkelighed vil der ske udviklinger i forskellige retninger på alle produktionsgrene. Mælkeægge- og griseproduktionen, der følger konjunkturerne, er helt aktuelt presset på afsætning. Den animalske produktion vil finde nye niveauer i takt med, at det økologiske areal vokser, og den nuværende økonomiske afmatning bliver vendt. Derudover forventes et stigende krav til økologiske planteprodukter og proteinafgrøder, som vil indgå i den forventede vækst af økologisk areal.

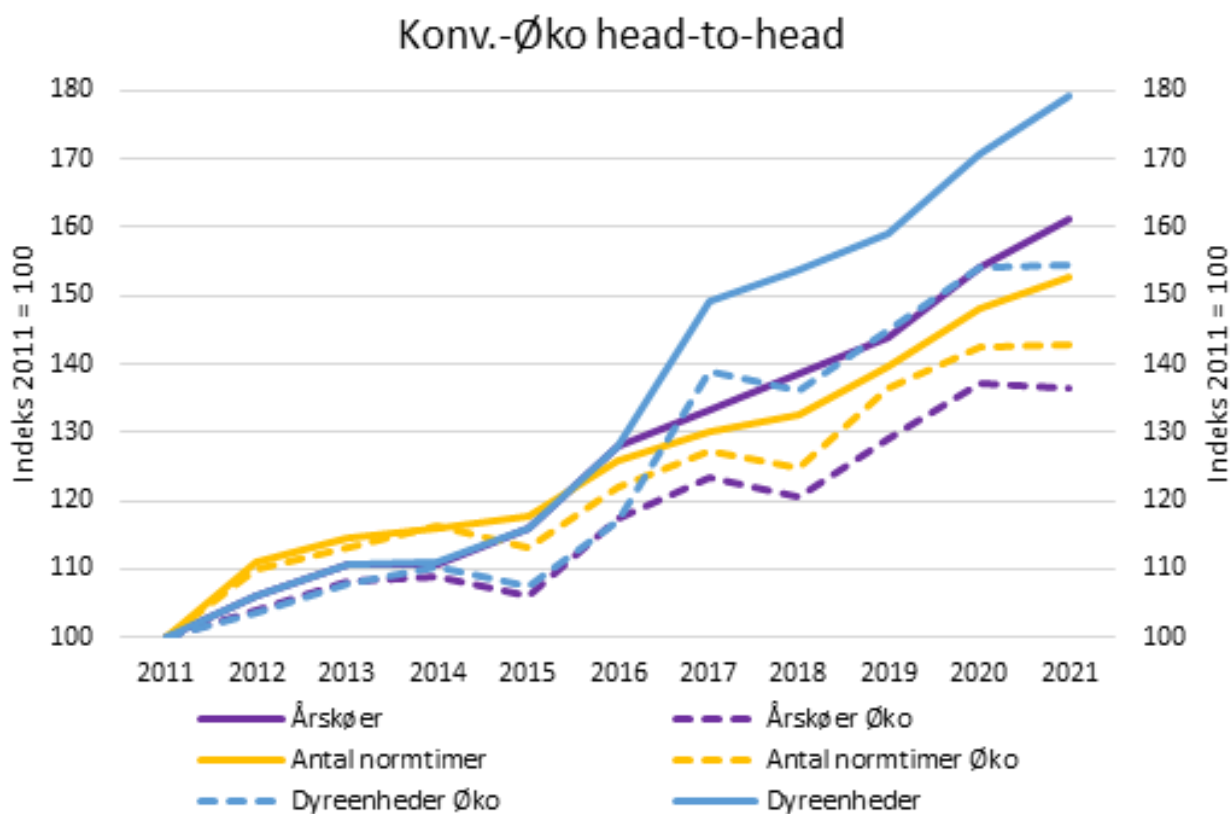
I nedenstående afsnit analyseres to scenarier ved omlægning, hvor det ene medfører uændret animalsk produktion og omlægning fra konventionel kvægproduktion til økologisk kvægproduktion.

Det andet scenarie antager, at det samlede antal husdyr vil reduceres ved en fordobling af det økologiske areal, da hver enkelt husdyrproduktion udgør et større areal, og som en konsekvens af behovet for større areal og færre dyr pr. hektar medfører en reduktion af den totale animalske produktion, hvis det antages, at det samlede landbrugsareal ikke øges i 2030.

### **Scenarie 1: Fordobling af det økologiske areal kombineret med et uændret omfang af den animalske produktion**

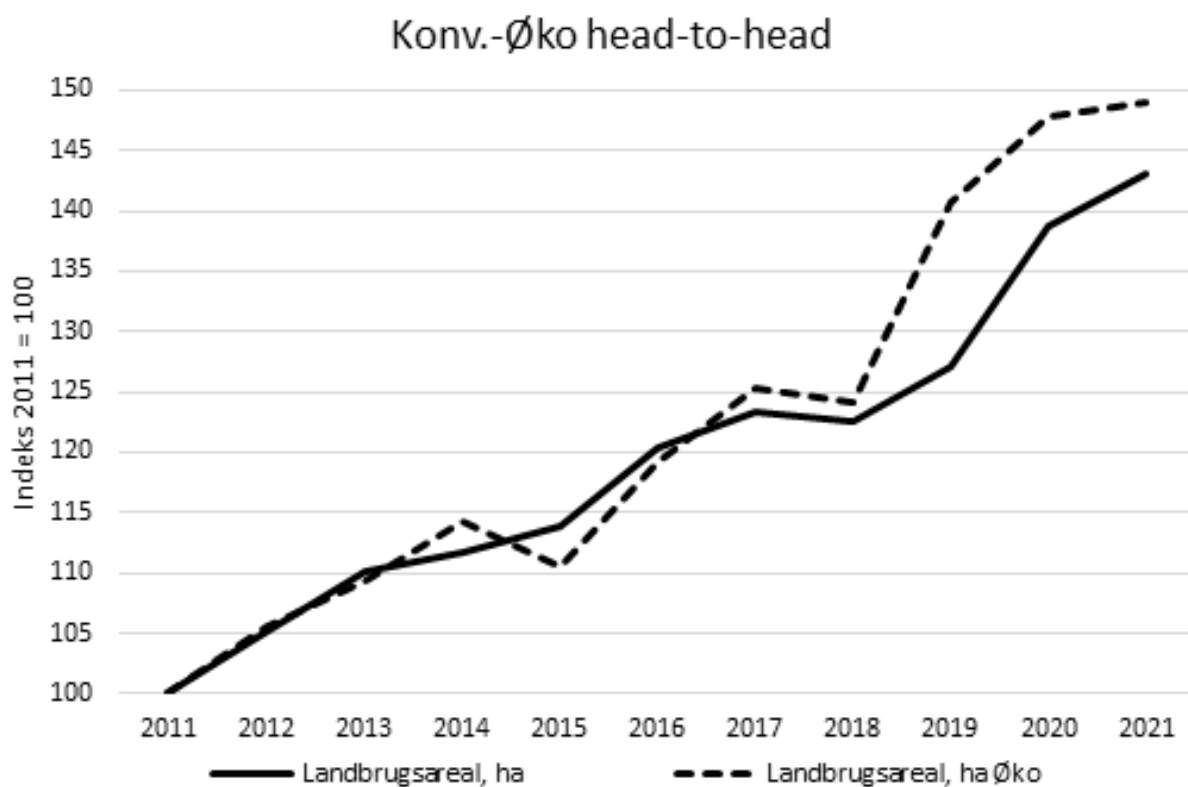
Udviklingen af de konventionelle og økologiske kvægbedrifter fra 2011 til i dag er præsenteret i Figur 4.2 og 4.3. Figur 4.2 viser, at den enkelte kvægbedrift ikke reducerer antal årsdyr ved omlægning til økologi. Kvægproduktion er valgt, da andre økologiske driftsformer med husdyrproduktion ikke fylder så meget.





Figur 4.2 Udviklingen i økologiske kvægbrugs størrelse i forhold til den generelle udvikling i kvægbrugs størrelse fra 2011 frem til 2021 med indeks 100 i 2011.

Figur 4.2 viser, at strukturudviklingen sker mindre hurtigt i den økologiske sektor end i den konventionelle.



Figur 4.3 Udviklingen i størrelsen af landbrugsareal

Samtidig viser Figur 4.3, at økologiske brug vokser mere arealmæssigt end konventionelle bedrifter fra perioden 2018 og frem. Det vil sige, at de økologiske brug har fået mere jord end før. Det skyldes blandt andet, at behovet for en højere grad af sikkerhed for foderforsyningen blev anskueliggjort under tørken i 2018.

Når Figur 4.2 og Figur 4.3 sammenholdes, er der ikke noget, der indikerer, at den enkelte økologiske landmand får færre dyr men i stedet udvider bedriften med et større areal. Det viser, at økologiske landmænd indtil nu har udvidet med mere jord fremfor at afvikle husdyrproduktionen ved omlægning til økologi. Hermed opnås et lavere dyretryk og en anden balance mellem antal dyr og samlet areal på den enkelte bedri forhold til

Ud fra ovenstående antages, at en øget omlægning til økologi ikke i sig selv påvirker den samlede husdyrproduktion i Danmark. Dermed vil den samlede anvendelse af husdyrgødning også være upåvirket. Den væsentligste klimaeffekt vil da være en reduceret anvendelse af kvælstof i handelsgødning. Der vil også ske ændringer i afgrødevalg, udbytter og dyrkningsmetoder. Det vurderes, at den mest betydende effekt fra den ændrede arealanvendelse vil være et øget areal med kløvergræs.

Hovedparten af reduktionen i det beregnede klimaaftryk pr. ha inkl. klimaaftrykket fra husdyrproduktionen fremkommer som et resultat af, at det dyrkede areal pr. årsdyr eller pr. produceret dyr er større i den økologiske produktion end i den konventionelle. Økologiske bedrifter fordeler klimaaftrykket fra husdyrproduktionen på flere hektar, og det har derfor ingen klimaeffekt i forhold til den samlede nationale opgørelse.

Ud fra antagelsen at omlægning til økologi ikke i sig selv fører til væsentlige ændringer i den samlede husdyrproduktion i Danmark vurderes klimaeffekten ved omlægning af 300.000 ha til økologi her alene ud fra den reducerede anvendelse af kvælstof i handelsgødning og en øget dyrkning af kløvergræs, da øvrige effekter af omlægning til økologi vurderes at være af mindre betydning. Omlægning fra dyrkning af korn til dyrkning af kløvergræs er i gennemsnit vurderet til at øge kulstoflagringen i jorden med 2.200 kg CO<sub>2</sub>e/ha/år med kløvergræs de første ti år efter omlægningen (se afsnit 4.6). På konventionelle kvægbrug udgør kløvergræs i gennemsnit ca. 30 % af arealet. På økologiske kvægbrug udgør kløvergræs i gennemsnit ca. 50 % af det dyrkede areal<sup>27</sup>. Her er det estimeret, at arealet med kløvergræs øges med ca. 30.000 ha ved en fordobling af det økologiske areal.

Det er forudsat, at det i den konventionelle produktion før omlægning til økologi er muligt at anvende 175 kg N/ha (udnyttet N) i gennemsnit. Der er to forskellige lofter for anvendelse af kvælstof på økologiske bedrifter, afhængigt af om den enkelte bedrift følger de almindelige økologiregler (max. 107 kg udnyttet N/ha) eller får det særlige arealtilskud for maksimalt at anvende 65 kg udnyttet N/ha.

Blandt eksisterende økologiske bedrifter modtager ca. en tredjedel det særlige arealtilskud. Her er det forudsat, at også en tredjedel af nye økologiske bedrifter vil benytte det særlige arealtilskud. Nye økologiske bedrifter kan da i gennemsnit anvende 93 kg udnyttet N/ha. Der vil således være tale om en reduktion i anvendelsen af N i handelsgødning på ca. 82 kg N/ha, når der omlægges til økologi. Med en lattergas-emissionsfaktor på 1,0 % giver det en reduktion i udledningen af lattergas svarende til 341 kg CO<sub>2</sub>e/ha/år. Hvis emissionsfaktoren for lattergas fra handelsgødning f.eks. nedsættes til 0,4 %, giver det kun en reduktion i udledning af lattergas svarende til 137 kg CO<sub>2</sub>e/ha/år.

### **Scenarie 2: Fordobling af det økologiske areal kombineret med en nedgang af den animalske produktion**

En anden antagelse er at omlægning fra konventionel til økologisk drift betyder, at der i fremtiden vil være det dobbelte areal med økologisk drift, stadig med samme fordeling imellem driftsgrene som i dag – og at den konventionelle drift afgiver dette areal til økologi, uden at sammensætningen imellem driftsgrene ændres i den tilbageblevne konventionelle andel. Følges dette scenarie, vil der være et fald i den animalske produktion ved

fordoblingen af det økologiske areal. AU har beregnet det gennemsnitlige konventionelle klimaaftryk og tilsvarende for det gennemsnitlige økologiske ditto. Herved fremkommer forskellen på konventionel og økologisk drift på 2000 kg CO<sub>2</sub>e/ha<sup>27</sup>. Dette resulterer som vist i Tabel 4.4 i en samlet klimaeffekt på nationalt niveau på 600 kt CO<sub>2</sub>e, når målet om en fordobling af det økologiske areal opnås.

En sådan udvikling over en kort årrække vil ikke ske af sig selv men har behov for en politisk styret proces for at kunne realiseres. En sådan styret omlægning bør samtidig sikre den fremtidige driftsgrenssammensætning, som kan udløse den høje, estimerede klimaeffekt.

I tallene er indregnet ændringer i jordpuljen. Baseret på dette og med en forventet fordobling i det økologiske areal fra ca. 300.000 ha i 2007 til ca. 600.000 ha i 2030 har Miljø- og Fødevarerministeriet estimeret en samlet reduktion på 0,5 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år. Der er her ikke taget højde for eventuelle forskydninger mellem driftsgrene i den økologiske produktion i forhold til i dag, og det antages ikke, at der produceres samme mængde fødevarer, som hvis arealerne ikke blev omlagt.

### Reduktionspotentiale – effekt i forhold til Landbrugsaftalen i forhold til 2030-målet (Territorial) (CO<sub>2</sub>e-effekt)

Effekten af fordobling af det økologiske areal vurderes jævnfør ovenstående scenarier at ligge mellem 0,168 og 0,600 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år. Dette interval omslutter de 0,5 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år, som er vurderingen i Landbrugsaftalen.

Tabel 4.4: Klimaeffekt ved omlægning til økologi.

	Klimaeffekter*	Klimaeffekt pr. ha omlagt til økologi, kg CO <sub>2</sub> e/ha	Omlægning af 100.000 ha, kt CO <sub>2</sub> e/år	Omlægning af 200.000 ha, kt CO <sub>2</sub> e/år	Omlægning af 300.000 ha, kt CO <sub>2</sub> e/år
Scenarie 1	Mindre handelsgødning	341	34,1	68,2	102,3
Scenarie 1	Øget areal med kløvergræs	220	22,0	44,0	66,0
Scenarie 1	Samlet klimaeffekt	561	56,1	112,2	168,3
Scenarie 2	Gennemsnits klimaeffekt	2000	200	400	600

\* Beregningerne er baseret på: Scenarie 1: 1) en reduceret anvendelse af handelsgødning på 83 kg N/ha, der omlægges; 2) 0,1 ha ekstra kløvergræs pr. ha, der omlægges; 3) nuværende lattergas-emissionsfaktor på 1,0 %; 4) omlægning til kløvergræs gælder som gennemsnit for de første ti år efter omlægningen. Scenarie 2: Simpel antagelse af fordobling af nuværende økologisk areal med samme fordeling imellem driftsgrene.

Da disse estimater begge er baserede på usikre fremtidsscenarier, vil den faktiske effekt af omlægning fra konventionel til økologisk produktion som klimavirkemiddel være stærkt afhængig af, hvilke driftsgrene der omlægges, og om de omlægges direkte eller skifter driftsgren ved omlægningen. Ligeledes vil en evt. medfølgende reduktion af antallet af husdyr være nødvendig for at opnå en klimaeffekt i den høje ende af det estimerede interval. En sådan reduktion af husdyr er sandsynlig på langt sigt, men må samtidig sættes i forhold til 2030-målet for klimareduktion fra landbruget som samlet sektor. I praksis er en reduktion af husdyrantallet mindre sandsynlig inden for relativt få år, idet forrentning af investeringer i stalde og andet inventar vil motivere en fortsat udnyttelse af kapaciteten. Samlet set må det derfor formodes, at den umiddelbart realiserbare klimaeffekt vil ligge i den lavere ende af det estimerede interval, medmindre omlægningen styres og intensiveres imod en fremtidig driftsgrenssammensætning og reduceret husdyrhold, som udløser klimaeffekten.

### Afledte effekter af omlægning

Det vurderes, at de forventede ændringer i anvendelsen af kvælstofgødning ved omlægning til økologi er relativt sikkert estimeret. Klimaeffekten af en reduceret kvælstofanvendelse er imidlertid sandsynligvis overestimeret, fordi den reelle emission af lattergas fra anvendelse af kvælstofgødning formentlig er lavere end 1

%<sup>28</sup>. Omlægning til økologi vil øge arealforbruget, hvis en uændret husdyrproduktion skal opretholdes, fordi udbytterne pr. ha falder. Udbytterne ved økologisk planteproduktion udgør typisk 60-70 % af udbyttet ved konventionel produktion. Omlægning til økologi vil føre til en mindre produktion af halm. Det vil betyde, at der på nationalt plan bliver et mindre overskud af halm, der kan anvendes til energiproduktion (kraft/varme eller biogas). Biogasproduktionen er et så markant vækstområde, at der allerede er kamp om de råvarer fra landbruget, der kan producere gas. Husdyrgødning og halm er de oplagte kilder, der arbejdes intenst med at kunne trække ind i gasproduktionen. Økologisk kløvergræs er ved at være den eneste hovedafgrøde, der kan bjerges og sælges til biogasproduktion. Majs som energiafgrøde er under udfasning og vil efter planen være helt væk i 2025. Konsekvensen vil være, at økologiske planteavlere kan benytte sig af muligheden for at have kløvergræs i sædskiftet og sælge biomassegas, modtage afgasset gødning og dernæst udnytte den betydelige forfrugtsvirkning, der udløses, når kløvergræsset ompløjes forud for en ny salgsafgrøde. En sådan udvikling vil afhjælpe én problemstilling omkring tilstrækkelig næringsstofforsyning til økologisk planteavl, idet økologisk husdyrgødning kan blive begrænsende. Hvis den nuværende økologiske animalske produktion fastholdes, og det udvidede areal på ca. 300.000 ha er landbrugsjord i omdrift, vil det vanskeliggøre tilstrækkelig næringsstofforsyning. Scenariet kan betragtes som et worst-case scenarie i denne sammenhæng.

En del af de nye økologiske arealer må dog formodes at være ekstensive arealer uden for egentlig omdrift forhold til Nogle vil have et vist kvælstofbehov, andre vil være mere naturlignende eventuelt tilknyttet udtagings- og miljøordninger som brak, BNBO, ændret afvanding og så videre Den andel af det nye økologiske areal, der har eller får sådan en status, skal holdes uden for beregning af næringsstoffbehov ved fordoblingsmålene.

Fordobling af det økologiske areal er et relevant klimavirkemiddel, da det muliggør en landbrugsproduktion baseret på højværdi og samtidig kan levere reduktioner i den nationale udledning af klimagasser fra landbruget. Samtidig bidrager fordoblingen af det økologiske areal til at nå andre mål i forbindelse med grøn omstilling, herunder reduktion i anvendelse af pesticider og lavere kvælstofforbrug. Men denne omlægning vil medføre barrierer, herunder adgang til tilstrækkelige næringsstoffer, der skal overvejes.

#### **4.9 Produktivitet i marken**

Øget produktivitet defineres som en øget produktion i forhold til forbruget af ressourcer. I planteproduktionen kan en øget produktivitet ses i forhold til en række forskellige ressourcer: Arealforbrug, gødningsforbrug, arbejdskraft m.v. Produktiviteten har afgørende betydning for produkternes klimaaftryk pr. produceret enhed, og dermed på, hvor klimaeffektiv produktionen er. Produktiviteten har derimod meget lille betydning for det territoriale klimaaftryk i sektor Landbrug og sektor LULUCF. Der er dog situationer, hvor en produktivetsforbedring også vil påvirke det territoriale klimaaftryk. Højere udbytter pr. ha vil generelt også føre til et større input af kulstof til jorden og dermed en øget kulstoflagring. Set over hele perioden fra 1990 til 2030 har der været en betydelig effekt. Højere udbytter i forhold til forbruget af kvælstofgødning vil føre til lavere kvælstoftab, især lavere kvælstofudvaskning. Disse effekter af produktivetsforbedringer er imidlertid allerede indregnet under dels kulstof i jord på mineraljord og i opgørelsen af emissioner af lattergas fra nitratudvaskning. Det vurderes derfor, at der ikke er nævneværdige yderligere effekter af produktivetsforbedringer på det territoriale klimaaftryk i sektor Landbrug og sektor LULUCF.

Øget produktivitet i markbruget kan have en afledt effekt på det territoriale klimaaftryk i energisektoren, fordi en øget produktion også vil betyde en øget mængde restbiomasse, primært halm, der på forskellig vis kan fortrænge forbrug af fossil energi.

<sup>28</sup> Petersen, S.O. et al. 2023. Higher N<sub>2</sub>O emissions from organic compared to synthetic N fertilisers on sandy soils in a cool temperate climate. Agriculture, Ecosystems & Environment.

**Forudsætninger**

Betydende effekter på det territoriale klimaaftryk i sektorerne landbrug og LULUCF er indregnet under andre virkemidler/emissionskilder.

**Reduktionspotentiale – effekt i forhold til Landbrugsaftalen i forhold til 2030-målet (Territorial) (CO<sub>2</sub>e-effekt)**

Der er intet betydeligt yderligere reduktionspotentiale i sektorerne landbrug og LULUCF.

## 5. Klimavirkemidler - Kvæg

### 5.1 Gylleforsuring i stal

Forsuring af gylle med svovlsyre er som teknologi 'JH Forsuring NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - Kvægstalde med ringkanal eller bagskylskanal' optaget på Miljøstyrelsens Teknologiliste<sup>29</sup>.

Svovlsyreforsuring kan etableres i kvægstalde med gyllesystemet ringkanal og fungerer ved at omrøring af gyllen i stalden startes. Efter 10-20 minutters omrøring tilsættes løbende syre fra syretanken til gyllen. Mængden af syre, som tilsættes, er afhængig af den forrige dags pH-måling, hvor der tilstræbes en pH på 5,5.

En afprøvning i to kvægstalde med daglig forsuring af gyllen viste, at gylleforsuring reducerer ammoniakemissionen fra stalden med 33 %<sup>30</sup>. Udover, at svovlsyreforsuring har en effekt på ammoniak, har den ligeledes en effekt på metan, hvor mikroorganismene påvirkes af svovlsyren. I den tidligere nævnte afprøvning reducerer svovlsyreforsuringen metanemissionen med gennemsnitligt 12,4 %. Men da luftskiftet er beregnet ud fra staldens CO<sub>2</sub>-indhold, og CO<sub>2</sub>-produktionen fra gyllen er mindre, når gyllen er forsuret, blev resultatet korrigeret til at reducere metanemissionen med 16,4 %. Reduktionen skal ses i forhold til, at gyllens andel af staldens samlede metanemission formodentlig kun udgør 20-25 % i malkekvægstalde med ringkanal, idet den enteriske metanproduktion i dyrene bidrager med langt størstedelen. Derved blev effekten af forsuring af gyllen på metanemissionen fra gyllen ca. 70-75 % i undersøgelsen. Det er dog forbundet med nogen usikkerhed dels på grund af korrektionen for CO<sub>2</sub>-produktionen fra gyllen, dels på grund af korrektionen for den høje enteriske metanproduktion i malkekvægstalde. Svovlsyreforbruget i afprøvningen lå på 5,7 kg konc. svovlsyre/m<sup>3</sup> gylle.

Laboratorieforsøg har vist, at daglig forsuring af kvæggylle med svovlsyre eller eddikesyre reducerede metanemissionen med henholdsvis 89 % og 97 %<sup>31</sup>. Resultaterne indikerer, at der er et potentiale for en stor metanreduktion fra gyllen i kvægstalde.

Når den forsurede gylle ledes fra stalden og til lageret, vil forsuringen af gyllen i stalden også have en reducerende effekt på metanemissionen fra lageret. På grund af det høje svovlindhold i forsuret gylle ønsker biogas anlæg ikke, eller kun i mindre grad, at modtage staldforsuret gylle, da det hæmmer de metanproducerende mikroorganismer i biogasanlægget.

Svovlsyreforsuring af gyllen vil bidrage med et højere ammoniumindhold i gyllen ved udbringning, og ammoniakfordampningen vil være mindre under udbringningen. Ved udbringning af forsuret gylle i marken stiger behovet for kalkning. Kalkbehovet er usikkert, men vurderes at udgøre i størrelsesordenen 1,0-1,8 kg calciumkarbonat (CaCO<sub>3</sub>)/l svovlsyre<sup>30</sup>. Kalkningen vil øge CO<sub>2</sub>-emissionen fra markdriften. Svovlindholdet i forsuret kvæggylle er højt, og vil ofte kunne opfylde afgrødernes behov for svovl.

I 2021 er det oplyst fra JH Agro A/S, at svovlsyreforsuring var etableret hos 14.800 køer (2,6 %) og 13.000 opdræt (2,0 %). For opdræt skal bemærkes, at dette tal kan være misvisende, da antal kvier er oplyst ud fra det CHR-nummer, hvor forsuringsanlægget er placeret. Forsuringsanlæg er typisk opstillet ved kostalden, hvor en andel af kvierne også kan være opstaldet, men kvierne kan også være opstaldet i andre stalde på ejendommen, som er uden forsuring. Andel af opdræt opstaldet i staldsystem med forsuring vurderes derfor at være noget lavere end 2,0 %, hvor 1,0 % sandsynligvis vil være mere retvisende dvs. 6.500 opdræt.

<sup>29</sup> Miljøstyrelsens Teknologiliste, 2012. Staldindretning (mst.dk).

<sup>30</sup> Kasper, P.L. et al. 2022. Svovlforsuring i kvægstalde. SEGES Innovation, rapport.

<sup>31</sup> Jensen, J.P., H. Krogh, P. Sørensen og S.O. Petersen. 2018. Potentielle miljøeffekter ved anvendelse af forsuret gylle på landbrugsjord. Aarhus Universitets, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. Rapport nr. 257.

På baggrund af en nedjustering af ammoniakreduktionen fra 50 % til 33 %<sup>28</sup> efter effekten af svovlsyrebehandling blev dokumenteret i to kvægstalde, forventes der ikke en stor stigning i etablering af gylleforsuring i kvægstalde. JH Agro A/S har en forventning om salg af 1-2 forsøringsanlæg til kvægstalde frem mod 2030.

### Forudsætninger

Der er kun lavet få undersøgelser af effekten af svovlsyrebehandling af gyllen på metanemissionen. I praksis er der fundet en reduktion af metan på 16,4 %<sup>29</sup> svarende til en reduktion i gyllens metanemission på 80 %. I laboratorieforsøg blev der fundet en effekt på 89 % ved svovlforsuring af kvæggylle. Der er endnu ingen emissionsmålinger på lagertanke, som opbevarer staldforsuret gylle. Aarhus Universitets har angivet et konservativt estimat på en metanreduktion på 70 % fra stald og lager, når der anvendes svovlsyreforsuring i stalden<sup>17</sup>.

I Aarhus Universitets virkemiddelkatalog<sup>17</sup> fastsættes andelen af metan (CH<sub>4</sub>) fra kvæggylle i stalde med spalter og ringkanal til 2,5 kg CH<sub>4</sub>/ton gylle inkl. lager. Fordelingen mellem stald og lager er beregnet til 1,7 kg fra stald og 0,8 kg fra lager, hvilket er estimeret ud fra I den nationale opgørelse<sup>32</sup> Estimatet anvendes i AU's virkemiddelkatalog. [00]

Økologiske husdyrbrug må ikke anvende svovlsyre, men der er forsøg, der indikerer, at syrer, som økologerne må anvende, også har en effekt. Dette kræver dog mere dokumentation.

### Reduktionspotentiale – effekt i forhold til Landbrugsaftalen i forhold til 2030-målet (Territorial) (CO<sub>2</sub>e-effekt)

Den samlede effekt af gylleforsuring (stald og lager) i stalde med ringkanal er estimeret til en reduktionseffekt på 70 %, hvilket svarer til en reduktion på 49 kg CO<sub>2</sub>e/ton gylle. Ved den nuværende udbredelse af forsuring i kvægstalde på 14.800 køer og 6.500 stk. opdræt svarer det til 446.000 ton gylle og 22 kt CO<sub>2</sub>e/år. Der forventes ikke en yderligere reduktion frem mod 2030, da antallet af anlæg ikke forventes at stige.

### 5.2 Drænet fast gulv med gødningsskraber og ajlefløb

Når gyllens opholdstid i stalden reduceres, vil metanemissionen fra gyllen i stalden også blive mindre. Drænet fast gulv med ajlefløb og gødningsskraber defineres som: Gulv i gangarealer med 1-3 % fald mod en eller flere ajlerender i gulvets længderetning eller spalteåbninger på tværs af gulvets længderetning. Åbningsarealet til eventuel underliggende gyllekanal må maksimalt udgøre 5 % af gangarealet. Gulvet skrubes rent for gødning mindst 12 gange dagligt.

Den hyppige skrabning vil sammen med dræning af ajlen bidrage til, at ammoniakemissionen fra disse stalde er 23 % lavere end ammoniakemissionen fra kvægstalde med ringkanal, hvilket disse kvægstalde er godkendt til. Næsten alle nye kvægstalde indrettes med dette gødningssystem. Systemet er velfungerende sammen med sand i sengebåsene, da sandet bidrager til et mere skridsikkert gulv, og skraberne sikrer, at sandet kan komme ud af stalden igen.

### Forudsætninger

Der foreligger ingen emissionsmålinger af metan på staldsystemet. Aarhus Universitet har givet et estimat på effekten<sup>17</sup>, hvis fast drænet gulv med skraber og ajlefløb sammenlignes med sengebåsestald med spalter og ringkanal. Der forventes en reduceret metanemission på 91 % på grund af gyllens kortere opholdstid i stalden, hvilket svarer til, at metanemissionen fra stalden reduceres til 0,15 kg CH<sub>4</sub>/ton gylle. Tallet er estimeret ud fra, at en sengebåsestald med spalter og ringkanal er beregnet til en udledning på 1,7 kg CH<sub>4</sub>/ton gylle på grund af gyllens opholdstid i stalden.

Lagerbidraget fra kvæggylle er lavt, hvilket skyldes, at gyllen løbende køres ud på marken i perioden ultimo maj til primo august. Derved mindskes metanemissionen fra lageret i den varme sommerperiode. I den

<sup>32</sup> Nielsen, O.K. et al. 2023. Denmark's National inventory report 2023. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt center for Miljø og Energi. Rapport nr. 494.

nationale opgørelse<sup>32</sup> fastsættes lagertabet fra kvæggylle til 0,8 kg CH<sub>4</sub>/ton gylle, mens der i Aarhus Universitets virkemiddelkatalog<sup>17</sup> vurderes kun lidt højere metanemission fra lageret, når gyllen dagligt fjernes fra stalden, svarende til metanemission fra gyllelageret på 0,9 kg CH<sub>4</sub>/ton gylle ved daglig skrabning. Umiddelbart er det vores vurdering, at dette estimat er vurderet lavt.

Den samlede metanemission fra gyllen fra kvægstalde med fast drænet gulv med skraber og ajlefløb er dermed 1,1 kg CH<sub>4</sub>/ton gylle, hvor den fra kvægstalde med spalter og ringkanal/bagskyl er 2,5 kg CH<sub>4</sub> /ton gylle. Staldsystemet kan anvendes af både økologiske og konventionelle kvægbrug. Dog vil systemet have mindre effekt i systemer med afgræsning.

### Reduktionspotentiale – effekt i forhold til Landbrugsaftalen i forhold til 2030-målet (Territorial) (CO<sub>2</sub>e-effekt)

I nedenstående tabel er et uddrag af landbrugsfremskrivningen (Energistyrelsen), hvor den forventede procentfordeling af staldd typer for malkekøer fremgår.

Tabel 5.1: Fordelingen af staldd typer for malkekøer (%) - Tung race (85 %) og Jersey (15 %).

	2020	2030
Sengebåsestald med spalter og ringkanal/bagskyl	37	30
Sengebåsestald med fast drænet gulv med skraber og ajlefløb	24	42
Sengebåsestald med fast gulv	14	10
Sengebåsestald m. spaltegulv (0,4m kanal, linespil)	19	15
Bindestalde	3	0
Dybstrøelse	3	3

Af Tabel 5.1 fremgår, at 37 % af gyllen i 2020 var fra stalde med ringkanal/bagskyl samt 1-2 % fra bindestalde med riste og gyllekanal. Dermed var ca. 38 % af gyllen fra stalde, hvor gyllen havde lang opholdstid i stalden. 57 % af gyllen var fra stalde med daglig udslusning og hertil 1-2 % fra bindestalde med grebning. Dermed var ca. 59 % af gyllen fra stalde, hvor gyllen havde kort opholdstid i stalden. Forventningen er, at andelen af staldd pladser med spalter og ringkanal reduceres med 7 procentenheder i perioden 2020 til 2030, mens de gamle bindestalde udgår. Andelen af staldd pladser i stalde med daglig udslusning øges i samme periode med 10 procentenheder. I forhold til 2020 vil udviklingen i staldd typer derfor medføre en mindre metanemission svarende til 61 kt CO<sub>2</sub>e frem til 2030 (0,056 - 0,066 mio. ton CO<sub>2</sub>e). Emissionen fra dybstrøelse er ikke medtaget i beregningen, og der er kun beregnet på malkekøer inkl. opdræt.

Der vil være en klimamæssig gevinst, hvis den friske gylle fra stalde med fast drænet gulv med skraber enten leveres til et biogasanlæg – eller alternativt, at der i gylletanken enten praktiseres lavdosis lagerforsuring eller fakkelfabrænding ved teltoverdækkede gylletanke, se Tabel 5.2.



Tabel 5.2: Effekt af virkemidler til reduktion af metan i kvægstalde og gødningslagre.

Virkemidler	Reduceret metanemission fra stald og lager <sup>1</sup>	
	%	CO <sub>2</sub> e/ton gylle
Spalter og ringkanal (2,50 kg CH <sub>4</sub> /ton gylle ~ 70 kg CO <sub>2</sub> e/ton gylle)	0	0
Fast drænet gulv med skraber og ajlefløb (1,05 kg CH <sub>4</sub> /ton gylle)	58 %	41 kg
Fast drænet gulv med skraber og ajlefløb + biogas	79 %	55 kg
Fast drænet gulv med skraber og ajlefløb + lagerforsuring	80 %	56 kg
Fast drænet gulv med skraber og ajlefløb + fakkelfabrænding	81 %	57 kg

<sup>1</sup> Teoretisk beregnet estimat, hvor især meremission fra lager fra gylle fra stalde med fast drænet gulv med skraber vurderes at være usikker.

### 5.3 Foderadditiver til reduktion af enterisk metan

Det er velkendt, at drøvtyggere udleder metan, og det er den største enkeltpost i klimaaftrykket på mælkeproduktion med nuværende regnemetoder fra IPPC. Derfor har det stor effekt på mælkens klimaaftryk, hvis man kan reducere metanemissionen fra koen. Omsætning af kulhydrater i vommen resulterer i blandt andet dannelsen af brint, som forbruges af metanogene mikroorganismer, hvorved metan dannes. Denne form for metan omtales ofte som enterisk metan. Bovaer® er et kommercielt fodertilsætningsstof til køer fra det hollandske firma DSM. Bovaer® indeholder det aktive stof 3-nitrooxypropanol (3-NOP), som blokerer det sidste enzym i metandannelsen, hvormed metanudledning fra drøvtyggere reduceres, og brintproduktionen mangedobles. Bovaer® er godkendt af "EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed" (FEEDAP) med konklusionen om, at det ikke er skadeligt for koen, forbrugeren eller miljøet/klimaet ved anvendelse af anbefalet dosering. Bovaer® kan ikke anvendes i økologisk produktion.

#### Forudsætninger

Bovaer® skal tildeles køerne hver eneste dag og løbende over døgnet for at opnå den fulde effekt. Effekten af Bovaer® er nedsat, hvis man har køerne på græs, da tildeling er svær ved afgræsning. Desto længere tid køerne er på græs, desto ringere forventes effekten af 3-NOP at være på metanudledning. Hvis man anvender døgnafgræsning, vurderes effekten af at tildele Bovaer® som meget begrænset. Hvis man derimod kun har køerne på afgræsning en del af døgnet, så vil det være muligt at tildele Bovaer® i foderet på stald og få en mindre reduktion, men få studier har belyst dette. Under danske forhold, hvor køerne oftest kun afgræsser 6-10 timer pr. dag, må det forventes, at Bovaer® stadig vil reducere køernes metanudledning, hvis det iblandes fuldfoderet, som køerne modtager i perioden på stald.

Bovaer® iblandes mineralblandingen på mineralfabrikken og tildeles køerne via fuldfoderet. Den optimale mængde ud fra nuværende forsøg og afprøvninger er 60 mg/kg TS/ko/dag, således at der sikres maksimal reduktion af metan samtidig med, at foderoptagelse og mælkeproduktion opretholdes. Effekten af Bovaer® på metandannelsen er veldokumenteret i litteraturen og afhænger af dosis, tildelingsmetode, rations sammensætning og fodringsmanagement.

En metanalyse på tværs af universitetsforsøg udført i NorFor-regi viser, at når køerne har adgang til fuldfoder af en typisk dansk ration med Bovaer® hele døgnet, og man anvender en dosis på 60 mg/kg TS, kan man forvente en reduktion i enterisk metan på ca. 30 %<sup>33</sup>. Dette passer godt med nyere forsøg fra Holland<sup>34</sup> og Danmark<sup>35</sup>. Besætningsafprøvninger udført af SEGES Innovation med en dosis på 60 mg/kg TS indikerer dog

<sup>33</sup> NorFor. Metaanalyse af forskningsdata 2023. Upubliceret.

<sup>34</sup> Van Gastelen et al. 2022. Methane mitigation potential of 3-nitrooxypropanol in lactating cows is influenced by basal diet composition. J. Dairy Sci. 105:4064-4082.

<sup>35</sup> Maigaard et al. 2022. Effekten af 3NOP af hænger af dosis og grovfodertype. Fodringsdagen 2022.

en lidt større reduktion på ca. 35 %<sup>36,37</sup>. Dette kan forklares med, at der anvendes relativt meget majsensilage i danske rationer, og studier fra Danmark<sup>35</sup> og Holland har netop vist, at der er størst reduktion i metanudledningen fra køer, som æder en majsbaseret ration sammenlignet med en græsbaseret ration. Det skyldes formentlig, at majsensilage indeholder færre fibre end græs, hvilket metaanalysen fra NorFor med 14 studier bekræfter<sup>33</sup>.

Økologiske bedrifter må ikke anvende syntetisk fremstillede foderadditiver som Bovaer®. Der er forskning i gang, der skal finde naturlige alternativer, eksempelvis tang der kan anvendes i økologisk landbrug.

### **Reduktionspotentiale – effekt i forhold til Landbrugsaftalen i forhold til 2030-målet (Territorial) (CO<sub>2</sub>e-effekt)**

I Danmark forventes der i 2030 ca. 565.000 årskøer af malkerace, hvoraf de 75.000 forventes at være økologiske. Det vil sige, at 441.000 årskøer kan potentielt anvende Bovaer®. Når praksismålinger lægges til grund for effekten, kan der opnås en effekt på helt op til 35 %, svarende til en reduktion på ca. 0,71 mio. ton CO<sub>2</sub>e for malkekøer. Hvis også goldperioden inkluderes forventes et reduktionspotentiale på yderligere 0,034 mio. ton CO<sub>2</sub>e årligt. Der forventes en effekt på opdræt på niveau med malkekøerne – ca. 30 % på enterisk metan, hvilket vil give en reduktion på 0,165 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år for opdræt. For ungtyre/slagtekalve forventes en effekt på ca. 40 % reduktion af enterisk metan, som giver en samlet effekt på ca. 0,052 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år. Hvis 75-100 % af de konventionelle køer, opdræt og tyre fodres med Bovaer® eller et lignende produkt, er reduktionspotentialet på mellem 0,72 til 0,96 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år.

### **5.4 Fedt i foderet til reduktion af enterisk metan**

Et andet virkemiddel til at reducere drøvtyggers metanudledning, herunder enterisk metan, er at tilsætte fedt i foderet. Der har været størst fokus på rapsfedt, da drivhusgasudledningen ved rapsfedt er betydeligt mindre end f.eks. det kommercielle palmefedt, der anvendes til konventionel mælkeproduktion<sup>38 39</sup>. Danish Crown har således sat en udløbsdato for brugen af palmefedt til grise, og derfor er det også sandsynligt, at noget lignende vil ske på kvægsiden.

Mekanismen, hvorved fedt nedsætter metanudledningen, skyldes flere ting:

- Fedt erstatter især kulhydrater (som så ikke giver substrat til metan).
- Fedt omsættes ikke i vommen.
- Umættede fedtsyrer (f.eks. rapsfedt) binder noget hydrogen, som er substrat til dannelsen af metan.
- Visse fedtsyrer kan hæmme metanproducerende bakterier.
- Visse fedtsyrer kan hæmme fibernedbrydende bakterier.

### **Forudsætninger**

Det er formentligt optimalt, at fedt tildeles jævnt over døgnet, og her er fuldfoder oplagt. Hvis køerne er på døgnafgræsning, er en jævn tildeling af fedt svært. Afgræsning den halve tid af døgnet gør tildeling nemmere, men man må ikke forvente at kunne tildele dobbelt dosis rapsfrø med gode resultater, da køers foderoptagelse og produktion falder ved mere end 45-50 g rapsfrø-fedtsyrer i rationen<sup>40</sup>.

<sup>36</sup> Nielsen et al. 2022. Stof X reducerer køernes metan emission uden forringelse af mælkeproduktion eller fodereffektivitet. Fodringsdagen 2022.

<sup>37</sup> Upubliceret, igangværende målinger af metan hos mælkeproducenter.

<sup>38</sup> Mogensen et al. 2018. Bæredygtighedsparametre for konventionelle fodermidler til kvæg. Aarhus Universitet, DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. Rapport nr. 116.

<sup>39</sup> GFLI database on feeds. 2022.

<sup>40</sup> Giagnoni et al. 2022. Effect of rapeseed and palm kernel oil dietary inclusion levels in milk production, feed efficiency, methane and economy. Fodringsdagen 2022.

I Danmark findes ca. 565.000 årskøer af malke race, og ca. 75.000 er økologiske. Samme fordeling og antal køer antages i 2030. En årsko antages at være malkende i 325 dage og have et foderoptag på 24 kg TS/dag og en metanproduktion på 456 g CH<sub>4</sub>/dag (19 g CH<sub>4</sub>/kg TS \* 24 kg TS)<sup>41,35,36</sup>.

Det forudsættes, at økologiske køer kun tildeles rapsfedt i 6 mdr. om året, og at konventionelle køer tildeles rapsfedt 12 mdr. om året. Det forudsættes, at der både er konventionelle og økologiske rapsfrø til stede i markedet, specielt det sidste kan blive en mangelvare. Endvidere gøres der opmærksom på, at undersøgelser har indikeret, at gylle fra køer, der fodres med større mængder fedt, har et lidt højere biogas-potentiale, da fedtindholdet i gyllen øges.

Fedt i foderet kan anvendes af både konventionelle og økologiske kvægbrug. Men da effekten ikke er additiv, og størstedelen af konventionelle landmænd forventes at anvende foderadditiver som Bovaer®, er effekten her kun regnet på økologiske brug.

### **Reduktionspotentiale – effekt i forhold til Landbrugsaftalen i forhold til 2030-målet (Territorial) (CO<sub>2</sub>e-effekt)**

Danske og internationale forsøg med rapsfrø har fundet reduktioner i metanemissionen ved fodring med rapsfrø på ca. 4 % pr. 10 g ekstra fedtsyrer pr. kg TS-optag<sup>40</sup>. Konventionelle malkekøer fodres i forvejen med ca. 35 g fedtsyrer/kg TS (jævnfør SEGES Innovations foderkontroller), og økologiske malkekøer med ca. 27 g fedtsyrer/kg TS i vinterhalvåret. Der regnes på et metan-reduktionspotentiale på op til 50 g fedtsyrer for konventionelle køer, som er foreslået af myndigheder/Aarhus Universitet. Hos økologiske malkekøer er det forudsat, at der regnes på at øge fedtsyreniveauet fra 27 g til 42 g fedtsyre, hvilket svarer til den samme stigning som for konventionelle. Årsagen hertil er, at udbuddet af økologiske rapsfrø vurderes ret usikkert, og der skal således kun dyrkes/fremskaffes den halve mængde. Der er ikke additiv effekt af foderadditiver som Bovaer og fedt i foderet. Derfor regnes reduktionspotentialet udelukkende på økologiske køer, da det antages, at konventionelle køer bliver fodret med foderadditiver. Eftersom økologiske køer kun har effekt af fedt i vinterhalvåret, er reduktionspotentialet 0,009 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år.

### **5.5 Avl for malkekøer, der udnytter foder bedre til produktion af mælk og kød**

*Indeks for Sparet foder* beskriver det genetiske potentiale for at sænke foderomkostninger – både gennem reduceret behov til vedligehold og øget stofskifteeffektivitet. I begge tilfælde, betyder højere avlsværdital et lavere foderbehov og udtrykkes som reduktion i kilogram tørstofoptagelse.

*Avlsværdital for Vedligehold* beskriver det genetiske potentiale for at spare foder til vedligehold. Det relaterer sig grundlæggende til den enkelte kos kropsvægt. Det er alment kendt, at tunge køer skal bruge mere foder til vedligehold end køer, der vejer mindre. Avlsværditallet for vedligehold er baseret på forskellige indikationer for koens vægt – enten eksteriormål eller vægt – i de første tre laktationer. Desuden bruges også registreringer af krydshøjde, kropshøjde og brystbredde, da de har en stærk sammenhæng med koens vægt.

*Avlsværdital for Stofskifteeffektivitet* beskriver det genetiske potentiale for at spare foder gennem højere effektivitet, når foderet omsættes til mælkeproduktion, vækst mm. Avlsværditallet for effektivitet er baseret på registrering af den enkelte kos foderoptagelse, samt hendes kropsvægt og ydelse. Køernes foderoptagelse er baseret på CFIT-udstyr (hardware og software), som er udviklet af VikingGenetics.

I dag er effekten af indekset for sparet foder hovedsageligt baseret på en reduktion af foderbehovet til vedligehold. Dette skyldes, at datagrundlaget bag avlsværditallet for stofskifteeffektivitet stadig er sparsomt. Avlsværditallet bruges til at udvælge næste generation af insemineringstyre.

<sup>41</sup> Børsting et al. 2019. Race og grovfoderandel har stor betydning for malkekøernes klimapåvirkning. Fodringsdagen 2019.

Der er opsat CFIT-anlæg i omkring 25 besætninger, og det begrænser antallet af dyr med data. Der er igangværende forsknings- og udviklingsprojekter, med det formål at udvikle avlsværdital for metanudledning hos malkekøer og slagtekalve samt for fodereffektivitet hos slagtekalve. Disse værktøjer bliver implementeret i de kommende år.

### **Forudsætninger**

Der er en sammenhæng mellem mængden af optaget foder og udledningen af metan. Hvis det er muligt at reducere foderoptagelsen ved konstant mælkeproduktion, vil det indirekte medføre en reduktion i metanudledningen fra kvægsektoren. Når foderoptagelsen reduceres med 1 kg tørstof (TS), reduceres metanudledningen svarende til 532 g CO<sub>2</sub>e.

Avl har effekt både hos økologiske og konventionelle kvægbrug.

### **Reduktionspotentiale – effekt i forhold til Landbrugsaftalen i forhold til 2030-målet (Territorial) (CO<sub>2</sub>e-effekt)**

Med det nuværende indeks for sparet foder og den nuværende vægtning i avlsmålet for malkeracerne er det muligt at reducere foderoptagelsen med omkring 11 kg TS/laktation indtil 2030. Med godt 490.000 årskøer i Danmark i 2030 betyder det, at foderoptagelsen med konstant produktionsniveau er reduceret med 5.150 ton TS/år i 2030. Det medfører en reduktion i metanudledningen på 2.700 ton CO<sub>2</sub>e/år. Effekten er baseret på den avlsmæssige fremgang, der er opnået over en seks-årig periode.

Det skal bemærkes, at effekten er blivende og den avlsmæssige fremgang, der opnås i de følgende år, vil blive akkumuleret. Det betyder, at avl er et meget stærkt redskab på den lange bane.

Det er muligt at reducere foderforbruget til mælkeproduktion yderligere ved at få en højere sikkerhed på avlsværdital for stofskifteeffektivitet. Det vil kræve en betydelig stigning i antallet af køer med registreringer af foderoptagelse. Det kan opnås ved at opstille CFIT-anlæg i mange flere besætninger. Med højere sikkerhed på indeks for stofskifteeffektivitet ville reduktionen i foderoptagelse efter seks års avlsarbejde være 30 kg tørstof/laktation. Med godt 490.000 årskøer i Danmark ville det betyde, at foderoptagelsen med konstant produktionsniveau ville blive reduceret med 14.750 ton TS/år, hvilket svarer til en reduktion i metanudledningen på ca. 7.900 ton CO<sub>2</sub>e/år.

Med en øget vægt på sparet foder i avlsmålet for malkeracerne (svarende til en pris på 1.125 kr./ton CO<sub>2</sub>e) kan foderforbruget reduceres med 78.400 ton TS/år, hvilket svarer til en reduktion i metanudledningen på 41.700 ton CO<sub>2</sub>e/år. Hvis man samtidig øger tidshorisonten fra 2030 til 2050, vil man kunne reducere foderforbruget med 340.000 ton tørstof/år i 2050, hvilket svarer til en reduktion med omkring 10 %. Herved opnår man en reduktion i metanudledningen på 180.000 ton CO<sub>2</sub>e/år.

Det nuværende avlsmål for malkeracerne (NTM) har fokus på højere ydelse og mindre spild. Det betyder, at det nuværende avlsarbejde allerede bidrager til en mindre klimapåvirkning fra kvægbruget.

### **5.6 Opfangning og omsætning af metan i kvægstalde**

Når først metangas er undsluppet koens vom eller staldens gylle og er i staldluften, vil den være yderst vanskelig at fjerne igen. Der findes dog metoder til at fjerne metan i høje koncentrationer, dvs. omdanne metan til CO<sub>2</sub>. I afsnit 7.3 er afbrænding af metangas omtalt, og i afsnit 7.4 er omsætning af metan i kompostfilter omtalt. Begge teknologier i forbindelse med teltoverdækket gyllelager, hvor metankoncentration ligger på 2-15 %.

Metankoncentrationen i staldluft er meget lav, svarende til 30-50 ppm (0,003-0,005 %), hvilket skyldes et meget højt luftskifte, og der er i dag ikke tilgængelige teknologier, der kan fjerne denne metan fra luftfasen. Det vil dog kunne lade sig gøre at opkoncentrere en delstrøm af staldens luftskifte og således opnå en højere

koncentration. SEGES Innovation har undersøgt, dels et "punktudsug" (emhætte) over køernes sengebåse, dels et sug tæt ved mulen, og dels et mere aflukket metanhus omkring køernes hoved. Undersøgelserne har dog ikke vist en høj opkoncentrering af metan.

## 6. Klimavirkemidler - Gris

### 6.1 Gylleforsuring i stald

Forsuring af gylle i stald med svovlsyre er som teknologi 'JH Forsuring NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Svinestalde' optaget på Miljøstyrelsens Teknologiliste<sup>29</sup>.

Forsuringen i grisestalde fungerer ved, at gyllen dagligt sluses ud i en procestank, hvor der under omrøring tilsættes svovlsyre (93-96 % koncentreret svovlsyre). Når gyllen er forsuret ned til pH 5,5 og ligger stabilt på dette niveau, pumpes hovedparten af den forsurede gylle tilbage i stalden, således der opnås en gyllestand på 20-25 cm i gyllekummerne. Den overskydende del af dagens gylleproduktion overføres til lagertanken. Stalden er opdelt i gyllekredse, således der behandles gylle fra maksimalt 1000-1500 m<sup>2</sup> gyllekumme ad gangen i procestanken. En typisk slagtegrisestald består af 4-6 gyllekredse.

Forsuring af gylle i grisestalde er godkendt til 64 % ammoniakreduktion i stalde med fulldrænet gulv. Der er i test anvendt 11-13 kg svovlsyre/ton grisegylle<sup>42</sup>. Tilslutter man en JH Smellfighter (tromlesi) til procesanlægget opnås 51 % lugtreduktion fra stalden<sup>43</sup>. Også i disse test blev der fundet et forbrug på 11-13 kg svovlsyre/ton grisegylle. På grund af det høje svovlindhold i forsuret gylle ønsker biogasanlæg ikke – eller kun i mindre grad – at modtage staldforsuret gylle, da det hæmmer de metanproducerende mikroorganismer i anlægget.

Ammoniakreduktionen fra stald og fra lager vil bidrage med et højere ammoniumindhold i gyllen ved udbringning. Samtidig vil ammoniakfordampningen blive reduceret ved udbringning, og udnyttelsen af gyllens kvælstof øges derved, hvilket kan føre til højere udbyttepotentiale – eller nedsættelse af behovet for kunstgødning. En mindre kvælstoftilførsel til marken vil bidrage til en mindre lattergasproduktion fra markdriften.

Ved udbringning af forsuret gylle i marken stiger behovet for kalkning. Kalkbehovet vurderes at udgøre i størrelsesordenen 1,0-1,8 kg calciumkarbonat (CaCO<sub>3</sub>)/L svovlsyre<sup>31</sup> (dvs. 0,55-1,0 kg CaCO<sub>3</sub>/kg svovlsyre, eller 6,0-13 kg CaCO<sub>3</sub>/ton staldforsuret grisegylle). Kalkningen vil bidrage med en øget CO<sub>2</sub>-emission fra markdriften.

Det estimeres, at i 2020 blev gyllen forsuret i et omfang svarende til ca. 2,5 % af grisestaldene (stipladserne). Dette estimat er baseret på firmaet JH Agro A/S's oplysninger om antal anlæg i drift og produktionsomfang på ejendommene. Med de nye forsøringsanlæg JH Agro A/S på nuværende tidspunkt har i ordrebogen og forventningen om 8-10 nye større anlæg frem til 2030, er det forventningen, at udbredelsen er øget til 4,7 % af stipladserne i 2030.

### **Forudsætninger**

Der findes endnu ikke afsluttede målinger af metanemissionen fra grisestalde med svovlsyreforsuret gylle. Forsøg ved Aarhus Universitet har vist, at staldforsuret grisegylle lagret i gyllebeholdere (pilot-skala) over 83 dage havde en reduceret metanemission på over 90 % i forhold til lagret kontrolgylle<sup>44</sup>. Det er derfor forventningen, at effekten af forsuring også vil være høj på metanemission fra gyllen i stalden. Aarhus Universitet har sat et konservativt estimat til 70 % mindre metanemission fra gyllen fra både stald og lager, når gyllen staldforsures<sup>17</sup>. Anvendes emissionsfaktoren fra grisegylle på 3,14 kg CH<sub>4</sub>/ton gylle, som er estimeret ud fra den nationale opgørelse<sup>32</sup> vil 'JH Forsuring NH<sub>4</sub><sup>+</sup>' til grisestalde forventeligt reducere metanemissionen fra gyllen med 2,20 kg CH<sub>4</sub>/ton gylle.

<sup>42</sup> Riis, A.L. 2016. Effekt af JH Forsuring NH<sub>4</sub><sup>+</sup> i slagtesvinestalde med drænet gulv. Meddelelse nr. 1078, Videncenter for Svineproduktion.

<sup>43</sup> Holm, M., Jonassen, K. 2018. JH Smellfighters effekt på lugt i to slagtesvinestalde. Meddelelse nr. 1132, SEGES Svineproduktion.

<sup>44</sup> Petersen, S.O., Højberg, O., Poulsen, M., Schwab, C. and Eriksen, J. 2014. Methanogenic community changes, and emissions of methane and other gases, during storage of acidified and untreated pig slurry. J. Appl. Microbiology 117, pp.160-172.

Økologiske griseproducenter må ikke anvende syntetiske syrer i gyllen.

### **Reduktionspotentiale – effekt i forhold til Landbrugsaftalen i forhold til 2030-målet (Territorial) (CO<sub>2</sub>e-effekt)**

Udbredelsen af staldforsuring på 4,7 % af produktionen, svarende til 850.000 ton gylle i 2030, vil give et reduktionspotentiale på 1.870 ton CH<sub>4</sub>, svarende til 52 kt CO<sub>2</sub>e/år. Heraf vil den forøgede udbredelse af staldforsuring fra 2020 til 2030 på 2,2 procentenheder medføre, at 398.000 ton gylle vil blive staldforsuret, hvilket svarer til 24 kt af de 52 kt CO<sub>2</sub>e/år (0,022-0,027 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år)

En 70 % reduktion i metanemissionen ved staldforsuring er et konservativt estimat. Der udføres på nuværende tidspunkt staldmålinger, og målinger på lagerdelen er planlagt.

### **6.2 Hyppig gylleudslusning**

Ved traditionel gyllehåndtering i grisestalde udsluses gylle, når gyllestanden i kummerne når en given højde, samt når stalden tømmes og bliver gjort klar til vask. Typisk udsluses gylle hver 4.-6. uge. Det vil sige, at gyllen opholder sig i stalden i mange dage ved en temperatur på 18-22°C, hvilket giver gode vækstbetingelser for de metanproducerende bakterier. Princippet ved hyppig gylleudslusning er, at gyllen udsluses hyppigere, end det er nødvendigt i forhold til kapaciteten i gyllekummen. Hyppig gylleudslusning svarer til gylleudslusning minimum én gang om ugen. Derved flyttes gyllen fra de varmere staldforhold til det i gennemsnit over året køligere lager.

Hyppig gylleudslusning vil blive implementeret via regulering, idet der 1. maj 2023 blev indført et nyt lovkrav<sup>45</sup> om, at gylle skal udsluses mindst én gang om ugen i alle nye grisestalde samt i alle eksisterende stalde til slagtegrise. Teknologier, der udsluser gyllen hyppigere end hver uge, opfylder kravene til hyppig gylleudslusning, f.eks. gylleforsuringsanlæg og linespilsanlæg.

Langt de fleste grisestalde er i dag etableret med et vakuum-rørudslusningsanlæg. I slagtegrisestaldene skal gyllepropperne således fremover løftes én gang om ugen eller, som det ofte etableres i nye stalde, via et spjæld placeret uden for sektionerne, så gyllen fra alle kummer i sektionen udsluses samtidigt, når spjældet løftes. På nuværende tidspunkt er det ikke lovligt på grund af risiko for svovlbrinte, at dette spjæld udsluser fra flere sektioner på én gang.

Hyppig gylleudslusning bliver i dag anvendt i nogle slagtegrisestalde med fulldrænet gulv som en del af miljøgodkendelsen, idet det er optaget på Miljøstyrelsens Teknologiliste som teknologi til at reducere lugtemissionen fra stalden med 20 %. Det vurderes dog at omfatte et begrænset antal stalde.

### **Forudsætninger**

I Aarhus Universitets virkemiddelkatalog<sup>17</sup> er slagtegrisestaldes emission af metan fra gyllen teoretisk beregnet til en reduktion på 56 %, når gyllen udsluses mindst hver syvende dag. Effekten er beregnet til 56 % fra smågrisestalde og 61 % fra sostalde. Nyere forsøg har dog vist en lavere effekt svarende til henholdsvis 45 %<sup>46</sup> og 50 %<sup>47</sup> fra gyllen i slagtegrisestalde ved hyppig udslusning. Ud fra den teoretiske beregning og de to forsøg vil forventningen være, at der opnås en reduktion på 50 % på metanemissionen fra gyllen, når gyllen udsluses hyppigt.

<sup>45</sup> BEK nr. 443 af 26/04/2023: Bekendtgørelse om godkendelse og tilladelse m.v. af husdyrbrug.

<sup>46</sup> Jørgensen, M. et al. 2022. Gylleudslusning ugentligt samt hver 14. dag i en slagtegrisestald med drænet. Meddelelse nr. 1253, SEGES Innovation.

<sup>47</sup> Hansen, M.J. et al. 2022. Frequent removal of slurry reduces methane emission from pig houses. Zero Emission Agriculture.

I bekendtgørelsen er der indskrevet et mindre krav til udslusningshyppighed, hvis der ikke produceres tilstrækkelig gylle i stalden, til at ugentlig udslusning kan lade sig gøre. I disse stalde skal der udsluses, når der er 10 cm gylle i kummerne, hvilket f.eks. kunne være i nogle so- og smågrisestalde. Det vil dog give en mindre effekt på reduktionen af metanemissionen. I undersøgelsen<sup>48</sup> blev der kun opnået en metanreduktion på 24 %, når gyllen blev udsluset hver 14. dag, dvs. kun den halve effekt i forhold til ugentlig udslusning.

Når den friskere gylle er sluset ud i forbeholder/gylletank, forventes der efterfølgende en relativ højere emission fra gylletanken, da gyllen vil indeholde en større mængde let omsættelige kulstofforbindelser. En del af stald-effekten vil altså blive tabt i lageret. I Aarhus Universitets virkemiddelkatalog<sup>17</sup> vurderes gylletankens emission af metan at blive øget med ca. 0,32 kg CH<sub>4</sub>/ton gylle, når slagtegrisegylle er hyppigt udsluset. Den øgede emission fastsættes derfor til 0,30 kg CH<sub>4</sub>/ton gylle, da effekten i stalden kun forventes at være 50 % metanreduktion. Der er endnu ikke resultater fra forsøg med måling af metanemissionen fra lager med henholdsvis traditionelt udsluset gylle og hyppigt udsluset gylle.

### **Reduktionspotentiale – effekt i forhold til Landbrugsaftalen i forhold til 2030-målet (Territorial) (CO<sub>2</sub>e-effekt)**

I beregningerne anvendes en emissionsfaktor på 3,14 kg CH<sub>4</sub>/ton gylle fordelt med 1,67 kg fra stald og 1,47 kg fra lager.

Ud fra den forventede effekt pr. ton gylle på 50 % af 1,67 kg, dvs. 0,83 kg metanreduktion pr. ton gylle i stalden minus 0,30 kg øget metanemission fra lageret, giver det en mindre metanemission svarende til 0,53 kg eller 15 kg CO<sub>2</sub>e/ton gylle ved hyppig gylleudslusning. Som nævnt vil der være en mindre effekt fra fare- og smågrisestalde, svarende til 7,5 kg CO<sub>2</sub>e/ton gylle, på grund af de forventede lempeligere krav til udslusningshyppighed, og det er samtidig kun i nye stalde, der indføres krav til hyppig gylleudslusning i so- og smågrisestalde.

Det samlede potentiale på grisegylle ved hyppig gylleudslusning er ca. 228 kt CO<sub>2</sub>e/år. Men da det kun er et krav i nye so- og smågrisestalde, vil det reelle potentiale være ca. 147 kt CO<sub>2</sub>e/år i 2030 (0,145-0,150 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år). Det er forudsat, at der bygges 20 % nye so- og smågrisestalde frem mod 2030. Der skal dog fradragges de stalde, der forventes at have gylleforsuring, samt de stalde, der i 2030 forventes etableret med linespilsanlæg. Dermed reduceres potentialet for hyppig udslusning til 120 kt CO<sub>2</sub>e/år i 2030 (0,118-0,123 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år).

Der vil være en væsentlig synergieffekt ved at kombinere hyppig gylleudslusning med enten biogas, lagerforsuring eller fakkelaftbrænding. Derved reduceres metanemissionen fra lageret og dermed også den forøgede emission i lageret, se Tabel 6.1.

<sup>48</sup> Jørgensen, M., Bache, J.K. og Granath, S.W.Y. (2022). Gylleudslusning ugentligt samt hver 14. dag i en slagtegrisestald med drænet gulv. Meddelelse nr. 1253, SEGES Innovation.



Tabel 6.1: Effekt af virkemidler til reduktion af metan i stalde og gødningslagre.

Virkemidler <sup>1</sup>	Reduceret metanemission fra stald og lager <sup>2</sup>	
	%	CO <sub>2</sub> e/ton gylle
Hyppig gylleudslusning (mindst hver 7. dag)	17 %	15 kg
Hyppig gylleudslusning fare- og smågrisestalde (hver 14. dag)	9 %	7,5 kg
Hyppig gylleudslusning + biogas	58 %	51 kg
Hyppig gylleudslusning fare- og smågrisestalde + biogas	44 %	39 kg
Hyppig gylleudslusning + lagerforsuring	51 %	45 kg
Hyppig gylleudslusning + fakkelfabrænding	53 %	47 kg
Hyppig gylleudslusning + kompostfilter	56 %	50 kg

<sup>1</sup> Emissionsfaktor - DCE: 3,14 kg CH<sub>4</sub>/ton gylle.

<sup>2</sup> Teoretisk beregnet estimat, hvor især meremission fra lager fra hyppig udsluset gylle vurderes at være usikker.

Ved at kombinere hyppig gylleudslusning med en af lagerbehandlingerne (40 % biogas, 60 % på forsuring og fakkelfabrænding) er potentialet ca. 790 kt CO<sub>2</sub>e. Reguleres potentialet ned i forhold til forventet 20 % nye so- og smågrisestalde med hyppig udslusning inden 2030, vil det blive ca. 480 kt CO<sub>2</sub>e. Det kræver dog, at alle behandler gyllen i lageret, hvilket gælder for leverandører til biogas (40 %), men evt. kun 80-90 % af de øvrige griseproducenter. Ligeledes vil der blive givet enkelte dispensationer til hyppig udslusning. Derfor bør potentialet være 90 % af 480 kt = 432 kt CO<sub>2</sub>e inden 2030. Det vil sige hyppig gylleudslusning kombineret med biogas, lagerforsuring eller fakkelfabrænding hos 90 % af de producenter, der ifølge lovkravet skal foretage hyppig gylleudslusning. Yderligere skal potentialet reguleres i forhold til de stalde, der anvender staldforsuring, som blev estimeret til 4,7 %, hvilket regulerer potentialet på 432 kt CO<sub>2</sub>e til 412 kt CO<sub>2</sub>e/år. Cirka to tredjedele af effekten kommer fra biogas eller efterbehandlingen af gyllen i lageret. Det vil medføre, at der bør lægges væsentlig større vægt på at få implementeret teknologier til at reducere metanemissionen fra lageret.

### 6.3 Linespilsanlæg

Linespilsanlæg fungerer ved, at en wire trækker en skraber i gyllekanalen, så gyllen trækkes hen til en ned-sænket tværkanal, hvorfra gyllen ledes til en fortank. Skraberens slutter typisk ikke helt tæt til bunden, da ujævnheder i betonen ellers vil slide på skraberens samt belaste linespilsanlæggets skovl, hjørnehjul og wire unødigt. Linespilsanlægget kan indstilles til at køre dagligt eller med få dages mellemrum.

En del drægtighedsstalde er allerede i dag indrettet med linespilsanlæg, mens det gælder ganske få af de øvrige grisestalde. Det forventes, at mange nye farestalde med løsgående diegivende søer samt en andel af nye slagtegrisestalde vil blive opført med linespilsanlæg. En begrundelse er, at man i disse stalde ønsker et større forbrug af halmstrøelse, dels som redebygning, dels på grund af produktion med hele haler. Halm kan dog give problemer med udslusning via det traditionelle rørudslusningssystem.

Lugtemissionen fra stalden forventes at blive reduceret med linespilsanlæg, når gyllen dagligt skrubes ud af stalden. Der er udført to afprøvninger på slagtegrisestalde, hvor linespilsanlæg er målt op imod rørudslusning. Her er der vist en ca. 40 % mindre lugtemission fra sektionerne med linespilsanlæg<sup>49</sup>. I afprøvningerne blev ammoniakemissionen ligeledes målt. Her viste den ene stald en reduktion i ammoniakemission i sektionen med linespil, mens den anden stald viste en stigning. Formodningen er, at kanalopbygningen i stalden har betydning for emissionen. Afprøvningen gentages derfor, med det formål, at linespilsanlæg kan blive optaget på Miljøstyrelsens Teknologiliste med effekt på lugt og evt. ammoniak.

<sup>49</sup> Holm, M. og Grønberg, S. 2021. Afp. 1606 - Linespilsanlæg i slagtegrisestalde. Endnu ikke publicerede resultater, SEGES Svineproduktion.

## Forudsætninger

I de to afprøvninger med linespilsanlæg i slagtegrisestalde<sup>17</sup> blev metanemissionen ligeledes målt. Metanemissionen måles fra staldsektionerne og består derfor af den enteriske metan og metanproduktionen i gyllen. Den enteriske metan fratrækkes derfor ud fra en teoretisk beregning, hvor en lille andel af foderets bruttoenergi omsættes til metan i grisenes tyktarm. Derefter udregnes gyllens metanemission, og ud fra dette blev metanreduktionen ved linespilsanlæg beregnet til i gennemsnit ca. 90 % i ovennævnte to afprøvninger. Ligeledes er der i tre drægtighedsstalde med linespilsanlæg målt 90 % mindre metanemission fra gyllen i forhold til tre drægtighedsstalde, hvor gyllen blev udsluset via rørudslusningsanlæg<sup>50</sup>. Aarhus Universitet har leveret et rådgivningsnotat<sup>51</sup>, hvor de modelberegner effekten af linespil sammenlignet med standard rørudslusning. Her finder de mindre metanemission fra gyllen på 85-91 %. Forventningen vil derfor være, at der opnås 90 % mindre metanemission fra gyllen, når der anvendes linespilsanlæg.

Når den friske gylle er sluset ud i fortanken/gylletanken, forventes der efterfølgende en relativ højere emission fra gylletanken, da gyllen vil indeholde en større mængde let omsættelige kulstofforbindelser. En del af stald-effekten vil altså tabes i lageret. I Aarhus Universitets rådgivningsnotat<sup>51</sup> beregnes en øget metanemission fra lageret på 0,5-0,6 kg CH<sub>4</sub>/ton gylle. Der er endnu ikke foretaget målinger på denne meremission mhp. kvantificering. Både økologiske og konventionelle griseproducenter kan anvende linespil.

## Reduktionspotentiale – effekt i forhold til Landbrugsaftalen i forhold til 2030-målet (Territorial) (CO<sub>2</sub>e-effekt)

I beregningerne anvendes en emissionsfaktor på 3,14 kg CH<sub>4</sub>/ton gylle fordelt med 1,67 kg fra stald og 1,47 kg fra lager.

Ud fra den forventede reduktion i metanemissionen pr. ton gylle i stalden på 90 % af 1,65 kg giver det en reduktion i metanemissionen på 1,50 kg fra stalden. Denne værdi skal fratrækkes 0,55 kg ekstra metanemission fra lageret. I alt giver det en mindre metanemission på 0,95 kg svarende til 27 kg CO<sub>2</sub>e/ton gylle.

Antal løbe-/drægtighedsstalde med linespilsanlæg er ikke kendt, men det antages, at ca. 50 % af stipladserne i dag er med linespil i staldene med løsgående søer (62 % af stipladserne, hvilket er undtaget dybstrøelsesstier). I fremtidige løbe-/drægtighedsstalde forventes størstedelen at blive etableret med linespil, da det er usikkert, om rørudslusning i løbe-/drægtighedsstalde kan fungere ved ugentlig udslusning. I 2030 forventes derfor, at ca. 2,0 mio. ton gylle/år udmuges med linespil fra løbe-/drægtighedsstalde (50 % af stipladserne). Derved vil linespilsanlæg forventeligt reducere metanemissionen fra løbe-/drægtighedsstalde med 54 kt CO<sub>2</sub>e.

Den nuværende udbredelse af linespilsanlæg i fare- og slagtegrisestalde er meget lille. Forventningen er, at 80 % af nye farestalde til løsgående søer og 50 % af nye slagtegrisestalde vil blive etableret med linespilsanlæg. Derved vil der forventeligt blive etableret 32.000 farestier og 300.000 stipladser til slagtegrise med linespilsanlæg inden 2030 svarende til henholdsvis 225.000 og 650.000 ton gylle, hvilket vil reducere metanemissionen med 24 kt CO<sub>2</sub>e/år.

Effekt af løbedrægtighedsstalde på 0,054 mio. ton CO<sub>2</sub>e og 24 kt CO<sub>2</sub>e giver en samlet effekt på ca. 0,078 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år (0,075-0,080 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år).

<sup>50</sup> Holm, M. og Sørensen, K.B. 2019. Ammoniak- og metanemission fra drægtighedsstalde. Erfaring nr. 1910, SEGES Svineproduktion.

<sup>51</sup> Dalby, F. R., Kai, P. og Adamsen, A. P. 2022. Fastsættelse af klimaeffekt for daglig udslusning for slagtesvin og søer, hvor der muges ud med linespil. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitets.

Der vil være en væsentlig synergieffekt ved at kombinere linespil anlæg med enten biogas, lagerforsuring eller fakkelafløbning. Derved reduceres lagerets emission og dermed også den forøgede emission i lageret på grund af det større indhold af kulstofforbindelser i den dagligt udslusede gylle, se Tabel 6.2.

Tabel 6.2: Effekt af virkemidler i kombination til reduktion af metan i stalde og gødningslagre.

Virkemidler <sup>1</sup>	Reduceret metanemission fra stalde og lagre <sup>2</sup>	
	%	CO <sub>2</sub> e/ton gylle
Linespil (daglig udtræk af gylle)	30 %	27 kg
Linespil + biogas	79 %	69 kg
Linespil + lagerforsuring	69 %	61 kg
Linespil + fakkelafløbning	72 %	63 kg
Linespil + kompostfilter	75 %	66 kg

<sup>1</sup> Emissionsfaktor - DCE: 3,14 kg CH<sub>4</sub>/ton gylle.

<sup>2</sup> Teoretisk beregnet estimat, hvor især meremissionen fra lagre fra dagligt udsluset gylle vurderes at være usikker.

Det fremgår af Tabel 6.2, at hvis linespil kombineres med enten biogas, lagerforsuring eller fakkelafløbning, vil der potentielt opnås en reduktion på 187 kt CO<sub>2</sub>e. I beregningen er forudsat, at 2,88 mio. tons gylle eller ca. 16 % af gyllen udsluses med linespil i 2030. Denne gyllemængde skal fratrækkes i gyllemængden i forbindelse med og beregningen for hyppig gylleudslusning i 2030.

#### 6.4 Gyllekøling

Gyllekøling er en teknologi, der oprindeligt er udviklet til at bidrage med varme til stalddrum, beboelse samt andre bygninger på ejendommen. Det er en billig energikilde, hvor opsamlet varme i køleslanger i gyllekummers betonbund overføres til centralvarmeanlæg via en varmepumpe. 1 kWh el konverteres derved til 3,5-4 kWh varme. Samtidig sænkes staldgyllens temperatur, hvilket medfører, at fordampningen af ammoniak og dannelsen af lugtstoffer fra gyllen reduceres. Gyllekøling er derfor en godkendt teknologi på Miljøstyrelsens Teknologiliste til reduktion af ammoniak og lugt<sup>29</sup>.

Gyllekøling bliver anvendt i mange grisestalde i forbindelse med miljøgodkendelser til udvidelse eller nybyggeri. Reduktionseffekten afhænger af kølingsgraden i gyllekummen (W/m<sup>2</sup>). I forbindelse med miljøgodkendelser vil al den genererede varme typisk ikke kunne anvendes på ejendommen, og det er derfor nødvendigt at afsætte varmen via en udendørs frikøler (kalorifere). Dette er specielt i sommerhalvåret i sohold samt i vinterhalvåret på ejendomme med slagtegrise med et lille varmebehov. Sostalde har et noget højere varmebehov til fare- og smågrisestalde.

Klimadan A/S er den største leverandør af gyllekølingsanlæg. De har i alt installeret mere end 1.000 gyllekølingsanlæg, om end nogle af disse er installeret i små stalde/få sektioner, som mest er til egen varmeforsyning, og som sandsynligvis ikke indgår i en miljøgodkendelse. Deres vurdering er, at der siden 2014 er installeret gyllekølingsanlæg i næsten alle nye sostalde inkl. smågrisestalde, mens der kun er blevet installeret i ca. 50 % af slagtegrisestaldene.

Firmaet Conterra har foretaget en analyse for Miljøministeriet<sup>52</sup>. Her gennemgik man 379 miljøgodkendelser, hvor der var ansøgt om gyllekøling, hvilket udgjorde:

- 10,2 % af søerne = ca. 100.000 søer
- 5,1 % af smågrisepladserne = ca. 260.000 smågrisepladser
- 4,4 % af slagtegrisepladserne = ca. 210.000 stipladser.

<sup>52</sup> Nehmdal, H. 2022. Dokumentation af udbredelse- og aktivitetsdata af gyllekøling i Danmark. ConTerra rapport til Miljøministeriet.

Den gennemsnitlige køling blev i rapporten fastsat til 16,8 W/m<sup>2</sup>.

### Forudsætninger

Nedkøling af staldens gylle vil reducere den mikrobielle aktivitet og dermed også dannelsen af metan<sup>53</sup>. Det er i en undersøgelse fundet, at konstant køling med 26 W/m<sup>2</sup> medførte 4,5°C lavere temperatur i gyllen umiddelbart over betonbunden og 2,4°C i gyllen 10 cm over bunden i forhold til gylletemperaturen i en sektion uden gyllekøling<sup>54</sup>. Gylledybden var i gennemsnit 19-20 cm. Ud fra dette kan udledes et temperaturfald midt i gyllen på 1°C pr. 10 W/m<sup>2</sup>. Ud fra dette og beregningsformel i DCE-rapport nr. 197 vil gyllekøling med 16,8 W/m<sup>2</sup> reducere metanemissionen fra gyllen med 16-17 %<sup>53</sup>.

I et forsøg gennemført af SEGES Innovation blev vekselvirkningen imellem gyllekøling og punktudsugning undersøgt. Her blev der kølet med 20 W/m<sup>2</sup> i det ene staldrum og ingen køling i det andet. Her var der 23 % mindre metanemission fra gyllen i stalden med køling. Resultatet var dog ikke signifikant (P=0,1). Forventningen er derfor, at metanemissionen fra gyllen reduceres med 1 % pr. W/m<sup>2</sup>, der køles.

Når den friske gylle er sluset ud i forbeholder/gylletank, forventes der efterfølgende en relativ højere metanemission fra gylletanken, da gyllen vil indeholde en større mængde let omsættelige kulstofforbindelser. En del af staldeffekten vil altså tabes i lageret. I Aarhus Universitets virkemiddelkatalog<sup>17</sup> vurderes lagerets metanemission at stige med ca. 30 % af den reducerede emission fra stalden.

Både konventionelle og økologiske griseproducenter kan i princippet anvende gyllekøling, såfremt staldsystemerne giver mulighed for det.

### Reduktionspotentiale – effekt i forhold til Landbrugsaftalen i forhold til 2030-målet (Territorial) (CO<sub>2</sub>e-effekt)

I beregningerne anvendes en emissionsfaktor på 3,14 kg CH<sub>4</sub>/ton gylle, fordelt på 1,67 kg fra stalden og 1,47 kg fra lageret. Ud fra den forventede effekt pr. ton gylle i stalden ved køling med 16,8 W/m<sup>2</sup> svarer det til 16,8 % af 1,67 kg. Det svarer til en reduktion i metanemissionen på 0,28 kg fra stalden minus 0,08 kg øget metanemission fra lageret. Det giver 0,20 kg mindre metanemission svarende til 5,6 kg CO<sub>2</sub>e/ton gylle.

Forventningen er, at de fremtidige stalde typisk vil blive etableret med en højere kølingseffekt i so- og smågrise-stalde og en lavere kølingseffekt i slagtegrise-stalde. Fremskrivningen baseres på en udskiftning af 20 % af stipladserne inden 2030. Herved forventes gyllekøling etableret i 30 % af so-pladserne, 25 % af smågrise-pladserne samt 15 % af slagtegrise-pladserne i 2030, hvilket vil udgøre 4,0 mio. ton gylle. Derved vil gyllekøling bidrage med lavere metanemission svarende til 22 kt CO<sub>2</sub>e. Dog vil der i mange af stalderne samtidig blive foretaget hyppig gylleudslusning, hvilket forventeligt vil reducere metanemissionen fra stalden yderligere. Der vil nemlig potentielt kunne opnås en synergieffekt imellem gyllekøling og hyppig gylleudslusning, da køleeffekten er større tæt ved betonbunden. Effekten undersøges på nuværende tidspunkt i et forsøg, hvor der gyllekøles i en stald med henholdsvis traditionel udslusning i én sektion og hyppig udslusning i én anden sektion. Gyllekøling vil ikke have nævneværdig effekt på metanemissionen i stalde med linespilsanlæg, da metanemissionen fra gyllen i forvejen er meget lav, når der anvendes linespil, og gyllekøling vil kun sjældent blive anvendt i kombination med gylleforsuring. Derved vil den større udbredelse af gyllekøling i 2030 i forhold til udbredelsen i 2020 medføre yderligere 16 kt CO<sub>2</sub>e reduktion (0,015-0,017 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år).

<sup>53</sup> Mikkelsen, M.H., Albrechtsen, R. og Gyldenkærne, S. 2016. Biogasproduktions konsekvenser for drivhusgasudledning i landbruget. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. Rapport nr. 197.

<sup>54</sup> Holm, M., Sørensen, K.B. og Nielsen, M.B.F. 2017. Ammoniak- og lugtreduktion ved gyllekøling i slagtesvinestalde. Meddelelse nr. 1105, Videncenter for Svineproduktion.

Der vil også være en synergieffekt ved at kombinere gyllekøling med enten biogas, lagerforsuring eller fakkelfabring. Derved reduceres lagerets metanemission og dermed også den forøgede metanemission i lageret på grund af det større indhold af kulstofforbindelser i den gyllekølede gylle, se Tabel 6.3.

Tabel 6.3: Effekt af kombineret af virkemidler til reduktion af metanemissionen i grisestalde og gødningslagre.

Virkemidler <sup>1</sup>	Reduceret metanemission fra stald og lager <sup>2</sup>	
	%	CO <sub>2</sub> e/ton gylle
Gyllekøling (16,8 W/m <sup>2</sup> )	7 %	5,6 kg
Gyllekøling + biogas	41 %	36 kg
Gyllekøling + lagerforsuring	36 %	32 kg
Gyllekøling + fakkelfabring	38 %	33 kg
Gyllekøling + kompostfilter	41 %	36 kg

<sup>1</sup> Emissionsfaktor - DCE: 3,14 kg CH<sub>4</sub>/ton gylle.

<sup>2</sup> Teoretisk beregnet estimat, hvor især meremissionen fra lager fra afkølet gylle vurderes at være usikker.

### **6.5 Klimaoptimeret foder og udvikling i produktivitet**

I de fleste tilfælde ses på klimaoptimeret foder i relation til reduceret klimabelastning pr. kg produkt – og her er valg af fodermidler og blandingens sammensætning en vigtig parameter. Men i forbindelse med det territoriale klimaaftryk indregnes effekten af de enkelte fodermidlers klimaaftryk "ind til krybben ikke" – denne effekt indgår i virkemidlerne brugt i planteavl, som udtagning af lavbundslande og nitrifikationshæmmere mm. Import af fodermidler med højt klimaaftryk er uden betydning i det territoriale klimaaftryk, hvorfor ændring af foderblandingers klimaaftryk "ind til krybben" ikke kan indregnes som et virkemiddel.

I relation til det territoriale klimaaftryk er det foderets effekt på metanproduktionen i grisen (enterisk metan) og i gyllen, som kan medregnes herunder fodersammensætningens effekt på gødningens indhold af kvælstof, især ammonium.

#### *Foderets effekt på metanproduktion*

Foderet kan have en effekt på den enteriske metanproduktion, som kommer fra den del af foderet, som fermenteres i grisenes tyktarm. Et fodermiddel som roepiller, har den egenskab, at grisenes egne enzymer kun kan nedbryde en lille del af kulhydraterne, men disse er til gengæld letnedbrydelige for mikroorganismene i tyktarmen. Det er i flere forsøg påvist, at anvendelse af roepiller øger den enteriske metanproduktion betydeligt. Generelt gælder det, at den enteriske metanproduktion følger foderets indhold af fermenterbare kulhydrater, dvs. den andel af de fordøjede kulhydrater, som fermenteres af mikroflora i blind- og tyktarm. Generelt er der stor usikkerhed om, hvor meget enterisk metan, der produceres, i forbindelse med det foder grisene typisk tildeles. I det følgende ses på, hvor meget det vil kunne reduceres, og det skal selvfølgelig sættes i forhold til usikkerheden i det grundlag, der er brugt som udgangspunkt. Der vil formentlig komme bedre bud i nær fremtid, som kan estimere udgangspunktet ved en typisk foderblanding bedre.

Foderet har også en effekt på metanproduktionen i gyllen. Her er det foderets indhold af ufordøjeligt, organisk stof, som bestemmer metanpotentialet (og biogaspotentialet). Hvorvidt, det er en fordel eller en ulempe afhænger af, om gyllen fjernes hurtigt og køres til biogas – eller om gyllens indhold af ufordøjeligt tørstof omsættes i gyllekanaler og -tanke. Overordnet set vil mindre organisk stof i gyllen mindske klimaaftrykket – medmindre det betyder, at blot en lille andel køres til biogas, fordi biogaspotentialet bliver for begrænset.

Det er muligt at lave fodersammensætninger, som har effekt på såvel enterisk metanproduktion, som på metanpotentialet i gyllen. I praksis er langt hovedparten af grisefoderet sammensat af byg, hvede, rug, soja- og solsikkekrå, og det er ikke realistisk at lave foderændringer, som mindsker den enteriske metanproduktion eller gyllens indhold af organisk tørstof, da det normale foder allerede medfører en lav emission af metan.

Desuden vil eventuelle tiltag til at mindske foderets klimaaftryk i produktregnskabet (LCA-tilgang) medføre øget brug af hestebønner og rapsprodukter, som faktisk risikerer marginalt at øge den enteriske metanproduktion og nok især øge gyllens metanpotentiale. Øget brug af hestebønner og rapsprodukter vil sænke foderets fordøjelighed og øge gødningens indhold af organisk stof.

Overordnet set er foderets sammensætning derfor ikke en realistisk metode til at sænke metan fra griseproduktionen. Det vil ikke være muligt at opstille en målsætning uden at komme i alvorlig konflikt med ønsket om at minimere klimaaftrykket pr. kg grisekød i LCA-tilgangen.

#### *Fodereffektivitet*

Fodereffektiviteten i form af foderforbrug pr. kg tilvækst har betydning for såvel den enteriske metanproduktion og for metanpotentialet fra gyllen. Det antages, at metanproduktionen er ligefrem proportional med foderforbruget, og at en forbedring af foderudnyttelsen på 10 % også vil medføre ca. 10 % lavere enterisk metanproduktion og ligeså 10 % mindre metanpotentiale i gyllen. I forbindelse med normtal for husdyrgødning er det besluttet at bruge fremskrivning af produktionseffektivitet ud fra de sidste 10 år til at forudsige næste års fodereffektivitet – denne lineære sammenhæng må også formodes at være bedste bud på fodereffektiviteten i 2030.

Tabel 6.4. Foderforbruget for vækstgrise i henholdsvis 2020 vs. 2030

	2020	2030
Smågrise, FEsv/kg tilvækst	1,83	1,70
Slagtegrise, FEsv/kg tilvækst	2,69	2,43

Det forventes, at smågrisene over tid kan nå denne udvikling, da det svarer til resultaterne hos de 25 % bedste producenter i dag, og da grise i forsøg ved SEGES Innovation faktisk normalt har et endnu lavere foderforbrug. I 2021 havde de 25 % bedste slagtegriseproducenter en foderudnyttelse på 2,53 FEsv/kg tilvækst i intervallet 30-115 kg, og dette svarer til det opnåede niveau i de seneste forsøg med slagtegrise i 2022.

I det følgende antages 1,70 og 2,55 FEsv/kg tilvækst for små- og slagtegrise i 2030, og at søerne har et uændret foderforbrug på 1.515 FEso/årsso, selv om grise pr. årsso stiger moderat. Det svarer til 7 % lavere foderforbrug til smågrise og 6 % lavere foderforbrug til slagtegrise. For søer antages, at der fravænnnes 36,8 grise/årsso ligesom de 25 % bedste i 2021.

#### *Foderets effekt på gyllens indhold af ammonium*

Reduktion af foderets proteinindhold ved øget brug af frie aminosyrer er indført i alle grisefoderblandinger undtagen i økologiske blandinger, hvor der ikke må anvendes frie aminosyrer. Denne foderændring har reduceret indholdet af ammonium i gyllen markant. Spørgsmålet er i denne forbindelse, hvor meget længere det er muligt at komme inden 2030.

Reduceret indhold af ammonium i gyllen virker fordi:

1. Reduceret indhold af ammonium giver en lavere ammoniakfordampning fra stalden og fra udbringningen samt en mindre del fra lager. Det betyder mindre ammoniaknedfald på marker og naturområder, hvoraf en lille del kan omdannes til lattergas.
2. Reduceret indhold af ammonium i gyllen betyder, at kvælstof fra gylle erstattes af handelsgødning, som i gennemsnit har et lavere potentiale for dannelse af lattergas, da en del af kvælstoffet ikke er ammonium. Effekten af reduceret indhold i gyllen vil dog afhænge af, om der bruges nitrifikationshæmmere i husdyrgødningen – og om det samme er tilfældet for handelsgødning med indhold af ammonium.

Reduceret indhold af protein i foderet og dermed reduceret indhold af ammonium i gødningen er et virkemiddel, som virker både på det territoriale klimaaftryk og i LCA-modellen, da proteinfodermidler generelt har et højere klimaaftryk end korn i LCA-tilgangen.

Reduceret indhold af protein er derfor et relevant tiltag, men det er svært at estimere potentialet for yderligere reduktion i foderets indhold, når der samtidig er genetiske fremskridt i foderudnyttelse, som kræver et højere indhold af protein i foderet, medmindre aminosyreindholdet kan opjusteres ved samme proteinniveau.

Denne problematik er forsøgt løst med den frivillige aftale for ammoniakreduktion fra slagtegrise fra 2020, hvor ambitionen er en reduktion på 8 % i gyllens indhold af ammonium pr. kg tilvækst, som er målet indtil 2024, da det forventes at give en tilsvarende reduktion i ammoniakfordampningen pr. kg tilvækst. I denne aftale forventes effekten på ammoniakfordampningen at opnås ved at undgå at hæve proteinindholdet i takt med den forbedrede foderudnyttelse, hvorved ammoniakfordampningen pr. kg tilvækst kan reduceres 8 % i forhold til 2019.

Det vurderes, at det er vanskeligt at komme længere end ca. 10 % reduktion i ammoniakfordampningen uden økonomiske tab. Til gengæld er det sandsynligt, at der kan opnås samme fremskridt for smågrise og søer, hvorved det vil være realistisk, at lattergasbidraget (via ammoniak fra grise-gødning) vil blive reduceret 10 %/kg produceret grisekød i 2030 sammenlignet med i 2020. Disse 10 % fra foderet kommer før andre teknologiske virkemidler som luftrensning, forsuring eller anvendelse af nitrifikationshæmmere. Der bliver med andre ord på grund af reduceret proteinforbrug, ca. 10 % mindre lattergas ud fra ammoniak, men betydningen kvantitativt afhænger af anvendelse af øvrig miljøteknik. Man kan sige, at potentialet i andre tiltag også reduceres 10 %, når der er 10 % mindre at virke på. Forudsætninger for at reducere ammoniakbidraget med 10 % er vist i næste afsnit.

### **Forudsætninger**

Det giver ikke mening at adskille effekt af fodersammensætning fra effekt af udvikling i produktivitet, da der er et tæt sammenspil mellem ændringer i foderforbrug og tilpasning af foderet til den nye effektivitet.

I de følgende beregninger antages, at der produceres uændret antal slagte- og smågrise fra 2020 til 2030, men at foderforbruget forbedres, og at protein/foderforbrugskombinationen sikrer, at der produceres 10 % mindre ammoniak i gyllen, og at en 6-7 % reduktion i foderforbruget giver en tilsvarende reduktion i den enteriske metanproduktion og i metanpotentialet i grise-gyllen.

Tabel 6.5: Forudsætninger omkring produktivitet.

År	2020	2030
Antal årssøer	1.000.000	910.500
Fravænnede grise pr. årssø	33,9	36,8
Grise á 31 kg pr. årssø	32,5	35,7
Smågrise á 31 kg, i alt	32.500.000	32.500.000
Eksport smågrise á 31 kg	15.000.000	15.000.000
Eksport af polte, 118 kg*	500.000	500.000
Producerede slagtegrise og polte til 118 kg i DK (heraf DK-polte)	17.000.000 (0,6 mio.) *	17.000.000 (0,6 mio.)
Grise á 118 kg i alt	17.500.000.	17.500.000
FEsv pr. årssø	1515	1515
FEsv pr. kg tilvækst, smågrise 31 kg	1,83	1,70
FEsv pr. kg tilvækst. Slagtegrise og polte (gns vægt 118 kg)	2,71	2,55
FEso i alt	1.515 mio. FEso	1.379 mio. FEso
FEsv smågrise i alt	1.445 mio. FEsv	1.342 mio. FEsv
FEsv slagtegrise i alt	3.984 mio. FEsv	3.749 mio. FEsv
FEsv i alt	6944	6470
FEsv relativ	100	93,2

\* Vægten på eksporterede polte er sandsynligvis mindre – men i forhold til usikkerheder og forenkling af beregninger bruges samme vægt som for slagtegrise.

Med forudsætningerne i Tabel 6.5, hvor produktiviteten i 2030 svarer til de 25 % mest effektive i 2021, vil antallet af søer reduceres med ca. 9 %, og der kan stadigvæk produceres samme antal smågrise á 31 kg og samme antal slagtegrise á 118 kg. Samlet set reduceres foderforbruget til samme griseproduktion med 6,8 %, og ved nogenlunde uændret fodersammensætning vil foderets fordøjelighed – og andel, der fermenteres i tyktarm – som bedste bud være uændret. Det må derfor antages, at den enteriske metanproduktion vil falde med 6,8 %, ligesom potentialet for metantab fra gylle i stald og lager også vil falde med 6,8 %. Da alle tal er usikre, rundes dette bud op til 7 %.

Metanemissionen fra stalde og lager vil dog falde betydeligt mere på grund af tiltag som hyppig gylleudslusning og biogas samt andre teknikker til reduktion af metanemissionen, hvilket bliver behandlet i andre afsnit.

Det vurderes altså muligt at reducere ammoniaktabet pr. kg tilvækst for små- og slagtegrise med ca. 10 %. Der vil være mindst samme reduktion for soholdet, da antallet af søer er forudsat at falde med 9 %, og der forventes et fald i det gennemsnitlige proteinindhold i sofoderet, fordi proteinindholdet sænkes lidt i drægtighedsperioden.

I Tabel 6.6 er vist en sandsynlig kombination af foderforbrug og proteinindhold, som vil sænke Urin-N og dermed ammoniumindholdet i gylle fra små- og slagtegrise med 10 %.



Tabel 6.6: Beregning af TAN-N (total ammoniakalsk N) pr. kg tilvækst i 2020 og 2030 for små- og slagtegrise. TAN-N pr. kg tilvækst er ligefrem proportionalt med ammoniakfordampningen fra stald og lager og sandsynligvis også fra ammoniaktab ved udbringning.

	Smågrise		Slagtegrise	
	2020 <sup>1</sup>	2030	2020 <sup>1</sup>	2030
Råprotein, g/FEsv	164,2	171,2	146,5	148,5
Foderforbrug, FEsv/kg tilvækst	1,83	1,70	2,71	2,55
N i foder, g/kg tilvækst <sup>2</sup>	48,1	46,6	63,5	60,6
Fækal fordøjelighed	84	84,5	81,0	81,2
Fordøjet N, g/kg tilvækst	40,4	39,4	51,5	49,2
Aflejret grise N, g/kg tilvækst	30,4	30,4	29,60	29,6
TAN-N (Urin-N), g/kg tilvækst	10,0	8,95	21,85	19,60
% af 2020		89,5		89,7

<sup>1</sup> Fra 2021/22 normalt for husdyrgødning, som bruger foderets proteinindhold i 2020.

<sup>2</sup> Råprotein, g/kg FEsv /6,25 × FEsv pr/kg tilvækst.

Tabel 6.7: Bud på Urin-N = ammonium N pr. årssø i 2020 og 2030.

	Pr. årssø	
	2020*	2030
Råprotein, g/FEsv	131,8	128*
Foderforbrug, FEso/årssø	1515	1515
Grise pr. årssø á 6,7 kg	33,9	36,8
N i foder, kg/årssø*	31,95	31,03
Fækal fordøjelighed	80	79,8
Fordøjet N, kg/årssø	25,56	24,76
Aflejret grise N, g/kg gris	25,7	
Aflejret N i soens tilvækst	1,98	1,98
Aflejret i so og grise	7,82	8,32
TAN-N (Urin-N), kg/årssø	17,74	16,44
% af 2020		92,7

\* Opnåeligt ved simpelt to-fasefodring og gældende normer, jævnfør notat nr. 2003 fra 2020.

Det skønnes således, at antallet af søer falder 9 %, og at Urin-N-produktionen fra en årssø falder ca. 7 %. Den samlede effekt er 15 % mindre ammonium-N i gyllen fra søerne i Danmark. Der vil næppe være behov for opjustering af proteinnormer til diegivende søer, men det kan ikke helt udelukkes. Det er også muligt, at igangværende forsøg vil vise, at drægtige søer kan nøjes med lidt mindre protein end de nuværende normer.

Der er dog usikkerhed ved alle tre dyregrupper, og det anbefales at regne med, at ammonium-N i svinegylle vil falde ca. 10 %, hvis der produceres samme antal grise af samme vægt fra ca. 9 % færre søer i 2030.

Effekten af foder og produktivitet på ammoniakfordampning og ammoniak i husdyrgødning i relation til lattergas er meget afhængig af den anvendte teknologi til reduktion af ammoniakfordampning fra stald, lager og udbringning samt af anvendelsen af nitrifikationshæmmere i den udbragte grisegylle.

## Reduktionspotentiale – effekt i forhold til Landbrugsaftalen i forhold til 2030-målet (Territorial) (CO<sub>2</sub>e-effekt)

Der kan gives et skøn og et overslag over metanproduktion i 2020 og i 2030 ud fra foderforbruget og antagelser omkring, hvor stor en andel af tørstof, som kan omsættes til metan, dels i form af enterisk metan og dels i form af metanpotentiale fra gylle uden metanreducerende teknik. Andre afsnit behandler teknologier til mindre metanemission fra gylle i stald og lager.

### Enterisk metan fra griseproduktionen

I Landbrugsaftalen antages således, at 0,6 % af bruttoenergien bliver til enterisk metan, og sandsynligvis sådan, at bruttoenergiindholdet i metan udgør 0,6 % af bruttoenergiindholdet i foderet. Foderets bruttoenergiindhold er ikke et oplyst tal for grisefoder, men det kan skønnes til ca. 18,5 MJ/kg TS.

Tabel 6.8: Den samlede mængde beregnet bruttoenergi i foderet fra danske grise.

	2020	2030
Søer, mio. MJ	23.331	21.237
Smågrise, mio. MJ	21.386	19.862
Slagtegrise, mio. MJ	61.353	57.735
I alt i foderet, mio. MJ	106.070	98.834

Med udgangspunkt i forudsætningerne fra aftalen, det vil sige, at 0,6 % af bruttoenergi ender som metan, og metan indeholder 55,65 MJ/kg, kan produktionen af enterisk metan i mio. kg i alt beregnes til 0,320 mio. ton CO<sub>2</sub>e i 2020 og 0,298 mio. ton CO<sub>2</sub>e i 2030. Det betyder, at den forventede udvikling i produktivitet og griseproduktion vil medføre en reduktion på 0,022 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år fra enterisk metan fra grise.

Disse tal skal ses i sammenhæng med, at der samlet set er beregnet en emission på 4,61 mio. ton CO<sub>2</sub>e fra enterisk metan i 2020 – og denne beregning viser således, at grisenes andel heraf er ca. 7 %.

Foreløbige estimater tyder på, at antagelsen om, at 0,6 % af bruttoenergi tabes som enterisk metan er overvurderet. Det er derfor måske mere sandsynligt, at enterisk metan fra grisesektoren udgør ca. 5 % af den samlede enteriske metanproduktion, og at drøvtyggede står så tæt på 95 % af den enteriske metanproduktion. Reduktion på 7 % af grisesektorens 5-7 % andel af den nationale enteriske metanproduktion indtil 2030 vil betyde 0,35-0,49 % reduktion af den samlede enteriske metanproduktion fra husdyr i Danmark på grund af mindre foder til grisesektoren.

### Metanpotentiale fra gylle

I den seneste DCE-rapport beregnes emissionspotentialet ud fra ton gylle, nemlig som 3,14 kg CH<sub>4</sub> fordelt på 1,67 fra stald og 1,47 kg fra lager – og dette er koblet sammen med en gylleproduktion på 18,1 mio. tons fra griseproduktionen.

I den følgende beregning antages det, at metanpotentialet kan beregnes ud fra ton gylle i normtal for husdyrgødning gange et gennemsnitligt emissionspotentiale for ubehandlet gylle. Det er uklart, hvilke mængder af gylle fra smågrise, søer og slagtegrise, der er brugt i den nationale beregning. I normtal for husdyrgødning er der indledende en beregning af tørstof i fæces og urin med faste fordøjeligheder for tørstof (81 % søer, 85 %

smågrise og 83 % for slagtegrise), en bestemt urinproduktion pr. kg tørstof (2,5 L for søer og 2 L for smågrise og slagtegrise). Herved kan der beregnes en tørstofmængde i fæces og urin<sup>55</sup>.

Herefter tillægges evt. tørstof fra halm i systemer med strøelse, og der antages som standard et tab af tørstof på 10 % i stalden og 5 % i lageret. Herved fås den mængde tørstof, der skal gøres rede for - og gyllemængden beregnes i nogle tilfælde "baglæns" ud fra en vedtaget tørstofprocent som (kg tørstof i gødning + urin) / vedtaget tørstofprocent i gylle. I andre tilfælde regnes der "forlæns" ud fra tørstof i fæces, urin og strøelse.

Generelt er der betydelig usikkerhed i forhold til om gyllemængderne passer, da fortyndingen er meget varierende mellem besætninger. Det kan være svært at kontrollere indholdet af tørstof på grund af tab af ammoniak og organiske syrer under tørstofbestemmelsen. Overordnet gælder, at normtal er ret præcise på kvælstof og fosfor, mens tørstof er meget mere usikkert, fordi den ikke har reguleringsmæssig betydning. Kombineres antal dyr fra Tabel 6.5 med de publicerede normtal for gyllemængder af dyr og ab lager for gødningsåret 2020/21, var der i 2020 15,8 mio. tons ab dyr og 20,3 mio. tons ab lager, og forskellen skyldes en kombination af vaskevand vandspild, vandfordampning og nettonedbør på gyllebeholdere.

I DCE-rapporten er der til sammenligning brugt 18,1 mio. tons, og det er de 18,1 mio. tons, som er tillagt en metanemission på 3,14 kg pr. ton ud fra produktion af organiske stof i gylle (VS). Det betyder, at 2020-udgangspunktet er 18,1 mio. tons á 3,14 kg metan svarende til 56,8 mio. kg CH<sub>4</sub> fra ubehandlet gylle opbevaret i stald og lager uden teknologi. Dette svarer til 1,590 mio. ton CO<sub>2</sub>e ved brug af 28 kg CO<sub>2</sub>e pr. kg metan.

Ved beregning af reduktionspotentiale tages udgangspunkt i DCE-rapportens tal for metanemission fra gyllen i 2020. 7 % mindre tørstof i gødningen vil i 2030 medføre 7 % fald i dette potentiale, hvilket betyder, at gylle fra grise har et potentiale til 1,48 mio. ton CO<sub>2</sub>e fra metantab ved ubehandlet gylle. Reduktionen vil derfor være på 0,11 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år fra mindre metan-potentiale fra grisegylle på grund af lavere foderforbrug.

Effekten fra øget produktivitet på 0,022 ton CO<sub>2</sub>e mindre enterisk metan og mindre metan fra grisegylle på 0,11 mio. ton CO<sub>2</sub>e giver en samlet effekt på 0,132 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år. Det skal bemærkes, at dette er effekten af ændret foder og øget produktivitet, hvis der ikke ændres gylleteknologi i forhold til 2020. I praksis vil der som minimum indføres hyppig udslusning, og en betydelig del af gyllen skal køres til biogas, hvilket betyder, at fodereffekten bliver mindre i kg CO<sub>2</sub>e, mens den fortsat vil være ca. 7 % reduktion af metanemission fra gylle.

Hvis en gylleteknologi f.eks. er beregnet til at medføre 10 % lavere emission ved uændret gyllemængde, så vil den kombinerede effekt af mere effektiv fodring og gylleteknologi være:

Udgangspunkt = 100 % metanpotentiale i 2020

Udgangspunkt efter fodereffekt = 93 % metanpotentiale i gyllen

Effekt af foder og teknologi =  $100 \times 0,93 \times 0,9 = 0,837$ , eller 83,7 % emission af udgangspunktet

<sup>55</sup> Normtal for husdyrgødning. 2021. Aarhus Universitet, DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. Rapport nr. 191.

## 7. Lagerbehandling – Kvæg og Gris

### 7.1 Biogas

Gylle og dybstrøelse indeholder organisk materiale, der i stalden og på lageret omdannes til metan. Ved at få gylle og dybstrøelse i et biogasanlæg bliver metan i stedet nyttiggjort som brændsel samtidig med, at metanemissionen fra lageret til atmosfæren reduceres.

Klimaeffekten ved at reducere metanemission fra stald og lager tilfalder landbrugssektoren, mens klimagevinsten for den fossile energi, som biogassen fortrænger, tilfalder energisektoren.

#### Forudsætninger

Afgasning af husdyrgødning er et af de mest effektive og billigste klimavirkemidler, man har som husdyrproducent.

Klimagevinsten kommer fra, at biogasanlæggene omsætter det organiske indhold i gyllen til biogas, og landmanden modtager dermed en afgasset biomasse med et lavere metan-emissionspotentiale end ubehandlet gylle. Aarhus Universitet har vurderet, at biogas kan reducere CO<sub>2</sub>-belastningen i landbrugssektoren fra kvæggylle med 41 %. Klimabelastningen fra grisegylle kan reduceres med 31 % ved traditionel gylleudslusning, som dog bliver væsentligt forøget til 58 % i forbindelse ugentlig udslusning af gyllen<sup>17</sup>.

Den danske biogasindustri har indenfor de seneste 10 år gennemgået en massiv udvikling, og i dag bliver omkring en tredjedel af husdyrgødningen afgasset. En yderligere udbygning af biogasindustrien kan sammen med en reduktion af gasforbruget sikre, at Danmark bliver uafhængig af fossil naturgas indenfor en kort årrække.

Tidligere var de landbrugsbaserede biogasanlæg udelukkende baseret på gylle, energiafgrøder og let omsættelige affaldsprodukter. I dag anvendes også tungt omsættelige produkter, eksempelvis dybstrøelse og halm. Den kommende udbygning af biogas vil fortsat hovedsageligt være baseret på husdyrgødning, og forventningen er, at i 2030 bliver omkring 60 % af husdyrgødningen i Danmark afsat til biogasanlæg.

Halm er den råvare, som repræsenterer det suverænt største uudnyttede potentiale i forhold til biogas, og hvis de ambitiøse målsætninger om øget biogaspasproduktion skal indfries samtidig med, at forbruget af energiafgrøder bliver reduceret, skal en stor del af halmen anvendes til biogasproduktion.

Det registrerede forbrug af husdyrgødning til biogasproduktion er angivet i Tabel 7.1 for 2021 sammen med den forventende mængde anvendt i 2030. Forventningen er baseret på SEGES Innovations konservative vurdering på baggrund af blandt andet analyser fra Biogas Danmark og Energistyrelsen. Udviklingen i gasprisen og rammevilkårene for biogasproduktion i Danmark vil have direkte indvirkning på, hvor meget biogasindustrien kommer til at vokse i løbet af de kommende år.

Tabel 7.1: Mængden af husdyrgødning til biogasproduktion i dag og i 2030 (mio. ton).

År	2020-2021	2030
Husdyrgødning	Energistyrelsens Biomasseopgørelse	SEGES Innovations vurdering
Kvæggylle til biogas	5,72	11,4
Grisegylle til biogas	3,64	7,3
Dybstrøelse, kvæg	0,99	2
Dybstrøelse, fjerkræ	0,08	0,16
Anden husdyrgødning	0,35	0,7
<b>Husdyrgødning total</b>	<b>10,78</b>	<b>21,6</b>

### Reduktionspotentiale – effekt i forhold til Landbrugsaftalen i forhold til 2030-målet (Territorial) (CO<sub>2</sub>e-effekt)

I den territoriale opgørelse bliver landbruget på nuværende tidspunkt kun godskrevet for afgangning af gylle, mens effekten fra afgangning af dybstrøelse ikke indgår.

I den nationale opgørelse anvender DCE en gennemsnitlig emissionsfaktor på ca. 3,14 kg CH<sub>4</sub>/ton grisegylle og 1,6 kg CH<sub>4</sub>/ton kvæggylle<sup>1</sup>, mens emissionsfaktoren i den seneste udgave af virkemiddelkataloget fra Aarhus Universitet er 4,2 kg CH<sub>4</sub>/ton grisegylle og 1,8 kg CH<sub>4</sub>/ton kvæggylle<sup>17</sup>. Der er således ekstrem stor usikkerhed i emissionen fra gylle, og det er uklart hvilken emissionsfaktor, der indgår som grundlag i beregningen af det forventede reduktionspotentiale i Landbrugsaftalen<sup>56</sup>.

Aarhus Universitet vurderer, at gevinsten i energisektoren fra fortrængning af fossil energi, er 34 kg CO<sub>2</sub>e/ton grisegylle og 37 kg CO<sub>2</sub>e/ton kvæggylle<sup>17</sup>. Klimagevinsterne ved afgangning af kvæg- og grisegylle i 2030 er beregnet i Tabel 7.2 nedenfor.

 Tabel 7.2: Brutto (Energisektor og Landbrugssektor) og netto (kun Landbrugssektor) drivhusgasreduktion med afsæt i metan-emissionsfaktorer anvendt i DCE's nationale opgørelse<sup>81</sup>.

	Grisegylle	Kvæggylle
Gylle til biogas i 2030, mio. tons	7,3	11,4
Emissionsfaktor, kg CH <sub>4</sub> /ton gylle	3,14	1,8 <sup>1</sup>
Netto-effekt ved afgangning til 2020, mio. ton CO <sub>2</sub> e	0,10	0,12
Netto-effekt ved afgangning frem til 2030, mio. ton CO <sub>2</sub> e	0,20	0,24
Netto-effekt ved afgangning fra 2020-2030, kg CO <sub>2</sub> e/ton gylle	0,10	0,12
Effekt i energisektoren, mio. ton CO <sub>2</sub> e	0,25	0,42
Brutto-effekt ved afgangning, mio. ton CO <sub>2</sub> e	0,45	0,66

<sup>1</sup>) Kvæggylle til biogas forventes at være ligeligt fordelt imellem stalde med gylle og ringkanal og stalde med fast gulv og skraber, da en del stalde med fast gulv og skraber anvender sand i sengebåsene.

Der er ekstrem stor usikkerhed om, hvor stor klimagevinsten er ved afgangning af gylle, og effekten er blevet op- og nedskrevet flere gange.

Effekten er baseret på et teoretisk beregnet grundlag, og der er meget lidt dokumentation for de reelle emissioner. Det er først nu, at Aarhus Universitet og SEGES Innovation har fået bevillinger til at gennemføre en række test og forsøg, som kan dokumentere de reelle emissioner. De anførte effekter kan derfor meget vel

<sup>56</sup> Aftale om grøn omstilling af dansk landbrug. 2021. Regering og aftalepartnere.

blive justeret, når der foreligger ny, dokumenteret viden. Potentialet i landbrugssektoren vurderes til at være cirka 0,22 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år fra 2020 til 2030.

Den kommende udbygning af biogasbranchen forventes hovedsageligt at være baseret på husdyrgødning og halm, og som nævnt tidligere, er det forventningen, at Danmark inden for få år får afgasset 60 % af husdyrgødningen. Vi ser altså ind i en fremtid, hvor afgasset biomasse bliver den suverænt største gødningstype, der bliver udbragt på de danske marker.

Halm er den biomasse, som har det største potentiale til at øge produktionen af biogas, fordi der fortsat er store mængder uudnyttet halm til rådighed. Der ligger dog fortsat tekniske og økonomiske udfordringer i at bruge større mængder halm som alternativ til de mere letomsættelige produkter. Et øget forbrug af halm vil ændre den afgassede biomasse markant, og der er et akut behov for at få kortlagt ammoniak- og metanemissionen fra lageret fra forskellige typer afgasset biomasse.

Sammenlignet med de råvarer, som biogasanlæggene i dag anvender, er halm mere ressource- og energi-krævende at anvende. Derudover bør der med anvendelsen af store mængder halm også være mulighed for, at den afgassede biomasse kan blive separeret, så væskefraktionen kan leveres som et gødningsprodukt, der kan bruges de steder, hvor gødningen ikke bliver nedfældet. Hvis ikke dét er tilfældet, vil konsekvensen være et øget ammoniaktab, og en dårligere kvælstofudnyttelse end afgasset biomasse produceret uden brug af halm. Det skyldes, at man kan få en ugunstig kombination af lav ammoniumandel, højt tørstofindhold og højt pH i den afgassede biomasse fra biogasanlæg, der bruger store mængder halm og dybstrøelse. Øget brug af halm og andet tungt omsætteligt materiale kan også give et forøget restgaspotentiale i den afgassede biomasse, som vil medføre risiko for forøget metanemission fra lageret og dermed en mindre klimaeffekt end estimeret ovenfor.

Der er således et akut behov for at finde effektive løsninger, der kan forbedre den afgassede biomasse. Det kan f.eks. ske gennem effektive forbehandlingsmetoder, procesoptimering eller separering af den afgassede biomasse, der giver gødningsprodukter med et lavere restgaspotentiale og en lavere viskositet, så det bedre kan trænge ned i jorden. Når biomassen separeres, åbner det også op for muligheden for, at biogasanlægget kan levere designergylle, der matcher den enkelte bedrifts gødningsmæssige behov, og fiberfraktionen kan anvendes som biomasse i pyrolyseanlæg

## **7.2 Forsuring i gylletanke**

Undersøgelser viser, at forsuring af gyllen har en effekt på metanemissionen. Aarhus Universitet har i laboratorieforsøg vist 70 % reduktion i metanemission ved at tilsætte 2,1 kg svovlsyre/m<sup>3</sup> gylle<sup>57</sup>. Undersøgelsen blev gennemført på grisegylle, men der forventes, at der ligeledes er en effekt ved behandling af kvæggylle. Udover tilsætning af svovlsyre til gyllen, så har gylletemperaturen også en effekt på dannelse af metan. Det vil sige, at i vinterperioden er metanemissionen lavere end i sommerperioden i gylletanken. Teknologien "lavdosis forsuring i gylletanke" er en ny teknologi, som i 2023-2025 bliver dokumenteret af Aarhus Universitet i forhold til effekten på metanemissionen. Her kombineres effekten af svovlsyre sammen med udnyttelse af, at udetemperaturen bliver lavere i efterår/vinterperioden. Der er planlagt test på otte gylletanke med kvæggylle og otte gylletanke med grisegylle.

SEGES Innovation undersøger effekten af sommerforsuring, hvor der i sæsonen 2022/2023 til en gylletank med grisegylle blev tilsat en engangsdosis på 3,2 kg konc. svovlsyre/m<sup>3</sup> tankkapacitet i juli måned (svarende til 8 kg syre/ m<sup>3</sup> gylle i tanken i juli måned). Metanemissionen blev sammenholdt med en tilsvarende gylletank på samme ejendom over et år<sup>58</sup>. Dette forsøg gentages i 2023/2024.

<sup>57</sup> Chun, M., Dalby, F.R., Feilberg, A., Jacobsen, B.H. and Petersen S.O. 2022. Low-Dose Acidification as a Methane Mitigation Strategy for Manure Management. ACS Agric. Sci. Technol. 2022, 2, 3, p 437-442.

<sup>58</sup> Afprøvning. 1820: Klimagylle, PAF projekt (2022-2024) igangværende projekt ej publiceret.

Svovlsyre tilsættes således gyllen i den varme sommerperiode samt eventuelt i den første del af efteråret med en dosis svarende til 2-3 kg svovlsyre per m<sup>3</sup> kapacitet i gyllebeholder. Det er på dette tidspunkt, der dannes mest metan, da gyllens temperatur er høj (17-18°C). I efteråret og hen over den kolde vinterperiode tilsættes ikke svovlsyre, hvor den lave temperatur i vinterperioden sikrer en lav emission af metan fra gylletanken.

Tilsætning af syre kræver certifikat, og forholdsregler bør overholdes under håndtering ved tilsætning af syren. Man bør derfor leje en maskinstation til tilsætning af koncentreret svovlsyre til gyllen. Syren skal tilsættes under omrøring af gyllen, hvilket kræver en vis gyllestand i tanken, f.eks. 80-100 cm. Der er derfor behov for at udvikle en teknologisk løsning, hvor syren kan tilsættes i forbindelse med overpumpning af gylle fra fortank til gylletank.

Når svovlsyre tilsættes i gylletanken, sker der samtidig skumdannelse i tanken med frigivelse af både kuldioxid og svovlbrinte. På enkelte teltoverdækkede gylletanke er set skader/erosioner på tankens betonelementer. Selv om det ikke er afklaret, om det skyldes syretilsætning i gylletankene, bør det undersøges om tankforsuring giver risiko for syreskader på betonvægge, når svovlsyre tilsættes direkte i gylletanken.

Ammoniakfordampningen fra gyllen vil i mindre grad blive reduceret ved denne lavdosis forsuring, og den forsurede gylle vil i mange tilfælde tilføre tilstrækkelig svovl til markerne til at dække afgrødernes behov.

Reglerne<sup>59</sup> med hensyn til syredosering til gyllen inden udbringning har til formål at sikre en reduktion af ammoniaktab ved overfladeudbringning på marken. Denne syretilsætning må tidligst ske fire uger før udbringning, da syreeffekten ellers vil aftage. Det bør undersøges, hvorvidt lavdosis sommerforsuringens effekt på pH kan indgå i ammoniakeffekten ved udbringning.

### Forudsætninger

Det forudsættes, at "lavdosis forsuring af gylletanke" reducerer metanemissionen med 70 %<sup>17</sup>. Der er på nuværende tidspunkt kun laboratorie- og pilotskala-undersøgelser, som estimerer effekten. Da mange vil benytte sig af tilsætning direkte i tanken, og det kræver en vis gyllestand i tanken, vil der ske en udledning af metan i perioden, indtil der er en tilstrækkelig mængde gylle. Det vil typisk være i perioden maj/juni, hvor der er lille gyllemængde men høj metandannelse på grund af temperaturen. Der forventes derfor kun en gennemsnitlig effekt på 60 % ved lavdosisforsuring.

### Reduktionspotentiale – effekt i forhold til landbrugsaftalen i forhold til 2030 målet (Territorial) (CO<sub>2</sub>e-effekt):

Metanemissionen fra gyllelageret er i den nationale opgørelse<sup>1</sup> fastsat til 0,86 kg metan pr. ton kvæggylle og 1,47 kg metan pr. ton grisegylle. Reduktionspotentialet ved lavdosisforsuring ved 60 % effekt er dermed 14,4 kg CO<sub>2</sub>e/ton kvæggylle og 24,7 kg CO<sub>2</sub>e/ton grisegylle.

Kvæggylle, der leveres til biogas, forventes at stige til et niveau på 11,4 mio. tons inden 2030. Den resterende mængde på 8,5 mio. tons kan behandles i gyllelageret, hvilket vil kunne bidrage med en reduceret metanemission svarende til 98 kt CO<sub>2</sub>e/år, hvis f.eks. 80 % af denne gylle behandles med lavdosisforsuring.

Grisegylle, der leveres til biogas, forventes at stige til et niveau på 7,3 mio. tons inden 2030. Den resterende mængde på 10,8 mio. tons kan behandles i gyllelageret, hvilket vil kunne reducere metanemissionen med 213 kt CO<sub>2</sub>e, hvis f.eks. 80 % af denne gylle behandles med lavdosisforsuring. Det bør overvejes, om afgasset gylle også skal behandles med syre, da der tilsættes en række andre biomasser end husdyrgødningen på biogasanlæggene. Det skal dog undersøges, om der eventuelt skal tilsættes en relativ større syremængde, da pH er væsentlig højere i afgasset gylle end i almindelig gylle.

<sup>59</sup> Bekendtgørelse 1551 af 2. juli 2021, Bekendtgørelse om anvendelse af gødning.

Der vil desuden være en synergieffekt, hvis lagerforsuring kombineres med hyppig eller daglig gylleudslusning. Dette er gennemgået under de enkelte virkemidler.

Der er ligeledes gennemgået teknologierne fakkelaflbrænding og biologisk metanoxidering. Potentialet fra de tre teknologier kan ikke adderes, men er beregnet for hver teknologi for sig. Det giver blot flere muligheder, hvor landmanden kan vælge den teknologi, der passer bedst på bedriften. En væsentlig fordel ved lavdosisforsuring er, at den kan udføres på både åbne gylletanke og på teltoverdækkede gylletanke.

Det er kun konventionelle landmænd, der kan anvende syntetiske syrer, mens økologerne har mulighed for at anvende naturlige syrer. Effekten af naturlige syrer er ikke undersøgt.

### **7.3 Fakkelaflbrænding af metan fra gylletanke**

Fakkelaflbrænding af biogas er en velkendt teknik til at skaffe sig af med overskydende metan på biogasanlæg, når der af en eller anden grund er metanoverskud i bufferlageret.

Fakkelaflbrænding af metan fra gylletanke vil være en mulighed og foregår ved, at der suges en luftstrøm fra luftrummet under overdækningen hen til en brænder. Metankoncentrationen skal være tilstrækkelig høj til at kunne brænde, dvs. sandsynligvis over 7-8 %, da der ellers skal tilføres "støttegas" til at drive flammen. Metankoncentrationen under teltoverdækningen på gylletanke vil dog ikke altid være så høj, men særligt i sommer og efterårsmånederne vil der kunne opnås tilstrækkelig høj koncentration til, at metanen kan afbrændes. Særligt i tanke med grisegylle er der fundet høje koncentrationer i denne periode svarende til 8-12 % metan i luften under teltoverdækningen<sup>60</sup>. I kvæggylletanke blev der fundet en lavere koncentration, hvilket skyldes at kvæggylletanke ofte tømmes hen over sommeren, og at der er en mindre metanproduktion i kvæggylle ved en temperatur på 10-20°C.

I undersøgelser har SEGES Innovation fundet en udskiftning af luften under teltoverdækningen svarende til 50-200 m<sup>3</sup>/time<sup>17</sup>. Luftsiftet genereres af små ventilåbninger øverst på teltdugen samt små utætheder langs betonkanten og sandsynligvis ved pumpelugerne. Disse åbninger reducerer metankoncentrationen. Ventilati-onen af teltoverdækkede gylletanke er et krav i Landbrugets byggeblad<sup>61</sup> for at sikre, at der ikke opbygges så høje metankoncentrationer, at der risikeres en gasekspllosion. Men i forbindelse med fakkelaflbrænding ønskes netop høje metankoncentrationer, og teltoverdækningen skal derfor tætnes, dvs. ventilerne øverst på teltdugen skal lukkes, og utætheder tætnes. Derved vil man, ud over at opnå en højere metankoncentration, også undgå et unødigt tab af metan til atmosfæren. Det kræver dog, at kravet til ventilation ændres. I et GUDP-projekt (LESS) skal fakkelaflbrænding undersøges på én gylletank, hvor dels effektiviteten af aflbrændingen undersøges, og dels skal røggassen undersøges for uønskede gasser f.eks. nitrogenoxider. Det forventes, at der skal opstilles ATEX-krav til pumper og andre komponenter imellem gylletank og fakkelaflbrænderen.

#### **Forudsætninger:**

Det forudsættes, at tætning af teltoverdækningen sammen med et sug til fakkelaflbrænderen kan reducere tabet af metan fra tanken til 20 %. Derudover forudsættes, at 80 % af det metan, der pumpes til faklen, aflbrændes til CO<sub>2</sub>. Derved opnås en samlet metanreduktion fra lagertanken på 64 %, hvilket er det estimat, der angives i Aarhus Universitets virkemiddelkatalog<sup>17</sup>. Der er endnu ikke beregninger på forbrug af støttegas til faklen. Det forventes dog at være minimalt, da tætningen af beholderen – sammen med et lille pumpeflow – skal sikre en høj metankoncentration til faklen.

Både økologiske og konventionelle landmænd kan anvende fakkelaflbrænding.

<sup>60</sup> Afprøvning. 1718 (publiceret i rapport til Miljøministeriet, 2022) og afprøvning. 1820 igangværende afprøvning.

<sup>61</sup> Landbrugets Byggeblad 103.04-29 af 02-06-2009. Landbrugets Byggeblade – Skabelon (landbrugsinfo.dk).



### **Reduktionspotentiale – Effekt i forhold til Landbrugsaftalen i forhold til 2030 målet (Territorial) (CO<sub>2</sub>e-effekt):**

Metanemissionen fra gyllelageret er i den nationale opgørelse<sup>32</sup> fastsat til 0,86 kg CH<sub>4</sub>/ton kvæggylle og 1,47 kg CH<sub>4</sub>/ton grisegylle. Reduktionspotentialet ved fakkelaftænding ved 64 % effekt er dermed 15,4 kg CO<sub>2</sub>e/ton kvæggylle og 26,3 kg CO<sub>2</sub>e/ton grisegylle.

Kvæggylle, der leveres til biogas, forventes at stige til et niveau på 11,4 mio. ton inden 2030. Fra den resterende kvæggylle svarende til 8,5 mio. tons kan metan dannet fra teltoverdækkede gyllelagre behandles ved fakkelaftænding, hvilket vil kunne bidrage med en reduktion i metanemissionen på 65 kt CO<sub>2</sub>e/år, hvis f.eks. 50 % af disse gyllelagre teltoverdækkes, og metangassen fra denne gylle fakkelaftændes.

Grisegylle, der leveres til biogas, forventes at stige til 7,3 mio. tons inden 2030. Fra den resterende gylle svarende til 10,8 mio. tons kan metan dannet fra teltoverdækkede gyllelagre behandles ved fakkelaftænding, hvilket vil kunne reducere metanemissionen med 199 kt CO<sub>2</sub>e/år, hvis f.eks. 70 % af disse gyllelagre teltoverdækkes, og metangassen fra denne gylle fakkelaftændes.

Der forventes altså et væsentligt højere potentiale i grisegylle. Der vil desuden være en synergieffekt, hvis fakkelaftænding kombineres med hyppig gylleudslusning eller linespil. Se øvrige afsnit om dette.

Teknologierne tankforsuring og biologisk metanoxidering er ligeledes gennemgået. Potentialet fra de tre teknologier kan ikke adderes men er beregnet hver for sig. Det giver blot flere muligheder, hvor landmanden kan vælge den teknologi, der passer bedst på bedriften. Sandsynligvis vil fakkelaftænding fungere mindre godt fra gylletanke med kvæggylle, da metankoncentrationen er lavere.

### **7.4 Biologisk oxidering af metan fra gylletanke**

DTU Miljø og COWI har tidligere arbejdet med kompostfilter (Biocover) til oxidering af metanudslip fra ældre affaldsdeponier. Filteret består af et rørsystem under et gasfordelingslag af sten, hvorpå der er lagt cirka 1 meter modnet kompostlag. Undersøgelser har vist en høj næsten fuldstændig fjernelse af metan via et biocover, hvor luften fra affaldsdeponiet diffunderer passivt gennem kompostfilteret med høj opholdstid.

I et GUDP-projekt (BioMet) undersøger DTU Miljø, COWI og SEGES Innovation biologisk oxidering i et kompostfilter placeret ved en teltoverdækket gylletanke med grisegylle. Teltoverdækningens ventiler øverst på teltdugen er blevet lukket, og en sugeslange er tilsluttet en pumpe, der suger 100 m<sup>3</sup> luft fra tanken pr. time. Luften ledes ind under kompostfilteret i et rørsystem. De foreløbige resultater er meget positive, hvor der er fundet omkring 90 % reduktion af det metan, der tilføres med luftstrømmen. Gyllebeholderens størrelse er 3500 m<sup>3</sup>, og størrelsen på filteret er 400 m<sup>2</sup>. Filterstørrelsen blev bestemt ud fra nogle indledende koncentrationmålinger, hvor der fra denne gylletanke blev fundet høje koncentrationer af metan, svarende til 15-17 %. Der er desuden målt, hvor meget metan der ikke bliver opsamlet i suget til kompostfilteret, hvilket estimeres til ca. 20 % metan. Det skal dog undersøges nærmere.

### **Forudsætninger**

Det forudsættes, at tætning af teltoverdækningen sammen med et sug til kompostfilteret kan reducere tabet af metan fra tanken til 20 %. Derudover forudsættes at 85-90 % af det metan, der pumpes til kompostfilteret, omdannes til CO<sub>2</sub>. Derved opnås en samlet metanreduktion fra lagertanken på 70 %.

### **Reduktionspotentiale – effekt i forhold til landbrugsaftalen i forhold til 2030 målet (Territorial) (CO<sub>2</sub>e-effekt)**

Metanemissionen fra gyllelageret er i den nationale opgørelse<sup>1</sup> fastsat til 0,86 kg CH<sub>4</sub>/ton kvæggylle og 1,47 kg CH<sub>4</sub>/ton grisegylle. Reduktionspotentialet ved kompostfilter ved 70 % effekt er dermed 16,9 kg CO<sub>2</sub>e/ton kvæggylle og 28,8 kg CO<sub>2</sub>e/ton grisegylle.

Kvæggylle, der leveres til biogas, forventes at stige til et niveau på 11,4 mio. tons inden 2030. Fra den resterende kvæggylle svarende til 8,5 mio. tons kan metan dannet fra teltoverdækkede gylletanke omsættes til CO<sub>2</sub> via et kompostfilter. Det vil svare til en reduktion i metanemissionen på 72 kt CO<sub>2</sub>e, hvis f.eks. 50 % af disse gylletanke teltoverdækkes, og metangassen fra denne gylle pumpes til et kompostfilter.

Grisegylle, der leveres til biogas, forventes at stige til 7,3 mio. tons inden 2030. Fra den resterende gylle svarende til 10,8 mio. tons kan metan dannet fra teltoverdækkede gylletanke omsættes til CO<sub>2</sub> via et kompostfilter. Det vil svare til en reduktion i metanemissionen på 218 kt CO<sub>2</sub>e, hvis f.eks. 70 % af disse gylletanke teltoverdækkes, og metangassen fra denne gylle pumpes til kompostfilter.

Der er altså et væsentligt højere potentiale i grisegylle. Der vil desuden være en synergieffekt, hvis kompostfilter kombineres med hyppig eller daglig gylleudslusning.

Der er ligeledes gennemgået teknologierne tankforsuring og fakkelaftænding. Potentialet fra de tre teknologier kan ikke adderes, men er beregnet for hver teknologi for sig. Det giver blot flere muligheder, hvor landmanden kan vælge den teknologi, der passer bedst på bedriften. Eksempelvis kunne kompostfilter være bedre til kvæggylle, da der ikke vil være behov for et lige så stort filter pr. m<sup>3</sup> gylletank, da metanemissionen fra kvæggylle forventes at være mindre end fra grisegylle, og at fakkelaftænding forventes at være mindre effektivt på kvæggylletanke.

## 8. Klimavirkemidler – Fjerkræ

### 8.1 Gødningsbånd

Etagesystemer til æglæggende høner og opdræt kan udstyres med gødningsbånd, som opsamler mellem 60-70 % af al den gødning hønerne afsætter<sup>62</sup>. Via gødningsbåndet, kan gødningen transporteres ud af stalden, således, at emissioner af ammoniak (NH<sub>3</sub>) og lattergas (N<sub>2</sub>O) fra stalden mindskes. Gødningsbåndet skal køre mindst to gange pr. uge.

#### Reduktionspotentiale – effekt i forhold til Landbrugsaftalen i forhold til 2030-målet (Territorial) (CO<sub>2</sub>e-effekt):

Det forventes, at gødningsbånd kan reducere NH<sub>3</sub>- og N<sub>2</sub>O-emissionen med ca. 40 % i æglægger og opdrætsstalde. For konsumægshøner svarer det til en CO<sub>2</sub>e-reduktion på 0,8 kg CO<sub>2</sub>e/årshøne. Svarende til 3,2 kt CO<sub>2</sub>e/år. For opdræt svarer det til en CO<sub>2</sub>e-reduktion på 0,4 kg CO<sub>2</sub>e/hønnike, svarende til 1,5 kt CO<sub>2</sub>e/år. Den samlede effekt af at anvende gødningsbånd til høner og hønniker forventes at være 4,7 kt CO<sub>2</sub>e/år.

### 8.2 Varmeveksler til fjerkræstalde

En varmeveksler overfører energi fra varm afgangsluft til den koldere udeluft, hvorefter den opvarmede udeluft føres ind under kippen i stalden. Varmeveksleren reducerer energiforbruget til opvarmning af stalden og ned-sætter ammoniakfordampningen fra fjerkræstalden. Når strøelsen holdes tør, reduceres gødningens vandindhold, og den mikrobielle nedbrydning af urinsyre til NH<sub>3</sub> mindskes, og dermed falder fordampning af NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O og CH<sub>4</sub> fra strøelsen.

Der er også stor interesse for at anvende varmevekslere i æglæggestalde for at sænke ammoniakkoncentrationen i staldluften. Dette påvirker både dyrene i stalden og bedriftens klimaaftryk. Et amerikansk studie har vist, at en varmeveksler installeret i en æglæggestald med gødningsbånd kunne halvere ammoniakkoncentrationen i staldluften<sup>63</sup>. Og praktiske erfaringer fra landmand Jens Skovgaard viste, at en varmeveksler i en skrabeægsstald kunne sænke luftens ammoniakkoncentration mellem 20-70 %<sup>64</sup>.

#### Forudsætninger

Anvendelse af varmeveksler (med støvfilter) har i danske slagtekyllingestalde vist sig at fjerne op til 30 % af ammoniakken fra staldluften – dels via udtørring af gødning/strøelse og dels via filtrering af en del af luften<sup>65</sup>.

Danske og hollandske studier viser, at æglæggende høner i stalde uden gødningsbånd har en emission pr. årshøne på 456 g NH<sub>3</sub>, 71 g CH<sub>4</sub>, og 32,7 g N<sub>2</sub>O<sup>66,67</sup>. Selvom NH<sub>3</sub> ikke er en klimagas, resulterer den høje NH<sub>3</sub>-emission i en 20 % stigning i ovennævnte N<sub>2</sub>O-emission. Derfor vil hønernes klimaaftryk reduceres markant, hvis man ved hjælp af en varmeveksler kan reducere NH<sub>3</sub>-emissionen og udtørre gødningen og på den måde sænke den mikrobielle dannelse af klimagasser (CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O).

<sup>62</sup> Kai, P. 2021. Kapitel 8 Tab fra stalde i DCA-rapport "Normtal for husdyrgødning". Aarhus Universitet.

<sup>63</sup> Ramirez, B. 2019. Characterization of an Air-to-Air heat Exchanger for Manure Belt Drying Ventilation in an Aviary Laying Hen House. Iowa State University.

<sup>64</sup> Larsen, J.N. 2021. Dansk Erhvervsfjerkræ, april 2021.

<sup>65</sup> Hansen, 2013. Odour and ammonia emission from broiler houses with and without a heat exchange system. Test report. AgroTech.

<sup>66</sup> Provstgaard, N., Riis, M. og Hansen, M.N. 2010. Undersøgelse af ammoniakemission fra rugeægsstalde 2008-2010. Videncentret for Landbrug.

<sup>67</sup> Winkel, A., Mosquera, J., Hol, J.M.G., Nijeboer, G.M., Ogink, N.W.M., Aarnink, A.J.A. 2009. Fijnstofemissie uit stallen: leghennen in volièrehuisvesting (Støvemission fra stalde: æglæggende høner i volierestalde). Rapport 278, Wageningen UR Livestock Research.

**Reduktionspotentiale – effekt i forhold til Landbrugsaftalen i forhold til 2030-målet (Territorial) (CO<sub>2</sub>e-effekt)**

Det forventes, at en varmeveksler i slagtekyllingestalde kan reducere klimaaftrykket fra gødningen med 0,25 kg CO<sub>2</sub>e/kylling svarende til en besparelse på 25 kt CO<sub>2</sub>e/år for dansk kyllingeproduktion.

For æglæggestalde uden gødningsbånd – som især ses ved rugeægproduktion – kan klimaaftrykket fra emissioner fra gødning i stalden reduceres med 1 kg CO<sub>2</sub>e/årshøne. For 1,2 mio. rugeægshøner svarer det til 1,2 kt CO<sub>2</sub>e. For øvrige æglæggestalde forventes varmevekslere at kunne reducere klimaaftrykket pr. årshøne med 0,5 kg CO<sub>2</sub>e svarende til 2,0 kt CO<sub>2</sub>e/år.

I alt forventes varmevekslere at reducere dansk fjerkræproduktions klimaaftryk med 28,2 kt CO<sub>2</sub>e/år i 2030 og frem.

Det forventes, at hønernes produktivitet samt sundhed og velfærd stiger, når en varmeveksler sænker ammoniakkoncentrationen i staldluften.

## 9. Ændring i produktionsgrundlaget 2030

Ændringen i produktionsgrundlaget frem mod 2030 vil blandt andet være afhængig af landbrugsvirksomhedernes økonomi, den løbende strukturudvikling samt den usikkerhed, der er opstået på grund af en mulig CO<sub>2</sub>e-afgift og hvilken model, der måtte vælges samt effekten af øvrige landbrugsreformer nationalt og i EU. Fremskrivningen af produktionsgrundlaget er derfor forbundet med en vis usikkerhed.

Produktionsgrundlaget i 2030, som benyttes i beregningerne forudsætter ovenstående kompensations- og støtteordninger og tager primært udgangspunkt i en fremskrivning af den generelle strukturudvikling samt for arealets vedkommende tillige den allerede vedtagne eller forventede udtagning og arealanvendelse.

### 9.1 Kvæg

Tabellen viser en fremskrivning af kvægproduktionen til 2030 med udgangspunkt i produktionen i 2020 og på basis af den historiske udvikling de seneste 20 år.

Table 9.1 Fremskrivning af kvægproduktionen til 2030.

Kvæg fremskrivning	2020	2030
Årskøer, stor race	489.200	420.600
Årsopdræt, stor race	448.000	365.900
Årskøer, Jersey	77.800	74.800
Årsopdræt, Jersey	71.300	65.100
Ammekøer	81.600	61.000
Årsopdræt, slagtekvier	24.500	32.100
Slagtekalve	161.000	146.100
Stude	5.000	5.000

Fremskrivningen forudsætter, at produktion af mælk holdes konstant i de næste ti år samt en ydelsesstigning på 1,5 %/år. Det medfører en reduktion i antallet af køer, idet den gennemsnitlige ydelse for alle køer stiger til 11.600 kg i 2030.

Desuden forudsættes, at andelen af jerseykøer øges fra 14 % i 2020 til 15 % i 2030, da der kan være fordele i at omlægge til mindre køer.

For opdrættet er der fokus på at reducere antallet, hvilket sker med en større andel kødkvægskrydsninger og kønssorteret sæd. Dermed øges produktionen af tyrekalve og slagtekvier forholdsmæssigt, men det samlede antallet er stadig faldende, da antal årskøer er reduceret. Bestanden af ammekøer har været faldende de seneste år, og der forudsættes, at faldet fortsætter i samme takt dvs. ca. 2.000 færre dyr om året.

### 9.2 Gris

Det estimeres, at der i 2030 vil være ca. 0,93 mio. søer og uændret smågriseproduktion med et fortsat lille fald i danske slagtninger og en lille positiv tendens på smågriseeksportmarkedet.

Den naturlige afgang af griseproduktionsanlæg er ca. 3-4 % om året. Hvis der ikke bygges nyt, vil produktionsanlæggene blive reduceret med 24-32 % frem mod 2030 som følge af den naturlige afgang af udtjente stalde. Nybygninger af grisestalde vil blandt andet afhænge af konjunkturerne og effekten fra en CO<sub>2</sub>-afgift med videre

Frem mod 2030 forventes en nedgang i antallet af eksporterede smågrise fra konkurrerende lande f.eks. Holland, og skærpede og omkostningstunge velfærdsregler for farestalde i Tyskland forventes at forbedre markedssituationen for den danske smågriseeksport til især Tyskland.

På baggrund af den historiske og forventede udvikling i sobestanden, antal slagtninger i Danmark og eksporten af smågrise fremskrives antallet af slagtninger i Danmark fra 16,9 mio. i 2022 til 16,3 mio. i 2030, eksporten af 30 kg smågrise udviser en lille stigning fra 14,3 til 14,4 mio. i 2030, og antallet af søer forventes at falde til ca. 900.000 i 2030.

### **9.3 Mark**

Samlet set er produktionsgrundlaget fremskrevet til et fald på ca. 10 % af det dyrkbare areal, og det antages, at der ikke finder emission fra landbruget sted, når arealet er taget ud af omdrift forhold til

Faldet på ca. 10 % af det dyrkbare areal er anslået ud fra implementeringen af udtagning af kulstofrige jorde og randarealer, areal afsat til skovrejsning, opfyldelse af GLM8-kravet om 4 % uproduktiv jord, øvrig ekstensivering, en trendmæssig fremskrivning af anvendelse af landbrugsjord til byudvikling og infrastruktur samt overdragelse af landbrugsjord til energifremstilling med blandt andet vindmøller og solceller med videre Tilsammen ca. 250.000 ha ud af det nuværende samlede landbrugsareal på ca. 2,6 mio. ha reduktionen af landbrugsarealet er anslået og forudsætter implementering af de omtalte initiativer, herunder udtagning af lavbundsjord og randarealer (ca. 5 % af landbrugsarealet), energifremstilling, primært solceller og vindmøller (ca. 2-3 %), GLM8-krav (4 %, netto ca. 2 %), byudvikling og infrastruktur (ca. 1,5 %), skovrejsning og naturgenopretning (ca. 1-2 %). Dertil kan komme yderligere udtagning eller landbrugsbegrænsende tiltag, f.eks. i forbindelse med BNBO-arealer. De enkelte udbudsreducerende faktorer er ikke additive, da f.eks. lavbundsjord kan anvendes til energifremstilling og så fremdeles.

På grund af stor usikkerhed vedrørende de konkret berørte arealer, som anvendes til andre formål, er der i notatet forudsat en uændret afgrødefordeling i forhold til den nuværende. Det vil sige, at arealstørrelsen for de enkelte afgrøder blot er nedskaleret proportionalt, så det svarer til den samlede nedgang.

## 10. Samlet potentiale for reduktion af drivhusgasser fra landbruget frem med 2030

Tabel 10.1 Samlet potentiale fordelt på virkemidler

Virkemiddel	Kendte 2,4 mio. ton CO <sub>2</sub> e		Udviklingssporet 5,0 mio. ton CO <sub>2</sub> e		Yderligere udvikling, mio. ton CO <sub>2</sub> e	
	Fra	Til	Fra	Til	Fra	Til
<b>Klimavirkemidler mark</b>						
4.1 Udtagning af kulstofrige lavbundsjord	1,92	2,48				
4.2 Skovrejsning	0,12	0,12				
4.3 Nitrifikationshæmmere			0,395	0,441		
4.4 Klimaoptimeret gødningsanvendelse					0,4	0,5
4.5 Biochar – Pyrolyse			0	1,4		
4.6 Øget kulstoflagring i jord			0	0		
4.7 Dyrkning af græsprotein			0,079	0,158		
4.8 Økologi			0,168	0,6		
4.9 Produktivitet i marken			0	0		
<b>Klimavirkemidler kvæg</b>						
5.1 Gylleforsuring i stald – kvæg			0	0		
5.2 Drænet fast gulv med gødningskrabere			0,056	0,066		
5.3 Foderadditiver til reduktion af enterisk metan			0,72	0,96		
5.4 Fedt i foderet til reduktion af enterisk metan	0,009	0,009				
5.5 Avl			0,003	0,008		
5.5 Opfangning og reduktion af metan i kvægstalde						
<b>Klimavirkemidler – Gris</b>						
6.1 Gylleforsuring i stald – Gris			0,022	0,027		
6.2 Hyppig gylleudslusning	0,145	0,150	-0,030*	-0,030*		
6.3 Linespilsanlæg			0,075	0,080		
6.4 Gyllekøling			0,015	0,017		
6.5 Klimaoptimeret foder og udvik. i produktivitet			0,132	0,132		
6.6 Synergi, hyppig udslusning/linespil og lagerbehandling			0,055	0,057		
<b>Lagerbehandling – Kvæg og Gris</b>						
7.1 Biogas			0,22	0,22		
7.2 Forsuring gylletanke			0,311	0,311		
7.3 Fakkelaflæsning af metan fra gylletank			0,264	0,264		
7.4 Biologisk oxidering af metan fra gyllebeholdere			0,290	0,290		
<i>Effekt af ikke additive virkemidler 7.2, 7.3 og 7.4</i>			0,311	0,328		
<b>Klimavirkemidler – Fjerkræ</b>						
8.1 Gødningsbånd			0,005	0,005		
8.2 Varmevekslere til fjerkræstalde			0,028	0,028		
<b>Produktionsgrundlagsændringer frem til 2030</b>						
9.1 Mark			0,630	0,630		
9.2 Kvæg			0,127	0,127		
9.3 Gris			0,051	0,051		
<b>SEGES Innovation beregninger i alt</b>	<b>2,194</b>	<b>2,759</b>	<b>3,062</b>	<b>5,305</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>
<b>Landbrugsaftale øvrige elementer</b>						
Kvælstofindsatser	0,64	0,64				
Besluttede tiltag i landbrugsaftalen – øvrige tiltag	0,20	0,2				
I alt implementeringssporet, ekskl. CAP	3,044	3,599				
EU's landbrugsreform CAP2027	0,38	0,38				
<b>I alt implementerings- og udviklingsspor, inkl. CAP</b>	<b>3,424</b>	<b>3,979</b>	<b>3,062</b>	<b>5,305</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>

\* Forventet udvikling i linespilsanlæg kannibalerer på effekten af hyppig udslusning.

Tabel 10.2 Samlet potentiale efter resultaterne i Tabel 10.1, som holdes op mod landbrugsaftalens reduktion på 7,4 mio. ton.

	Fra mio. ton CO <sub>2</sub> e	Til mio. ton CO <sub>2</sub> e
SEGES Innovation i alt	5,7	8,6
I alt inkl. øvrige tiltag i landbrugsaftalen, ekskl. CAP	6,5	9,4
I alt inkl. øvrige tiltag i landbrugsaftalen, inkl. CAP	6,9	9,8

Opfangning og reduktion af metan fra kvægstalde forventes først udviklet og implementeret efter 2030, og effekten er derfor ikke indregnet. Der forventes en effekt fra 0-0,5 mio. ton CO<sub>2</sub>e, da det er usikkert, om teknologien kommer til at fungere, og effekten er afhængig af andre teknologier som eksempelvis foderadditivet Bovaer®.



## 11. Økonomiske konsekvenser, muligheder og udfordringer

I de ovenstående afsnit beskrives et bredt udsnit af de væsentligste virkemidler, som er eller forventes at være til rådighed til at reducere drivhusgasudledningerne frem mod 2030, og de enkelte virkemidlers reduktionspotentiale udredes. I dette afsnit redegøres der for hvilke omkostninger, der er forbundet med anvendelse af virkemidlerne. Opgørelsen af udledning og reduktionspotentiale er foretaget territorielt og vedrører landmændenes omkostninger.

Der er tidligere redegjort for en CO<sub>2</sub>-afgifts negative påvirkning af landbrugsvirksomhedernes likviditet, aktivværdier, overlevelsessevne og værdikæde, samt hvordan likviditetsdrænet vil forringe landbrugets muligheder for at investere i og implementere CO<sub>2</sub>-reduktioner<sup>68[06]</sup>.

Hvis landbrugets konkurrenceevne og produktionskæden omkring landbruget skal opretholdes intakt efter indførelsen af en CO<sub>2</sub>-afgift eller anden form for regulering, er det derfor nødvendigt, at landmændene har klima- og omkostningseffektive virkemidler til rådighed. De nuværende og forventede virkemidler frem mod 2030 findes i en lang række varianter og kombinationer, og klimaeffekten er for flere virkemidlers vedkommende endnu usikker. Der angives derfor et interval for både klimaeffekt og omkostningerne forbundet med virkemidlerne. I førnævnte rapport er de anslået 33 væsentligste virkemidler vurderet, hvoraf 29 har en tilstrækkelig effektstørrelse til at blive medregnet i denne rapport.

Dette afsnits primære formål er at opgøre landmandens direkte omkostninger. Som følge heraf er der en del virkemidler, som angives at være uden omkostninger. Det vedrører virkemidler, hvor omkostningerne enten dækkes af frivillige tilskudsordninger og compensation, for eksempel for jordudtagning, eller hvor reduktionen i CO<sub>2</sub>-udledningen er en afledt effekt af den løbende udvikling i effektivitet og produktivitet på bedriften, strukturtilpasning samt fremtidige investeringer med dertil tilhørende krav til klima og miljø med videre. I nedenstående gennemgang af økonomien i de enkelte virkemidler indgår af samme årsag ikke direkte omkostninger for landmændene i forbindelse med ændringer i det underliggende produktionsgrundlag, avl, produktivitet i marken med videre.

Ved flere af virkemidlerne kan der i praksis være stigende marginalomkostninger, hvis et givent virkemiddel anvendes bredt i erhvervet. Det skyldes, at bedrifternes forudsætninger for at anvende de enkelte virkemidler kan variere, hvormed omkostningerne ved investering og implementering kan være forskellige. Som konsekvens heraf vil omkostningen pr. tons reduceret CO<sub>2</sub>e for disse virkemidler afhænge af størrelsen af reduktionen. I denne rapport har vi forudsat et gennemsnitligt omkostningsniveau, der er i overensstemmelse med ambitionen for det reduktionsniveau, der er forudsat i rapporten.

Flere af virkemidlerne til CO<sub>2</sub>e reduktion i landbruget er i praksis behæftet med omkostninger, som blandt andet skyldes behovet for investering i teknologiske løsninger og øgede omkostninger til udvikling af for eksempel foder- eller gødningsadditiver og/eller reduceret produktionsomfang. De beregnede omkostninger, som vises nedenfor, inkluderer både landmændenes investerings- og implementeringsomkostninger.

Det er afgørende for implementeringsgraden og implementeringshastigheden, at virkemidlerne er nemme at implementere, at eventuelle barrierer fjernes, og at virkemidlerne indeholder et positivt incitament.

Tabel 11.1 viser en oversigt over de virkemidler, der er medtaget i denne rapport, opdelt efter om der for landmanden er direkte omkostninger forbundet med investering og implementering af de pågældende virkemidler.

<sup>68</sup> Kaiser et al. (2023). Økonomiske konsekvenser af en generel og ensartet CO<sub>2</sub>e-afgift, SEGES Innovation, Landbrugsinfo.

Tabel 11.1 Virkemidler uden og med direkte omkostninger for landmanden

Virkemidler med klimaeffekt uden direkte omkostninger for landmanden (rangeret i stigende orden efter reduktionspotentiale)	Virkemidler med klimaeffekt med direkte omkostninger for landmanden (rangeret i stigende orden efter omkostningseffektivitet kr./ CO <sub>2</sub> e)
Avl	Varmevekslere til fjerkræstalde
Skovrejsning	Udtagning af kulstofrige lavbundsjord
Produktionsgrundlag ændring - Gris	Klimaoptimeret gødningsanvendelse
Drænet fast gulv med gødningskraber og ajlefløb	Hyppig gylleudslusning
Klimaoptimeret foder og udvikling i produktivitet	Biochar - Pyrolyse
Produktionsgrundlag ændring - Kvæg	Biogas
Besluttede klimatiltag i landbrugsaftalen	Gødningsbånd
Økologi	Gyllekøling
Produktionsgrundlag ændring - mark	Linespilsanlæg
Kvælstofindsatser (målrettet regulering og kollektive virkemidler)	Foderadditiver til reduktion af enterisk metan
	Dyrkning af græs til græsprotein
	Effekt af forsuring gylletank, fakkelaftænding og biologisk oxidering
	Gylleforsuring i stald - Gris
	Nitrifikationshæmmere
	Klimatiltag i EU's landbrugsreform CAP2027
	Fedt i foderet til reduktion af enterisk metan

De væsentligste omkostningsforudsætninger ved implementering af virkemidlerne på bedriften er beskrevet nedenfor.

### 11.1 Mark

Det samlede dyrkede areal udgør 2,379.427 mio. ha. Virkemidlerne kan i princippet tages i brug af bedrifter i alle driftsgrene, blot der er tilknyttet areal. Ved allokering af virkemidlerne til de enkelte driftsgrene anvendes fordelingsnøgle vist i Tabel 11.2 for arealet i henhold til virkemidlernes relevans for de enkelte driftsgrene.

Tabel 11.2 Fordelingsnøgle ved allokering af virkemidler på driftsgrene

Virkemidler - Mark	Fordeling af areal			
	Planter	Kvæg	Grise	Andet
2020, %				
Arealfordeling	54	21	19	6
Udtagning af kulstofrige lavbundsjord	30	32	18	20
Skovrejsning	54	21	19	6
Nitrifikationshæmmere	54	21	19	6
Klimaoptimeret gødningsanvendelse	54	21	19	6
Biochar - Pyrolyse	25	39	30	6
Dyrkning af græs til græsprotein	90	4	4	2
Økologi	70	25	4	1

#### Ad 4.1 Udtagning af kulstofrige lavbundsjord

For udtagning af kulstofrige jorde er der lagt op til, at implementeringen primært betales gennem de ordninger, der er for udtag og vådlægning af arealerne. Det bemærkes dog, at dette ikke altid vil være tilfældet. I en frivillig ordning betyder det i praksis, at landmænd, hvis arealer har større værdi, end de bliver tilbudt i en ordning, afslår at udtage arealer.

I nærværende rapport antages, at nogle af de landbrug, der ligger i områder med høj dyretæthed får et tab ved at skulle købe erstatningsjord, som er dyrere end det, der udtages. Alternativt skal landmændene forpagte jord eller lave aftaler om at afsætte husdyrgødningen. Der kan desuden opstå et tab af jordværdi ved udtagningen. Der er derfor usikkerhed om, hvorvidt landmanden kan blive fuldt kompenseret ved udtagning.

Jævnfør afsnit 4.1 er der stor usikkerhed forbundet med lavbundsjord som virkemiddel. Det skyldes blandt andet opgørelsestekniske udfordringer, det reelle emissionspotentiale, fosforlækage samt de gældende kompensationssatser, som i nogle tilfælde er utilstrækkelig i forhold til tab af indtjening og fald i jordværdi.

I Landbrugsaftalen er der afsat 923 mio. kr. til udtagning af lavbundsjord, 1.206 mio. kr. til ekstensivering af lavbundsjord samt 9 mio. kr. til en ekspertgruppe for lavbund. Desuden er der afsat 2 mia. kr. i merbevilling til udtagning af lavbunde.

Eftersom udtagning af lavbundsjord indebærer samtidig udtagning af randarealer uden væsentlig klimaeffekt, mindskes CO<sub>2</sub> reduktionen pr. udtaget ha. Forudsat samme kompensation og samme omkostninger til erstatningsjord, forpagtning eller gylleaftaler samt et potentielt værditab, øges omkostningen pr. reduceret CO<sub>2</sub>e med ca. 1/3, svarende til udtagning af ca. 135.000 ha i stedet for 100.000 ha.

Et forsigtigt overslag på en årlig omkostning ved udtagning af kulstofrige jorde ligger på 35-135 kr. pr. tons CO<sub>2</sub>e, hvilket svarer til en samlet årlig omkostning på 67-335 mio. kr.

#### Ad 4.2 Skovrejsning

Til skovrejsning kan landmanden både søge om tilskud til selve skovrejsningen og grundbetaling på arealerne. Ligger arealerne udenfor vandoplande, hvor der er et indsatskrav, kan man opnå grundbetaling i op til fem år efter udbetaling af skovrejsningstilskuddet, mens der med nuværende regler ikke er tidsbegrænsning på muligheden for at søge om grundbetaling<sup>69</sup>.

I rapporten indgår ingen omkostninger for landmændene til skovrejsning.

#### Ad 4.3 Nitrifikationshæmmere

Det koster aktuelt ca. 200 kr. pr. hektar at anvende nitrifikationshæmmere til reducere af lattergas inkl. udstyr til udbringning. Der er på nuværende tidspunkt ikke handelsgødning coatet med nitrifikationshæmmere på markedet i Danmark. Det har der dog tidligere været, og det forventes at kunne blive genindført, hvis der er tilstrækkelig efterspørgsel.

I rapporten indgår omkostninger for landmændene til nitrifikationshæmmere med et interval fra 1.230-1.659 kr. pr. ton reduceret CO<sub>2</sub>e, hvilket svarer til en samlet omkostning på 486-732 mio. kr.

#### Ad 4.4 Klimaoptimeret gødningsanvendelse

Der er stor variation i lattergasemissionerne fra anvendelse af handelsgødning og husdyrgødning alt efter gødningstype, timing i forhold til vejrfaktorer (især regn) og den anvendte udbringningsteknik. Husdyrgødning

<sup>69</sup> Grundbetaling til skovrejsning. 2021. Landbrugsstyrelsen.

er mest relevant i denne sammenhæng. Afhængig af hvilken klimavenlige praksis der anvendes, vil der sandsynligvis være omkostninger forbundet med øget kapacitet på for eksempel gyllevogne, personaleressourcer og teknik, når gødningsanvendelsen skal optimeres i forhold til det aktuelle vejr. Merprisen for den forøgede kapacitet er dog meget vanskelig at estimere.

En del af omkostningerne forventes at kunne nedbringes gennem en ændret strategi. Den nuværende strategi er optimeret i forhold til kvælstofeffektivitet og udbytte – ikke i forhold til klimaaftryk. Klimagasreduktionen ser desuden ud til at være omvendt af ammoniak fordampning, og der skal derfor findes en balance og eventuelt udvikles strategier og teknikker, der optimerer på alle parametre.

I rapporten indgår omkostninger for landmændene til klimaoptimeret gødskning med et interval fra 0-200 kr. pr. ton reduceret CO<sub>2</sub>e, hvilket svarer til en samlet omkostning på 0-100 mio. kr.

#### Ad 4.5 Biochar - pyrolyse

Som det fremgår af afsnit 4.5 ovenfor, er der usikkerhed om såvel den til rådighed værende mængde biomasse som konsekvenserne af en opskalering af pyrolyseteknologien.

Når det endvidere antages, at pyrolyse primært skal ske på fiberfraktionen fra biogasanlæggene, vil der være omkostninger forbundet med produktion af biochar, da den afgassede biomasse i fremtiden skal separeres, fortrinsvis ved brug af dekanter, da det giver størst tørstofindhold i fiberfraktionen. Der er dog på nuværende tidspunkt usikkerhed om hvilket økonomisk setup, der bliver etableret på biochar. Der er blandt andet usikkerhed om tilskudsordninger, økonomien i selve biochar-anlægget samt hvilke muligheder der er for salg af certifikater og biobrændstof med videre

Hvis vi lægger til grund af biochar ikke har en jordforbedrende effekt, anslås udbringningsomkostninger at udgøre op til ca. 200 kr. pr. t. CO<sub>2</sub>e. Der er endvidere en vis sandsynlighed for, at biochar bliver et salgsprodukt fra biogasanlæggene.

I rapporten anslås omkostninger for landmændene til biochar forsigtigt med et interval fra 0-270 kr. pr. ton reduceret CO<sub>2</sub>e, hvilket svarer til en samlet omkostning på 0-378 mio. kr.

#### Ad 4.6 Øget kulstoflagring i jord

Der er ikke kalkuleret med specifikke tiltag for at øge kulstofindlejringen i jorden og dermed hverken effekten på emissionen af CO<sub>2</sub> fra mineraljord i 2030 eller økonomien forbundet herved.

#### Ad 4.7 Dyrkning af græs til græsprotein

Jævnført tidligere afsnit er dyrkning af græs til bioraffinering til proteinrigt foder fortsat under udvikling og optimering. Potentialer er relativt stort, og der forventes at være økonomiske synergieffekter i forhold til at anvende biomassen i biogasproduktion. Der forventes fortsat at være offentlig støtte til anlægsinvesteringerne. Det forudsættes, at landmænd kun indgår i dyrkning af græs til græsprotein, hvis økonomien er på niveau med fortsat dyrkning af korn.

I rapporten indgår ingen omkostninger for landmændene til dyrkning af græs til græsprotein.

#### Ad 4.8 Økologi

Det vurderes, at der som udgangspunkt ikke er meromkostninger for den enkelte landmand ved at omlægge til økologi. Det må forudsættes, at omlægning til økologi kun sker, hvis den enkelte landmand vurderer, at det ikke forringer bedriftens økonomi inkl. tilskud.

I rapporten indgår ingen omkostninger for landmændene ved omlægning til økologi.

## 11.2 Kvæg

### Ad 5.1 Gylleforsuring i stald - Kvæg

Gylleforsuring er en kendt teknologi til ammoniakreduktion. Effekten er blevet korrigeret (ned) til 33 % på Miljøstyrelsens Teknologiliste. I den tidligere midlertidige optagelse på Teknologilisten var ammoniakreduktionen fastsat til 50 %. Det er en relativ dyr teknologi, som koster ca. 1,5 mio. kr./procesanlæg. Det gør, at teknologien kun er relevant i større kvægstalde.

I rapporten medregnes gylleforsuring i kvægstalde ikke som virkemiddel, der kan blive relevant inden 2030.

### Ad 5.2 Drænet fast gulv med gødningskrabere

For at opnå den ønskede CO<sub>2</sub>-effekt skal der foretages massive investeringer i nye stalde eller renovering af eksisterende frem mod 2030, hvor stalde ændres til fast drænet gulv med skraber og ajlefløb. Af hensyn til dyrevelfærd i kvægstalde med fast drænet gulv er anbefalingen, at der anvendes sand i sengebåsene. Problemet med sand i gyllen er dog, at gyllen ikke kan anvendes i biogasanlæg, medmindre der investeres i sandvaskere på ejendommene. Sandvaskere vil dog også medføre, at størstedelen af sandet kan genanvendes i stalde.

Effekten af dette virkemiddel medtages kun for de bedrifter, som kan forventes at blive bygget frem mod 2030. Fast drænet gulv er oprindeligt et miljøtiltag, som dog også har en afledt CO<sub>2</sub>e-reducerende effekt. Omkostningerne afholdes således i anden sammenhæng end i bestræbelserne på at reducere klimaaftrykket. Kun hvis virkemidlet som primært formål havde at reducere klimaaftrykket, ville omkostningerne skulle have været medregnet.

I rapporten indgår derfor ingen omkostninger for landmændene til fast drænet gulv.

### Ad 5.3 Foderadditiver til reduktion af enterisk metan

I forhold til virkemidler i form af tilsætning til kvægfoder kendes prisen aktuelt ikke. Et usikkert skøn for prisen på Bovaer® indikerer dog ca. 2,75 kr./ko/dag eller ca. 900 kr./årsko. Med disse forudsætninger medfører det en omkostning på 718 kr. pr. reduceret ton CO<sub>2</sub>e med Bovaer®.

I rapporten indgår omkostninger for landmændene til foderadditiver til reduktion af enterisk metan med et interval fra 500 til 800 kr. pr. tons reduceret CO<sub>2</sub>e, hvilket svarer til en samlet omkostning på 360 til 768 mio. kr.

### Ad 5.4 Fedt i foderet til reduktion af enterisk metan

For at øge andelen af fedt i foderet anvendes primært raps- og palmefedt. Anvendelsen af raps er forbundet med flere forudsætninger, da det både påvirker foderoptagelse, mælkemængden, mælkenes sammensætning, fodereffektivitet og metanproduktion alt afhængig af andelen af raps i foderrationen. Hos økologiske malkekøer er der substitution af palmefedt med rapsfedt.

Prisen på konventionelle og økologiske rapsfrø antages at ligge på henholdsvis 4,00 og 7,00 kr./kg rapsfrø. Dertil kommer 0,20 kr./kg til valsning/formaling. Nyeste dosis-respons-forsøg med rapsfrø viser et tab på ca. 1,0 kg EKM, når doseringen af rapsfrø øges fra ca. 35 til 50 gram fedtsyre<sup>40</sup>. Der regnes derfor med et dagligt tab i mælkeindtægt på 3,00 kr./ko og en daglig øget foderomkostning på 1,50 kr./ko. Det vil sige 1.462 kr./konventionel årsko for at reducere 0,25 ton CO<sub>2</sub>e og således 5.848 kr./ton CO<sub>2</sub>e-reduktion. Samlet set vil rapsfedt kunne reducere 122.500 ton CO<sub>2</sub>e (0,25 ton/årsko\*490.000) hos konventionelle køer og 9.375 ton CO<sub>2</sub>e (0,25/2\*75.000) hos økologiske malkekøer. Alt i alt ca. 0,13 mio. ton CO<sub>2</sub>e fra køer i Danmark på baggrund af antallet af køer i 2020.

Denne effekt reduceres dog af to forhold. For det første er en øget andel af fedt i foderet aktuelt kun relevant at anvende om vinteren for økologer. De konventionelle mælkeproducenter anvender i stedet foderadditiver, der som klimavirkemiddel er mere effektivt end øget andel af fedt i foderet. Således viser afprøvninger, at kombinationen af foderadditiver og øget andel af fedt i foderet kun giver effekt af førstnævnte. For det andet kan økologerne ikke anvende foderadditiver, og effekten af sommerfodring og øget andel af fedt i foderet er endnu ukendt. Derfor medregnes i denne rapport kun et reduktionspotentiale på 0,009 ton CO<sub>2</sub>e.

I rapporten indgår omkostninger for landmændene til øget andel af fedt i foderet til reduktion af enterisk metan med et interval fra 1.500 til 2.000 kr. pr. ton reduceret CO<sub>2</sub>e, hvilket svarer til en samlet omkostning på 14 til 18 mio. kr.

#### Ad 5.5 Avl

Det er muligt at reducere foderforbruget til mælkeproduktion yderligere ved at få en højere sikkerhed på avlsværdital for stofskifteeffektivitet. Det vil kræve en betydelig stigning i antallet af køer med registreringer af foderoptagelse. Det kan opnås ved at opstille CFIT-anlæg i mange flere besætninger. Med højere sikkerhed på indeks for stofskifteeffektivitet ville reduktionen i foderoptagelse efter seks års avlsarbejde være 30 kg tørstof/laktation. Med godt 505.000 årskøer i Danmark ville det betyde, at foderoptagelsen med konstant produktionsniveau ville blive reduceret med 15,2 mio. kg TS/år, hvilket svarer til en reduktion i metanudledningen på 9,3 CO<sub>2</sub>e/år.

Det vurderes, at opsætning i CFIT-udstyr i yderligere 25 besætninger vil øge datagrundlaget for avlsværditallet for stofskifteeffektivitet betydeligt efter en 5-års periode. Der er ikke en officiel indkøbspris på dette udstyr, men skønsmæssigt vil omkostningen udgøre ca. 1,5 mio. kr. for et gennemsnitsanlæg. Det betyder, at den totale investering vil være på omkring 35-40 mio. kr.

I rapporten indgår der ingen omkostninger for landmændene til avl.

#### Ad 5.6 Opfangning og reduktion af metan i kvægstalde

Klimaaftrykket reduceres ved at opsamle luft fra stalde i en sådan koncentration, at det er muligt at omdanne metanen til CO<sub>2</sub>. Det er dog endnu et virkemiddel under udvikling og derfor vanskeligt at vurdere omkostningen. Der må dog forventes en ekstra udgift til etablering af selve metanhuset på bedrifterne og ikke mindst til udvikling af teknologien, der skal omdanne metanen. Der vil derfor både være omkostninger forbundet med udvikling af teknologien samt til både etablering og drift, for eksempel elforbrug til ventilation i metanhuset samt en eventuel luftrensning eller tilkobling til et biogasanlæg.

I rapporten indgår der hverken reduktionspotentiale eller omkostninger for landmændene til opfangning og reduktion af metan i kvægstalde.

### **11.3 Grise**

#### Ad 6.1 Gylleforsuring i stald - Gris

Anlægget til staldforsuring i en grisestald er estimeret til en investering på 2,1 mio. kr. ved en staldstørrelse på 8.000 stipladser til slagtegrise<sup>70</sup>. Startomkostningen er estimeret til 1,7 mio. kr., og der tillægges 77 kr. pr. m<sup>2</sup> gyllekummeareal. Teknologien kan jævnfør leverandøren eftermonteres i de fleste stalde med vacuum rørudslusning.

Der er målt et gennemsnitligt el-forbrug på 1,5 kWh pr. produceret slagtegris i afprøvningerne<sup>42,43</sup>.

<sup>70</sup> Callesen, M.G. og Jacobsen, B.H. 2022. Omkostninger ved svovlforsuring på svinebedrifter. IFRO Dokumentation Nr. 12.

Svovlsyrens pris har længe ligget på 0,9-1,1 kr./kg, men aktuelt er prisen steget til 1,5 kr. pr. kg leveret med tankvogn.

I lageret er der ikke krav til flydelag eller overdækning, når gyllen er staldforsuret. 0,55-1,0 kg CaCO<sub>3</sub>/kg svovlsyre svarer til 3-7 kg ekstra CaCO<sub>3</sub> tilførsel til marken pr. produceret gris. Et øget kvælstofindhold i gyllen på grund af den mindre fordampning fra stald og lager samt mindre fordampning i forbindelse med udbringning vil bidrage med 0,4-0,5 kg ekstra kvælstof pr. produceret slagtegris. Værdien af det ekstra kvælstof vil svare til 3-5 kr. pr. produceret gris.

Gylle forsuret med svovlsyre vil have et højt indhold af svovl, som ved fuldgødsning vil ligge 3-4 gange højere end afgrødernes behov. Der er derfor ikke behov for tilførsel af svovl, hvilket har en værdi på 75-150 kr./ha eller 1,3-2,6 kr./produceret slagtegris.

I rapporten indgår omkostninger for landmændene til gylleforsuring med et interval fra 209-841 kr. pr. ton reduceret CO<sub>2</sub>e, hvilket svarer til en samlet omkostning på 5-23 mio. kr.

#### Ad 6.2 Hyppig gylleudslusning

I eksisterende slagtegrisestalde vil hyppig gylleudslusning betyde en merudgift i form af ekstra arbejde i forbindelse med, at gyllepropperne skal løftes én gang pr. uge. Denne udgift er omdiskuteret, men vil sandsynligvis betyde 1-3 kr. pr. produceret slagtegris. I nye stalde og evt. enkelte eksisterende stalde vil der blive monteret et automatisk spjæld med logning af tidspunkter for udslusning. I den nye lovgivning vil dette være et krav, når stalden er over en given størrelse.

Et priseksempel i en slagtegrisestald med 12 sektioner og 12 automatiske elektriske spjæld er 240.000 kr. I denne pris er inkluderet automatisk styring og logning af tidspunkt samt automatisk overpumpning til gyllebeholder. Med et sådant anlæg spares arbejdsforbruget til manuelle løft af gyllepropper ved traditionel udslusning, hvilket skal modregnes omkostningen. Der arbejdes på at udvikle teknologi i eksisterende stalde til automatisk løft af gyllepropper under spalterne, som aktiveres pneumatisk. Test af løsningerne er i gang, men en konkret pris på anlægget kendes ikke endnu.

I rapporten indgår omkostninger for landmændene til hyppig gylleudslusning med et interval fra 174-219 kr. pr. ton reduceret CO<sub>2</sub>e, hvilket svarer til en samlet omkostning på 20-26 mio. kr.

#### Ad 6.3 Linespilsanlæg

I drægtighedsstalder vurderes der ikke at være væsentlige meromkostninger ved at installere linespilsanlæg frem for rørudslusning. Årsagen er, at løbe-/drægtighedsstalder er store staldrum, hvor der typisk monteres et eller to linespilsanlæg. Hertil skal lægges omkostningen ved opbygningen af tværkanalen, men modregnet omkostningen til rørudslusningssystemet samt krav til automatisk logning af hyppig udslusning når der anvendes rørudslusning.

I slagtegrisestalde er meromkostningen ved linespil beregnet til at udgøre 1-8 kr./produceret slagtegris<sup>71</sup>. Omkostningen vil afhænge af størrelsen på sektionen. Den laveste omkostning er beregnet for en stald med ca. 1.000 stipladser pr. sektion, mens den højeste omkostning er beregnet for en stald med ca. 330 stipladser pr. sektion.

Farestalde er arealmæssigt forholdsvis små sektioner, og merinvesteringen til linespilsanlæg vil derfor ud fra ovenstående beregning på slagtegrisestalde ligge på en investering på 2.000-3.000 kr./faresti, hvilket svarer til en omkostning på 50-75 kr./årsso i besætningen.

<sup>71</sup> Christiansen, M.G. 2022. Økonomi i linespilsanlæg til slagtegrise. Magasinet Gris, Byggeri special, s. 52-53.

I rapporten indgår omkostninger for landmændene til linespilsanlæg med et interval fra 329-823 kr. pr. ton reduceret CO<sub>2</sub>e, hvilket svarer til en samlet omkostning på 26-66 mio. kr.

#### Ad 6.4 Gyllekøling

I so- og smågrisestalde vil der ikke være en meromkostning pr. dyr ved at installere gyllekølingsanlæg, da anlægget vil forsyne stalden med varme. Denne varme erstatter et evt. oliefyr, og nok er investeringen i gyllekølingsanlægget større end til et oliefyr, men prisen for 1 kWh varme er en del billigere ved at bruge el til varmepumpe frem for olie til oliefyr. Samtidig er CO<sub>2</sub>-emissionen ved el-forbruget til varmepumpen kun ca. 40 % af CO<sub>2</sub>-emissionen ved anvendelse af olie.

Det er sjældent, at so- og smågrisestalde anvender udekøler til varmepumpe. I slagtegrisestalde vil gyllekølingsanlæg være forbundet med en meromkostning. Årsagen er, at der ikke er et stort varmebehov i stalden, og det derfor ofte vil være nødvendigt at "heatdumpe" varme i en udvendig kalorifere, hvilket afhænger af miljøkravet til gyllekøling.

I rapporten indgår omkostninger til gyllekøling på 494-503 kr. pr. ton reduceret CO<sub>2</sub>e for hele grisesektoren, hvilket svarer til en samlet omkostning på 7-9 mio. kr. Der er dog stor forskel mellem smågrise og slagtegrise, jævnfør ovenfor. Opdelt på smågrise og slagtegrise varierer omkostningen fra henholdsvis 0 til næsten 3.000 kr. pr. ton reduceret CO<sub>2</sub>e.

#### Ad 6.5 Klimaoptimeret foder og udvikling i produktiviteten

Klimaeffekten udgøres hovedsageligt af forbedret fodereffektivitet, som opnås gennem avlsarbejdet og ved at følge "best practice". Implementering af disse tiltag er en proces, der er drevet af den økonomiske gevinst, som disse handlinger medfører.

I rapporten indgår derfor ingen omkostninger for landmændene til klimaoptimeret foder og udvikling i produktivitet.

#### Ad 6.6 Synergi, hyppig udslusning/linespil og biogas/lagerbehandling

Grisestalde med en kort opholdstid af gylle i stalden som følge af hyppig udslusning eller linespil i kombination med biogas eller anden lagerbehandling har en større klimaeffekt, end virkemidlerne der er anvendt hver for sig. Det medfører ikke yderligere omkostninger for landmændene at opnå synergieffekten, da omkostninger er afholdt i de respektive virkemidler.

I rapporten indgår derfor ingen omkostninger for landmændene i forbindelse med at opnå synergi ved hyppig udslusning/linespil og biogas.

### **11.4 Lagerbehandling – Kvæg og Gris**

#### Ad 7.1 Biogas

For at kunne afsætte gylle og dybstrøelse til et biogasanlæg, skal det undersøges, om der er et biogasanlæg i nærheden, og om de har ledig kapacitet. Det er ikke alle biogasanlæg, der har de tekniske installationer til at håndtere dybstrøelse. Derudover er der flere af biogasanlæggene, der ikke modtager husdyrgødning fra bedrifter med sand i sengebåsene, medmindre der er installeret en sandvasker, og typisk ønsker biogasanlæggene ikke at modtage forsuret gylle. Derudover skal der være tilkørselsforhold samt en fortank, hvorfra gylle kan hentes.

Tunge gylletrailere til transport af gylle og afgasset biomasse vil medføre slid på tilkørselsvejene hos landmændene, og vil dermed øge vedligeholdelsesomkostningerne. Øgede omkostninger kan eventuelt også ses



ved udbringning af biochar på landbrugsjorden. Hvordan denne udbringning bedst skal ske i praksis, undersøges stadig, hvorfor omkostningerne forbundet med denne post ikke umiddelbart kan kvantificeres.

I rapporten indgår omkostninger for landmændene til biogas med et interval fra 86-136 kr. pr. ton reduceret CO<sub>2</sub>e, hvilket svarer til en samlet omkostning på 19-30 mio. kr.

#### Ad 7.2 Forsuring af gylletanke

Forudsætning for omkostningsberegningen ved forsuring i gylletanke er et arbejdsforbrug på to dage for maskinstationen og en syrepris på 2 kr./kg svovlsyre. Ved for eksempel to gylletanke á 2.500 m<sup>3</sup> skal der anvendes 10-15 ton svovlsyre. Samlet omkostning svarer til ca. 40.000-50.000 kr. for lavdosisforsuring af 5.000 m<sup>3</sup> gylle svarende til 8-10 kr./m<sup>3</sup> gylle.

Det forventes, at en stor andel af gylletankene vil være teltoverdækkede i 2030. Aktuelt estimeres det, at 10-15 % af kvæggylletankene og 25-30 % af grisegylletankene er overdækkede. Der gives på nuværende tidspunkt tilskud til teltoverdækninger, hvilket sparer lagerkapacitet og reducerer omkostningen til udbringning. I nedenstående afsnit om fakkelafløb og biologisk oxidering af metan vil det være en forudsætning at gylletankene er teltoverdækkede.

#### Ad 7.3 Fakkelafløb af metan fra gylletank

Der er usikkerhed om omkostningen ved anskaffelse og etablering af et anlæg til fakkelafløb. Forudsætningerne for omkostningsberegningen er, at landmanden skal investere i tætning af teltoverdækning, sugeslange, H<sub>2</sub>S-filter, pumpe, brænder, støttegas og styring, som anslås til at koste ca. 400.000 kr. Der må forventes en kort afskrivningstid på pumpen, da gassammensætningen under teltoverdækningen vil være meget aggressiv på grund af blandt andet svovlbrinte og høj luftfugtighed i luften. Endvidere skal H<sub>2</sub>S-filteret vedligeholdes, og der skal evt. indkøbes støttegas.

Samlet omkostning svarer til ca. 50.000 kr./år, hvilket til et anlæg til 5.000 m<sup>3</sup> gylle svarer til en omkostning på 10 kr./m<sup>3</sup> gylle. Det svarer til 850-890 kr./ton CO<sub>2</sub>e ved anvendelse af DCE emissionsfaktoren, mens det svarer til henholdsvis 720 kr. for kvæggylle og 295 kr./ton CO<sub>2</sub>e fra grisegylle, hvis emissionsfaktorerne i Aarhus Universitets udkast til virkemiddelkatalog anvendes.

#### Ad 7.4 Biologisk oxidering af metan fra gyllebeholder

Der kan endnu ikke godtgøres for omkostningen i forbindelse med kompostfilter, da der endnu refter et udviklingsbehov. Der er derfor opstillet følgende forudsætninger for omkostningsberegningen. Der skal investeres i tætning af teltoverdækning, sugeslange, pumpe og kompostfilter, som anslås til 400.000-500.000 kr. Der må forventes en kort afskrivningstid på pumpen, da gassammensætningen under teltoverdækningen vil være meget aggressiv, på grund af blandt andet svovlbrinte og høj luftfugtighed. Samlet omkostning svarer dermed til ca. 45.000-55.000 kr./år, hvilket til et anlæg til 5.000 m<sup>3</sup> gylle medfører en omkostning på 9-11 kr./m<sup>3</sup> gylle. Det svarer til 730-850 kr./ton CO<sub>2</sub>e ved brug af emissionsfaktorerne fra den nationale opgørelse fra DCE, mens det svarer til henholdsvis 590 kr. for kvæggylle og 300 kr./ton CO<sub>2</sub>e fra grisegylle, hvis emissionsfaktorerne i Aarhus Universitet-udkast til virkemiddelkatalog anvendes.

I rapporten anvendes emissionsfaktorer fra AU, således at effekten og anslåede omkostninger for landmændene til alternativerne forsuring af gylletanke, fakkelafløb af metan fra gylletanke samt biologisk oxidering af metan fra gyllebeholder indgår med et interval fra 386 til 452 kr. pr. ton reduceret CO<sub>2</sub>e, hvilket svarer til en omkostning på ca. 120 til 148 mio. kr. for de tre virkemidler.

## **11.5 Fjerkræ**

### **Ad 8.1 Etablering af gødningsbånd**

Ved etablering af gødningsbånd i fjerkræstalde vil det pålægge landmanden en ekstra udgift til gødningsbånd på ca. 75.000 kr./stald, hvis der allerede findes etagesystem.

I rapporten indgår omkostninger for landmændene til etablering af gødningsbånd med et interval fra 400-500 kr. pr. ton reduceret CO<sub>2</sub>e, hvilket svarer til en samlet omkostning på 2-3 mio. kr.

### **Ad 8.2 Varmevekslere til fjerkræstalde**

Udgiften til installation af varmeveksler forventes at være ca. 500.000 kr./stald af 10.000 høner.

I rapporten indgår omkostninger for landmændene til installation af varmevekslere i fjerkræstalde med et interval fra 0-100 kr. pr. ton reduceret CO<sub>2</sub>e, hvilket svarer til en samlet omkostning på 0-3 mio. kr.

### **Kvælstofindsatser, landbrugsaftalen og EU's landbrugsreform CAP2027**

Der er indregnet effekten af tidligere vedtagne reformer, henholdsvis kvælstofindsatser fra vandområdeplaner samt diverse initiativer i landbrugsaftalen og EU's nugældende landbrugsreform CAP2027. Effekterne herfra følger myndighedernes beregninger og egne beregninger af de kvantificerbare elementer i reformerne<sup>72</sup>.

---

<sup>72</sup> Kaiser, K. et al. 2021. Regeringsoplæggets konsekvenser for landbruget, SEGES Innovation.

## 11.6 Reduktionspotentiale og omkostninger for landmanden

Tabel 11.3 viser totaloversigten over virkemidler, deres reduktionspotentiale samt årlige omkostninger i alt og de enkelte virkemidlers årlige omkostning pr. tons reduceret CO<sub>2</sub>.

Tabel 11.3 Samlet reduktionspotentiale og årlige omkostninger fordelt på virkemidler.

Virkemiddel	Implementering, udviklingssporet og yderligere udvikling, mio. ton CO <sub>2</sub> e		Omkostninger i alt, mio. kr.		Omkostninger, kr. pr. ton CO <sub>2</sub> e	
	Nedre	Øvre	Nedre	Øvre	Nedre	Øvre
<b>Klimavirkemidler mark</b>						
4.1 Udtagning af kulstofrige lavbundsjord	1,920	2,480	67	335	35	135
4.2 Skovrejsning	0,120	0,120	0	0	0	0
4.3 Nitrifikationshæmmere	0,395	0,441	486	732	1.230	1.659
4.4 Klimaoptimeret gødningsanvendelse	0,400	0,500	0	100	0	200
4.5 Biochar - Pyrolyse	0,000	1,400	0	378	0	270
4.7 Dyrkning af græs til græsprotein	0,079	0,158	0	0	0	0
4.8 Økologi	0,168	0,600	0	0	0	0
<b>Klimavirkemidler kvæg</b>						
5.2 Drænet fast gulv med gødningskrabere	0,056	0,066	0	0	0	0
5.3 Foderadditiver til reduktion af enterisk metan	0,720	0,960	360	768	500	800
5.4 Fedt i foderet til reduktion af enterisk metan	0,009	0,009	14	18	1.500	2.000
5.5 Avl	0,003	0,008	0	0	0	0
<b>Klimavirkemidler – Gris</b>						
6.1 Gylleforsuring i stald – Gris*	0,022	0,027	5	23	209	841
6.2 Hyppig gylleudslusning	0,115	0,120	20	26	174	219
6.3 Linespilsanlæg	0,075	0,080	25	66	329	823
6.4 Gyllekøling**	0,015	0,017	7	9	494	503
6.5 Klimaoptimeret foder og udvikling i produktivitet	0,132	0,132	0	0	0	0
6.6 Synergi, hyppig udslusning/linespil og lagerbehandling	0,055	0,057	0	0	0	0
<b>Lagerbehandling – Kvæg og Gris</b>						
7.1 Biogas	0,220	0,220	19	30	86	136
7.2 Forsuring gylletanke	0,311	0,311	124	145	398	465
7.3 Fakkelaftbrænding af metan fra gylletank	0,264	0,264	101	119	384	451
7.4 Biologisk oxidering af metan fra gyllebeholdere	0,290	0,290	109	128	375	440
Effekt af ikke additive virkemidler 7.2, 7.3 og 7.4	0,311	0,328	124	153	386	452
<b>Klimavirkemidler – Fjerkræ</b>						
8.1 Gødningsbånd	0,005	0,005	2	3	400	500
8.2 Varmevekslere til fjerkræstalde	0,028	0,028	0	3	0	100
<b>Produktionsgrundlagsændringer frem til 2030</b>						
9.1 Mark	0,630	0,630	0	0	0	0
9.2 Kvæg	0,127	0,127	0	0	0	0
9.3 Gris	0,051	0,051	0	0	0	0
<b>SEGES Innovation beregninger i alt</b>	<b>5,656</b>	<b>8,564</b>	<b>1.124</b>	<b>2.637</b>		
<b>Landbrugsaftale øvrige elementer</b>						
Kvælstofindsatser	0,640	0,640	0	0	0	0
Besluttede tiltag i landbrugsaftalen – øvrige tiltag	0,200	0,200	0	0	0	0
I alt implementeringssporet, ekskl. CAP	6,496	9,404	1.098	2.596		
EU's landbrugsreform CAP2027	0,380	0,380	463	463	1.200	1.200
<b>I alt implementerings- og udviklingsspor, inkl. CAP</b>	<b>6,876</b>	<b>9,784</b>	<b>1.587</b>	<b>3.100</b>		

\*Anslået af Klimarådet. \*\*Forskel på søer og slagtegrise, jf. afsnit 11.3 underpunkt 6.4

Note: I forhold til Tabel 10.1 er der kun medtaget de virkemidler, som har en CO<sub>2</sub>-reducerende effekt. Desuden er virkemidlerne fra etablerings- og udviklingssporet samt yderligere udvikling samlet.

Der er relativ stor usikkerhed forbundet med både virkemidlernes reduktionspotentiale og med omkostningerne ved flere af virkemidlerne. Der anvendes derfor forholdsvis brede intervaller for såvel reduktionspotentiale som de tilknyttede omkostninger.

I Tabel 11.4-11.6 vises de virkemidler, som driftsgrenene har til rådighed samt deres andel af de enkelte virkemidlers potentiale og årlige omkostninger for de af virkemidlerne, der tages i brug. Hvis alle virkemidler benyttes fuldt ud, ses det eksempelvis, at omkostningen for planteavl ligger i intervallet 417-778 mio. kr. pr. år.

Tabel 11.4 Samlet reduktionspotentiale og årlige omkostninger fordelt på virkemidler – Planteavlere.

Virkemiddel	Implementering, udviklingssporet og yderligere udvikling, mio. ton CO <sub>2</sub> e		Omkostninger i alt, mio. kr.		Omkostninger, kr. pr. ton CO <sub>2</sub> e	
	Nedre	Øvre	Nedre	Øvre	Nedre	Øvre
<b>Planter</b>						
Skovrejsning	0,065	0,065	0	0	0	0
Dyrkning af græs til græsprotein	0,071	0,142	0	0	0	0
Besluttede tiltag i landbrugsaftalen – øvrige tiltag	0,108	0,108	0	0	0	0
Økologi	0,118	0,420	0	0	0	0
Kvælstofindsatser	0,346	0,346	0	0	0	0
Produktionsgrundlagsændringer frem til 2030	0,630	0,630	0	0	0	0
Udtagning af kulstofrige lavbundsjord	0,576	0,744	20	100	35	135
Klimaoptimeret gødningsanvendelse	0,216	0,270	0	54	0	200
Biochar - Pyrolyse	0,000	0,350	0	95	0	270
EU's landbrugsreform CAP2027	0,110	0,110	134	134	1.200	1.200
Nitrifikationshæmmere	0,213	0,238	262	395	1.230	1.660
<b>Planter i alt</b>	<b>2,453</b>	<b>3,423</b>	<b>417</b>	<b>778</b>		

Tabel 11.5 Samlet reduktionspotentiale og årlige omkostninger fordelt på virkemidler – Kvæg.

Virkemiddel	Implementering, udviklingssporet og yderligere udvikling, mio. ton CO <sub>2</sub> e		Omkostninger i alt, mio. kr.		Omkostninger, kr. pr. ton CO <sub>2</sub> e	
	Nedre	Øvre	Nedre	Øvre	Nedre	Øvre
<b>Kvæg</b>						
Dyrkning af græs til græsprotein	0,003	0,006	0	0	0	0
Avl	0,003	0,008	0	0	0	0
Skovrejsning	0,025	0,025	0	0	0	0
Besluttede tiltag i landbrugsaftalen – øvrige tiltag	0,042	0,042	0	0	0	0
Drænet fast gulv med gødningskrabere	0,056	0,066	0	0	0	0
Økologi	0,042	0,150	0	0	0	0
Produktionsgrundlagsændringer frem til 2030	0,127	0,127	0	0	0	0
Kvælstofindsatser	0,134	0,134	0	0	0	0
Udtagning af kulstofrige lavbundsjord	0,614	0,794	22	107	35	135
Klimaoptimeret gødningsanvendelse	0,084	0,105	0	21	0	200
Biochar - Pyrolyse	0,000	0,490	0	132	0	270
Biogas	0,150	0,150	13	20	86	136
Foderadditiver til reduktion af enterisk metan	0,720	0,960	360	768	500	800
Effekt af ikke additive virkemidler 7.2, 7.3 og 7.4	0,103	0,108	40	49	386	452
EU's landbrugsreform CAP2027	0,205	0,205	250	250	1.200	1.200
Nitrifikationshæmmere	0,083	0,093	102	154	1.230	1.660
Fedt i foderet til reduktion af enterisk metan	0,009	0,009	14	18	1.500	2.000
<b>Kvæg i alt</b>	<b>2,401</b>	<b>3,472</b>	<b>800</b>	<b>1.519</b>		

Tabel 11.6 Samlet reduktionspotentiale og årlige omkostninger fordelt på virkemidler – Grise.

Virkemiddel	Implementering, udviklingssporet og yderligere udvikling, mio. ton CO <sub>2</sub> e		Omkostninger i alt, mio. kr.		Omkostninger, kr. pr. ton CO <sub>2</sub> e	
	Nedre	Øvre	Nedre	Øvre	Nedre	Øvre
<b>Grise</b>						
Dyrkning af græs til græsprotein	0,003	0,006	0	0	0	0
Skovrejsning	0,023	0,023	0	0	0	0
Økologi	0,007	0,024	0	0	0	0
Synergi, hyppig gylleudslusning/linespil og lagerbehandling	0,055	0,057	0	0	0	0
Besluttede tiltag i landbrugsaftalen – øvrige tiltag	0,038	0,038	0	0	0	0
Produktionsgrundlagsændringer frem til 2030	0,051	0,051	0	0	0	0
Klimaoptimeret foder og udvikling i produktivitet	0,132	0,132	0	0	0	0
Kvælstofindsatser	0,122	0,122	0	0	0	0
Udtagning af kulstofrige lavbundsjord	0,346	0,446	12	60	35	135
Biogas	0,070	0,070	6	10	86	136
Klimaoptimeret gødningsanvendelse	0,076	0,095	0	19	0	200
Hyppig gylleudslusning	0,115	0,120	20	26	174	219
Biochar – Pyrolyse	0,000	0,476	0	129	0	270
Effekt af ikke additive virkemidler (7.2, 7.3 og 7.4)	0,208	0,220	80	99	386	452
Gyllekøling**	0,015	0,017	7	9	494	503
Linespilsanlæg	0,075	0,080	25	66	329	823
Gylleforsuring i stald – Gris	0,022	0,027	5	23	209	841
EU's landbrugsreform CAP2027	0,038	0,038	46	46	1.200	1.200
Nitrifikationshæmmere	0,075	0,084	92	139	1.230	1.660
<b>Grise i alt</b>	<b>1,471</b>	<b>2,126</b>	<b>294</b>	<b>625</b>		

\*\*Forskel på søer og slagtegrise, jævnfør afsnit 11.3 underpunkt 6.4.

Af Tabel 11.7 fremgår det summerede reduktionspotentiale i forhold til landbrugets samlede udledning samt reduktionspotentialet for de enkelte driftsgrene i forhold til driftsgrenenes udledning.

Beregningerne viser, at den overordnede målsætning for landbrugets reduktion af CO<sub>2</sub>e på 7,75 mio. tons ligger inden for intervallet af det opnåelige med de virkemidler, der forventes at være til rådighed frem mod 2030, idet reduktionspotentialet ligger i intervallet 6,88-9,78 mio. ton CO<sub>2</sub>e. Det svarer til et reduktionspotentiale på henholdsvis 88,5 og 125,9 % af reduktionsmålsætningen på 7,75 mio. ton CO<sub>2</sub>e.

Set i forhold til reduktionsmålsætningen i procent af den samlede udledning i 2020 på 14,73 mio. ton CO<sub>2</sub>e svarer de 7,75 mio. ton til ca. 52,6 %. Denne målsætning ligger tilsvarende inden for reduktionspotentialet, der kan beregnes til et interval på 46,7 og 66,4 % af den samlede udledning.

Tabel 11.7 Reduktionsbehov og reduktionspotentiale.

	Fordeling af reduktion							
	Alle		Planter		Kvæg		Grise	
Udledning i 2020, mio. ton CO <sub>2</sub> e	14,73		3,66		7,47		2,86	
Reduktionsbehov, mio. ton CO <sub>2</sub> e	7,75							
	Nedre	Øvre	Nedre	Øvre	Nedre	Øvre	Nedre	Øvre
Reduktionspotentiale via tiltag, mio. ton CO <sub>2</sub> e	6,88	9,78	2,45	3,42	2,40	3,50	1,47	2,13
Reduktion i forhold til udledning, %	46,7	66,4	67,0	93,5	32,2	46,1	51,4	74,3

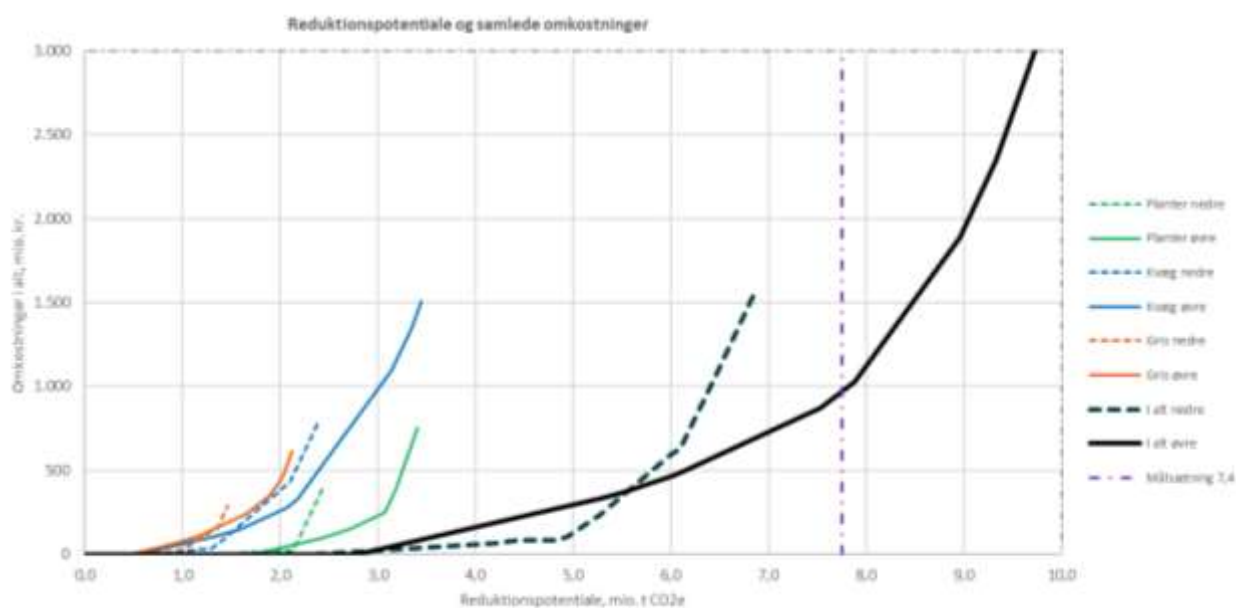
I Figur 11.1 illustreres landmændenes samlede årlige omkostninger ved anvendelse af klimavirkemidlerne samt virkemidlernes reduktionspotentiale. Heraf fremgår det blandt andet, hvilke omkostninger der er forbundet med at nå et givent reduktionsmål.

Heraf fremgår det, at en reduktion på op til næsten 3 mio. tons CO<sub>2</sub>e ikke er forbundet med omkostninger. Det skyldes, som gennemgået ovenfor, at en stor del af reduktionen opnås gennem et ændret produktionsgrundlag, forventet støtte/tilskud, løbende effektiviseringer og produktivitetsudvikling.

Herefter bliver intervallet for både reduktionspotentiale og omkostningerne relativt bredt, hvilket afspejler den store usikkerhed forbundet med anvendelse af virkemidlerne samt de dertil knyttede omkostninger. Eksempelvis vil det samlede set koste landmændene mellem ca. 0,6 og 1,0 mia. kr. årligt at opnå en reduktion på 6,5 mio. ton reduceret CO<sub>2</sub>e.

På tilsvarende vis kan der foretages en vurdering af de enkelte driftsgrenes potentiale og omkostninger, både absolut og relativt til hinanden. Grisesektorens virkemidler synes forholdsvis begrænsede, men til gengæld er omkostningen lav. Modsat har plantesektoren et stort potentiale til lidt højere omkostninger. Kvægsektorens potentiale er middelstort, men med relativt høje omkostninger.

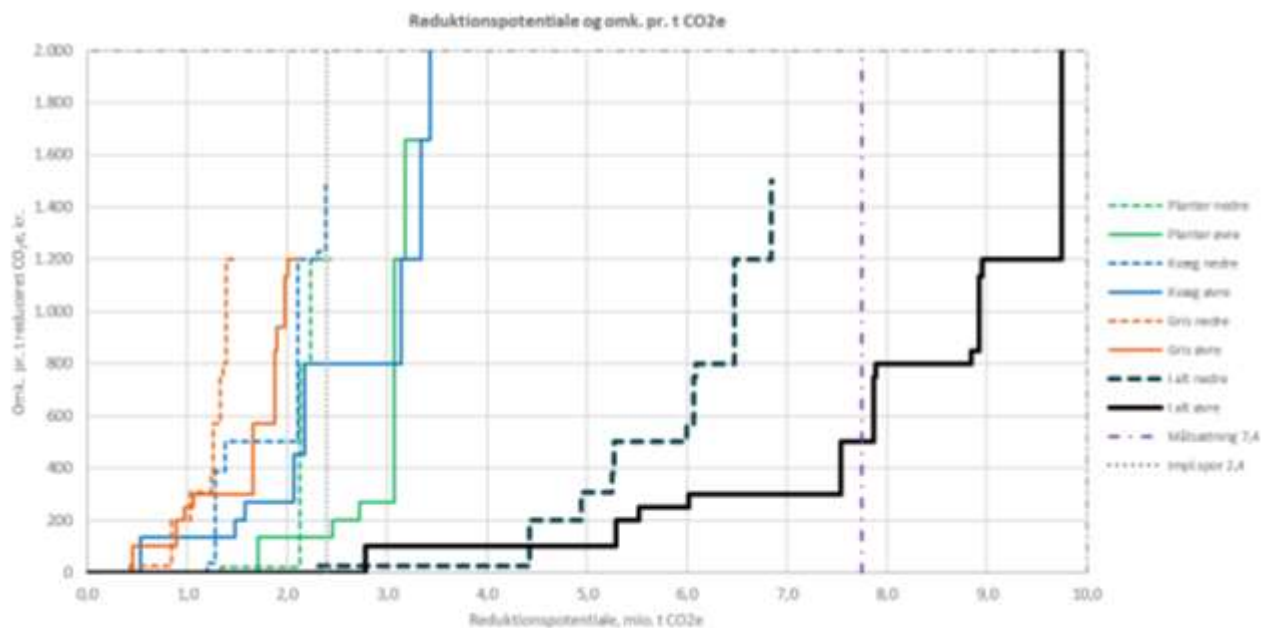
Figur 11.1 Reduktionspotentiale og samlede årlige omkostninger for plante-, grise- og mælkeproducenter samt alle landbrug



Figur 11.2 viser reduktionspotentialet holdt op imod omkostningerne pr. tons reduceret CO<sub>2</sub>. Det fremgår blandt andet hvilke omkostningsniveauer, der bliver aktiveret med de enkelte virkemidler for at opnå et givent reduktionsmål. For eksempel vil et reduktionsmål på 6,5 mio. ton CO<sub>2</sub>e skulle bringe virkemidler i brug, hvor omkostningen ligger mellem 300-800 kr. pr. ton reduceret CO<sub>2</sub>e.

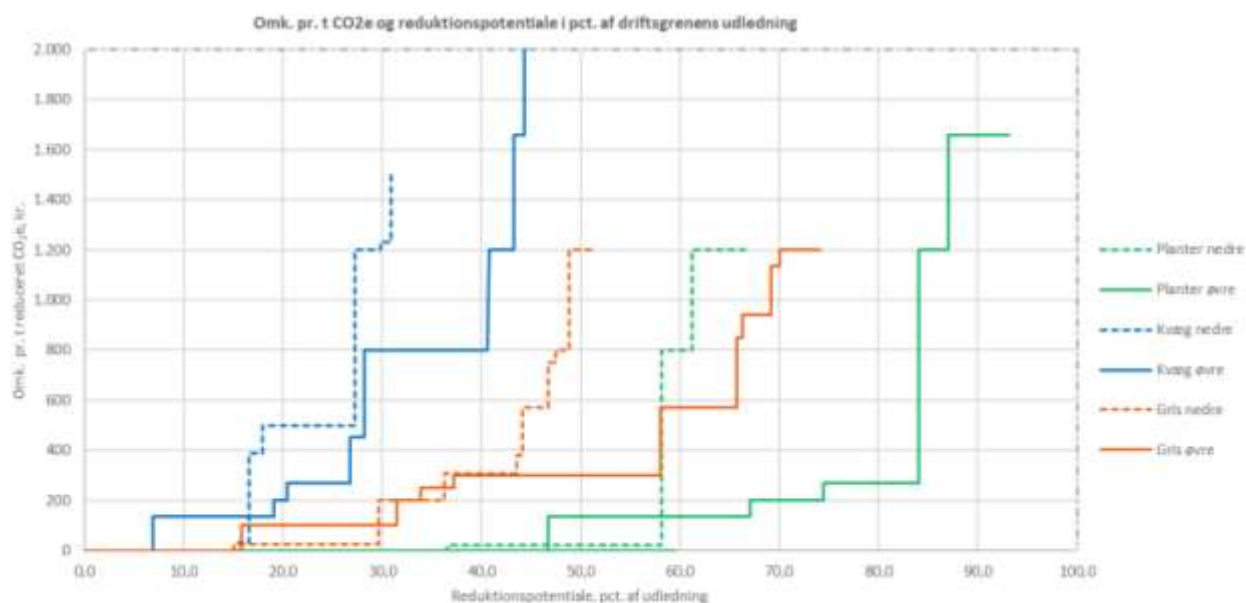
Af figuren fremgår tillige omkostningerne for de enkelte driftsgrene ved deres respektive reduktionspotentiale. Eksempelvis vil et reduktionsmål på 1,5 mio. ton i kvægsektoren skulle bringe virkemidler i brug, hvor omkostningen ligger mellem 300-500 kr. pr. ton reduceret CO<sub>2</sub>e.

Figur 11.2 Reduktionsomkostningskurve for plante-, grise- og mælkeproducenter samt alle landbrug



Figur 11.3 viser hvor stor en andel af driftsgrenens egen udledning, den er i stand til at reducere, holdt op imod omkostningerne forbundet med anvendelse af virkemidlerne.

Figur 11.3 Reduktionsomkostningskurve for plante-, grise- og mælkeproducenter i pct. af driftsgrenens udledning



Som det ses, er planteavlerne tættest på at kunne neutralisere CO<sub>2</sub>-udledningen fra deres egen sektor med en opfyldningsgrad på mellem 67 % og 93,5 %. Den sidste del af reduktionen er dog forbundet med relativt høje omkostninger.

Griseproducenterne er i stand til at reducere i intervallet mellem 51,4 % og 74,3 % af CO<sub>2</sub>-udledningen fra deres egen sektor. Også her er de sidste reduktionsomkostninger høje.

Kvægsektoren synes at kunne reducere mellem 32,2 % og 46,1 % af egen udledning. Omkostningerne bliver relativt høje, når reduktionen overstiger en fjerdedel af egen udledning.

Gennemgående synes plantesektoren at være i stand til at overopfylde reduktionskravene, mens behovet for at udvikle og effektivisere virkemidler samt reducere omkostningerne på virkemidler er størst i kvægsektoren, hvis målsætningen for CO<sub>2</sub>-udledningen skal honoreres senest i 2030.



## 12. Anbefaling til udviklings- og innovationsbehov frem mod 2030

En lang række af de beskrevne virkemidler er allerede i gang med at blive udviklet, og mange er allerede implementeret på landbrugsbedrifterne i forskelligt omfang. Der er dog stadig et massivt behov for at investere yderligere i forskning, udvikling og innovation for at kunne opnå den fulde mitigerende effekt af virkemidlerne i 2030, idet de skal tage højde for varierende forhold i praksis. Dertil kommer, at der stadig er en lang række virkemidler, der er tidligt i udviklingsstadiet og stadig mangler substantiel investering i test og dokumentering før, at de kan implementeres i praksis.

Dertil kommer, at der yderligere er et behov for forskning og innovation i forhold til at udvikle incitamentsmodeller og strukturer i hele værdikæden.

### 12.1 Mark

Der er behov for mere detaljeret viden om emissionerne fra tørvejorde med 6-12 % OC samt effekten af vandstand. Derudover er der behov for en opdateret kortlægning af de kulstofrige jorde. Denne bør også inddrage grundvandsstand sådan, at emissionerne kan estimeres mere præcist. Ligeledes bør der arbejdes på at finde løsninger på eventuelle fosforlækager for at muliggøre udtagning og vådlægning af så stort et areal som muligt. Der er igangsat forskningsaktiviteter på området, men hvis der skal implementeres i fuldt niveau, skønnes det, at der skal bruges ca. 18-22 mio. kr. om året til yderligere forskning frem mod 2030.

Inden for skovrejsning kan det allerede nu dokumenteres, at effekten afhænger af flere forhold, herunder hvilke træarter, der etableres på arealerne<sup>73</sup>. Det vurderes, at der i tilskudsordninger med fordel kan sættes mere fokus på at sikre viden og anbefalinger vedrørende, hvilke faktorer der påvirker klimaeffekterne. Hermed vil man kunne få en optimeret klimaeffekt af indsatsen. Samtidig er der mange andre ønsker til skoven og dens funktion. Der er ønsker til øget biodiversitet, til kvælstoftilbageholdelse og til diverse rekreative forhold. Derfor bør der udvikles på, hvordan man kan etablere skov, der opfylder flere formål. Der vurderes et årligt behov på ca. 1 mio. kr.

Gødningsstrategier og management har sammen med vejrtilstand meget stor betydning for lattergasemissionen i den enkelte mark. Der ligger et meget stort potentiale i at reducere lattergasemissionerne ved at klimaoptimere gødningsstrategier og -management, men det kræver yderligere forskning/innovation. Man begynder at se nogle effekter af f.eks. vinter- vs. vårafgrøder eller udbringningsteknikker for husdyrgødning, men der er behov for yderligere forskning/innovation på området. Det gælder generelt for effekt af sædskifter, behandling af gylle, gylleudbringningsteknikker, timing og split af gødningstildeling, effekter af jordbundsforhold f.eks. vandmætning, omlægning af efterafgrøder og græsmarker og så videre

Der er også behov for bedre modeller – både videnskabelige og mere forsimplede – som kan beregne og prædiktere lattergasemission. Simple modeller skal kunne fungere baseret på tilgængelige vejr- og aktivitetsdata. Generelt skal især den rumlige opløsning for modellerne forbedres, så man kan regne og prædiktere på markniveau og udvikle managementværktøjer til landmændene.

Der skal udarbejdes helt nye gødningsstrategier, som tager højde for optimeret valg af gødningstyper og timing i forhold til vejrlig. Strategierne for anvendelse af husdyrgødning skal ændres og optimeres i forhold til udbringningsteknik og timing i forhold til vejrlig og afgrødens vækst. Samtidig skal der udvikles strategier for anvendelse af den tynde fraktion fra afgasset gylle samt andre typer af afgasset biomasse. Forskning/innovationsbehovet er derfor stort, og der skal udvikles værktøjer til landbruget. Det skønnes, at der skal bruges 30-40 mio. kr. om året frem mod 2030.

<sup>73</sup> Johannsen, V. K., Nord-Larsen, T., Vesterdal, L. og Bentsen, N. S. 2019. Kulstofbinding ved skovrejsning. Sagsnotat. Københavns Universitet.

Der er allerede igangsat og gennemført en række markforsøg med lattergasmålinger, som måler effekten af nitrifikationshæmmere i forskellige afgrøder og på forskellige gødningstyper. Yderligere forsøg er i pipeline, og alt efter, hvad disse viser, kan det være, at det er tilstrækkelig dokumentation til at medtage nitrifikationshæmmere som et virkemiddel i de nationale opgørelser. Det kommer dog an på især vejrforholdene under forsøgene de kommende år, og derfor kan det ikke siges med sikkerhed, hvor mange yderligere forsøg, der er behov for. Dog kan det siges, at klimaeffekten for anden anvendelse af nitrifikationshæmmere f.eks. ved nedmuldning af kløvergræs kræver yderligere dokumentation. Endelig kan der også være behov for yderligere forskning på afledte miljøeffekter af nitrifikationshæmmere for at sikre, at der ikke sker en skadelig miljøpåvirkning ved anvendelsen af disse, udover det innovationsfondsprojekt der beskæftiger sig med denne problemstilling. Dette vil kræve yderligere forsøg og dokumentation. Det estimeres, at der skal bruges ca. 5-7 mio. kr. om året til yderligere forskning frem mod 2030.

Hvis målsætningerne i Landbrugsaftalen omkring en reduktion på 2 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år i 2030 skal opfyldes i form af brun bioraffinering, kræves det, at der bliver arbejdet med optimale anvendelser af biomasser. Halm, der anvendes til energiformål, skal evt. anvendes til pyrolyse, hvorfor det kræver, at der findes alternative løsninger til de nuværende kraftvarmeverker. Desuden skal der findes alternative biomasser til produktionen af biochar, hvis målsætningerne i Landbrugsaftalen skal nås. Der skal også ses ind i effekterne af de forskellige typer af biochar. Dette gælder både effekter på jordmiljøet samt klimaeffekter (og stabilitet af kulstof i biochar), som kan variere med input-materialer. Det er nødvendigt med langsigtet forskning for at dokumentere langtidseffekterne af biochar, da nuværende data primært bygger på laboratorieforsøg samt meget kortvarige markforsøg. Der er i de seneste år afsat samlet 396 mio. kr. gennem Landbrugsaftalen samt Finansloven for 2021 til udvikling af brun bioraffinering. Der er ligeledes afsat midler i både GUDP, EUDP og Innovationsfonden til pyrolyseprojekter. På trods af at der allerede igangsat mange aktiviteter på området, mangler der stadig aktiviteter, som undersøger effekter af at bruge biochar i marken, både langvarige forsøg og forsøg til at efterprøve de potentielle positive effekter af biochar. Det skønnes, at der skal bruges 10-15 mio. kr. om året frem mod 2030.

I forhold til at kunne øge kulstoflagringen i jorden, er der behov for en bedre monitorering af udviklingen i kulstof i jord. Eksempelvis er der behov for årlige målinger i kvadratnettet for at få valid monitorering af kulstofindholdet i dansk landbrugsjord. Der er behov for en bedre kortlægning af det aktuelle kulstofindhold. Der er endvidere behov for en væsentlig styrkelse af grundlaget for modellering af udviklingen i kulstofindholdet i jorden. Der er blandt andet behov for et langt bedre kendskab til de faktiske input af kulstof fra afgrøderester i forskellige afgrøder og ved stigende udbytter. Der mangler generelt viden på området, og der er stor uenighed blandt forskellige forskningsmiljøer, så forskningsbehovet er stort. Det skønnes, at der skal bruges ca. 10-15 mio. kr. om året frem mod 2030.

Der er behov for fortsat at udvikle teknologien til udvinding af græsprotein. Det vil være væsentligt, hvis teknologien kan udvikles til at producere flere produkter med en højere værdi. Det skønnes, at der skal bruges ca. 4-6 mio. kr. om året til yderligere forskning frem mod 2030. Der er yderligere behov for støtte til etablering af produktionsanlæg.

En mere opdateret og mere tilbunds gående analyse af effekterne ved omlægning til økologi ønskes tilvejebragt. Der er behov for, at analysen inkluderer den forventede fremtidige anvendelse af klimavirkemidler i både den konventionelle og den økologiske produktion samt afledte klimaeffekter i energisektoren.

På trods af, at der allerede forskes meget i økologi, er der stadig et behov for at reducere klimaftrykket fra økologien. Det vurderes, at der er brug for 10-15 mio. kr. om året til yderligere forskning frem mod 2030. Der er brug for specifik udvikling af klimavirkemidler til økologi og dokumentation af disse.

## **12.2 Kvæg**

Effekten af ændringen i staldsystemer er baseret på en teoretisk vurdering, da der ikke foreligger målinger på staldniveau. Aarhus Universitet skal i de kommende år dokumentere metanemissionen fra forskellige staldsystemer, herunder også fast drænet gulv med skraber og ajleafløb. Herudover kræver det test og forskning af sandvaskere, hvis gyllen skal anvendes til biogas, når der anvendes sand i sengebåsene. Herudover er der et forsknings- og udviklingsbehov for at se på gulvløsninger, som kan separere gyllen og hurtigt få gyllen ud af stalden. Der er allerede et gummigulv på markedet, men det kræver en videreudvikling og test af gulvet, før det kan anvendes i reduktionen af metanen fra stalden. Herudover er der behov for videreudvikling af gyllesugere, så gødningen hurtigt fjernes fra gulvets overflade, samt et behov for at de udvikles, så de kan separere gyllen. Tanken er, at gyllen hurtigt skal fjernes fra gulvoverfladen samt hurtigt ud af stalden (til biogas eller lager). Ved at opdele gyllen, således at ajle og fæces holdes adskilt, er det ligeledes muligt at udnytte delemnerne, hvilket er en fordel, da biogasanlæg ikke ønsker gylle, hvor tørstofindholdet er lavt. Der vurderes et forsknings- og udviklingsbehov på 7-10 mio. kr. årligt indtil 2030 til udvikling af sandvaskere, gulve og gyllesugere.

Der er stadig behov for yderligere forskning inden for foderadditiver og fedt til kvægfoder f.eks. forskning i tildeling af Bovaer® i forbindelse med afgræsning, som kunne være en bolus, som sikrer kontinuerlig frigivelse af 3-NOP. Derudover er der behov for flere undersøgelser af vekselvirkninger mellem Bovaer® og f.eks. fedt, græs og majs samt andre foderadditiver. Der er resultater på vej om længerevarende studier (+ 4 mdr.), som kan sige noget om effekten på koens sundhed og reproduktion, og især om metanogener tilpasser sig 3-NOP. I relation til fedt i foderet, er der behov for at få undersøgt effekten af tildeling af rapsfrø i forbindelse med dag og døgnafgræsning. Det vurderes et udviklingsbehov på ca. 5 mio. kr. om året

Avlsstrategier og selektion for højere fodereffektivitet kræver yderligere datagrundlag og derfor opsætning af CFIT-udstyr i 25 besætninger. Det vil øge datagrundlaget for avlsværditallet for stofskifteeffektivitet betydeligt efter en 5-års periode. Der er ikke en officiel indkøbspris på dette udstyr, men et bud vil være 1,5 mio. kr. for et gennemsnitsanlæg er sandsynligvis realistisk. Det vurderes et behov for udvikling og innovation på ca. 5 mio. kr. om året.

Målene er ambitiøse, og der er et stort behov for forskning og videreudvikling af opfangning og reduktion af metan i stalde. Nuværende projekt, hvor metanhuset udvikles (finansieret af Mælkeafgiftsfonden), kan ikke bære udviklingen af metanhuset i mål her i slutningen af 2023. Hvis metanhuset skal være en del af løsningen til at opsamle metanen i kvægstalde, er det vigtigt, at der sættes stort ind på at videreudvikle teknologien. Det gælder både udformning af metanhuset, etablering af løsning til fodring i metanhuset samt ventilationstekniske løsninger, der sikrer et optimalt miljø for koen. Herudover bør metanhuset afprøves både i eksisterende og nye stalde. Desuden bør der allokeres forskningsmidler til at udvikle teknologiske løsninger, som kan reducere den opsamlede metan fra metanhuset for at få en fuldendt løsning. Det kan f.eks. være luftrensning eller udnyttelse af gassen på et lokalt biogasanlæg. Det vurderes, at der er et forskningsbehov og udviklingsbehov på 10-15 mio. kr. årligt indtil 2030. Endelig er der behov for udvikling og dokumentation af virkemidler af dyr på græs, som eksempelvis ZELP-teknologien

## **12.3 Grise - Gyllehåndtering**

Teknologien gylleforsuring i grisestalde er dokumenteret i fire afprøvninger i fuldskala foretaget af SEGES Innovation. Under disse test blev anvendt måleapparatet Innova 1412 (Photoakustisk Spectroskopi (PAS)). Dette måleinstrument er ved måling af metankoncentration influeret af blandt andet VFA og fugt i luften, hvilket betyder, at specielt i stalde med gylleforsuring kan målingerne være påvirket. Derfor anvendes disse eksisterende metanmålinger ikke til bestemmelse af metanemissionen. Der er derfor behov for at klarlægge og dokumentere effekten, hvilket er igangsat i 2022 på den første stald (projekt støttet af Svineafgiftsfonden). Der vil være behov for målinger i yderligere tre stalde, hvilket forventes udført i et projekt om staldforsuring finansieret af Miljøministeriet. Der skal ligeledes måles på fire gyllelagre, hvoraf den ene måles i forbindelse med

projektet støttet af Svineafgiftsfonden. Dog er der i projektet fra Miljøministeriet både indsat måling på lagret kvæg- og grisegylle, således der i alt bliver målt på to af hver gylletype. Den første måling på lager igangsættes i 2023 (projektet støttet af Svineafgiftsfonden), og de tre følgende forventes efterfølgende udført i Miljøministeriets projekt om staldforsuring. Miljøministeriet har endnu ikke givet endelig tilsagn til projektet om staldforsuring.

Anvendelse af eddike- eller myresyre i stedet for svovlsyre kunne være relevant, dels til økologisk produktion, dels til levering til biogasanlæg, hvor kulhydratforbindelsen fra de organiske syrer efterfølgende kan anvendes til metanproduktion. Prisen på de organiske syrer er på nuværende tidspunkt for høj til, at det er økonomisk realistisk, men der er behov for en undersøgelse af forbrug og effekt i grisestalde samt en godkendelse på Miljøstyrelsens Teknologiliste af anvendelsen af eddikesyre som syre til gylleforsuring i stald

Effekten af hyppig gylleudslusning i grisestalde er dokumenteret i to undersøgelser, hvor den ene var et fuldskalaforsøg gennemført af SEGES Innovation, mens den anden var i nogle mindre forsøgssektioner på Foulum gennemført af Aarhus Universitet. Der er endnu ikke afrapporteret resultater fra målinger af meremissionen fra gyllebeholder, når gyllen bliver udsluset hyppigt. Der er dog udført én test over et år på Forsøgsstation Grønhøj i regi af SEGES Innovation i mindre lagertanke. Der vil være behov for yderligere test for at dokumentere effekten af hyppig gylleudslusning fra stald samt kædeeffekten med gyllelageret

Effekten af daglig gylleudslusning med linespil vil blive dokumenteret i en undersøgelse, som Aarhus Universitet og SEGES Innovation udfører for Miljøministeriet. Der vil desuden blive inddraget resultater fra afsluttede, igangværende og planlagte undersøgelser i SEGES Innovation. Således bliver der i aftalen målt metanemission fra to slagtegrisestalde og tre farestalde med linespil. Derved er der samlet målinger af metanemission fra fire stalde med linespil i de to staldkategorier. I SEGES Innovations undersøgelse fra drægtighedsstalden<sup>49</sup> vil metanmålingerne blive valideret i forhold til et CRDS-måleinstrument. Der er stadig behov for yderligere test/undersøgelser for at dokumentere effekten af dagligt udsluset gylle fra stald mhp. kvantificering af meremissionen fra gyllelageret.

Effekten af gyllekøling på metanemissionen er ikke veldokumenteret. Der er gennemført én afprøvning, som ikke viste signifikant effekt, men der var en numerisk mindre metanemission ved gyllekøling. SEGES Innovation undersøger på nuværende tidspunkt synergieffekten imellem hyppig gylleudslusning og -køling på metanemissionen.

Der er behov for yderligere dokumentation, hvis effekten af gyllekøling skal medtages som virkemiddel.

Samlet set vurderes et udviklingsbehov på ca. 25 mio. kr. om året for gyllehåndtering.

#### **12.4 Lagerbehandling – kvæg og gris**

Den kommende udbygning af biogasbranchen vil fortsat hovedsageligt være baseret på husdyrgødning, og forventningen er, at indenfor få år afgasses 60-70 % af husdyrgødningen i Danmark. Afgasset biomasse forventes derfor at blive den suverænt største gødningstype, der bliver udbragt på de danske marker. Det er derfor helt centralt at finde ud af, om den afgassede biomasse har en bedre gødningsvirkning og en lavere drivhusgasemission end den ubehandlede husdyrgødning.

Halm er den råvare, som repræsenterer det suverænt største uudnyttede potentiale, og hvis de ambitiøse målsætninger om øget biogasproduktion skal indfries samtidig med, at forbruget af energiafgrøder bliver reduceret, skal en stor del af halmen anvendes til biogasproduktion. Rent teknisk er der på biogasanlæggene fundet en lang række forbehandlings- og indfødningsteknikker, der gør biogasanlæggene i stand til at håndtere betydelige mængder halm f.eks. forskellige typer fysisk neddeling og forbehandling eller ensilering. Fælles for dem er dog, at de ikke er i stand til at sikre en effektiv omsætning af halmen. En mangelfuld omsætning vil medføre et højere restgaspotentiale i den afgassede biomasse, som vil øge risikoen for højere metanemission

fra lageret og dermed en mindre klimaeffekt. Mangelfuld omsætning vil også bevirke en lavere biogasproduktion og et højere tørstofindhold i den afgassede biomasse. Mange af de nuværende biogasanlæg er ikke designet til at håndtere halm, og de færreste har installeret separationsudstyr. Det vil således være forbundet med ekstra omkostninger til forøget reaktorkapacitet samt separationsudstyr, hvis biogasanlæggene skal håndtere større mængder halm på en tilfredsstillende måde.

Derudover bør der med anvendelsen af store mængder halm også være mulighed for, at den afgassede biomasse kan blive efterbehandlet, så der kan leveres et gødningsprodukt af acceptabel kvalitet. Hvis ikke det er tilfældet, vil konsekvensen være et øget ammoniaktab, større kvælstofudvaskning og en dårligere kvælstofudnyttelse end afgasset biomasse uden dybstrøelse og halm. Der er endnu ikke fundet effektive efterbehandlingsløsninger, der kan sikre et godt gødningsprodukt.

Når der regnes på klimaeffekter af biochar, er beregningerne baseret på en række forudsætninger, hvoraf nogle er behæftet med betydelige usikkerheder. For at kunne foretage mere nøjagtige beregninger, er der blandt andet behov for<sup>74</sup>:

- Data fra kommerciel produktion om hvordan valg af teknologi og driftsparametre (temperatur og opholdstid) påvirker egenskaberne ved biochar, energibalancer med videre
- Bedre estimering af effekterne af pyrolyse på reduktioner af drivhusgasemissioner fra opbevaring og anvendelse af afgassede fibre i en referencesituation.
- Dokumentation og skøn af kvælstofomsætning i processen og potentialer for at undgå gasformige tab af lattergas og ammoniak under lagring og udbringning af biogasfibre.
- Bedre forståelse af betydningen af separationsteknologi til afgasset biomasse og pyrolyse af biogasfibre på den samlede miljøpåvirkning.
- Forbedret viden om sammenhæng mellem pyrolysedesign, biomassetype og biochar-karakteristika i forhold til stabiliteten af kulstof og effekter på drivhusgasemissionen.

Der mangler forskning i emissioner i hele værdikæden omkring biogas. Det skønnes, at der skal bruges ca. 20-25 mio. kr. om året til yderligere forskning frem mod 2030.

Teknologien gylleforsuring i staldanlægget er dokumenteret i to afprøvninger i fuldskala foretaget af Aarhus Universitet og SEGES Innovation. Der er dog behov for at klarlægge og dokumentere effekten, når den forsurede gylle fra stalden efterfølgende, lagres i gylletanken. Der er forslag om at undersøge dette via Konzeptnote for staldforsuring via Miljøministeriet. Der er endnu ikke givet endelig tilsagn til dette. I Konzeptnoten for staldforsuring indgår tre målinger på lagertanke, hvoraf en-to lagertanke skal være med kvæggylle.

I Konzeptnoten indgår endvidere en undersøgelse af, om der kan anvendes en lavere syredosering i gyllen, hvilket er med udgangspunkt i erfaringerne fra lavdosisforsuring i gylletanke, hvor en dosis på 2,1 kg svovlsyre/ton gylle gav en effekt på 70 % metanreduktion. Det vurderes, at der skal anvendes 3-5 mio. kr. om året til innovation og udvikling af tankforsuring i gylletanke.

Aarhus Universitet, AgroGas og SEGES Innovation undersøger i GUDP-projektet LESS, effektiviteten ved fakkelfabrænding på en grise-gyllebeholder med tætnet overdækning. Der er dog behov for flere test, hvis teknologien skal blive godkendt som klimavirkemiddel. Miljøministeriet planlægger et projekt, hvor Aarhus Universitet og SEGES Innovation i samarbejde skal teste effektiviteten på yderligere tre gylletanke. Der vil dog evt. være behov for at dokumentere fakkelfabrænding på både kvæggyllletanke og grise-gylletanke, da der må forventes mindre effekt på kvæggylle samt større behov for støttegase. Der vil være behov for udviklingsomkostninger på 3-5 mio. kr. om året til færdigudvikling af denne teknologi.

<sup>74</sup> Elsgaard et al. 2022. Dansk sammendrag, konklusioner og videnskuller. In Elsgaard et al 2022, Knowledge synthesis on biochar in Danish agriculture. Aarhus Universitet, DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. Rapport nr. 208, kap. 9, pp. 130-144.

DTU Miljø, COWI og SEGES Innovation undersøger i GUDP-projektet BioMet, effektiviteten af et kompostfilter på en grise-gyllebeholder med tætnet overdækning. Der er dog behov for flere test, hvis teknologien skal blive godkendt som klimavirkemiddel. Der mangler endvidere opfølgende undersøgelse på størrelsen af kompostfilteret i relation til effektivitet samt undersøgelse af kontrolpunkter for optimal drift af filteret.

Fakkelaforbrænding af biometan fra lagrene er en teknologi, der skal videreudvikles og dokumenteres. Der er sat et projekt i gang hos Aarhus Universitet, og det vurderes, at der samlet set for teknikker som biooxidering og fakkelaforbrænding vil være behov for udviklingsomkostninger på 3-5 mio. kr. om året.

### **12.5 Fjerkræ**

Der er tidligere udført afprøvninger af gødningsbånd og etageanlæg til konsumægshøner, men Aarhus Universitet (Peter Kai, 2023 Personlig meddelelse) vurderer, at referencegrundlaget ikke er korrekt, og har derfor anbefalet Miljøstyrelsen, at der skal foreligge ny dokumentation. Der er endnu ikke udført afprøvninger af den klimamæssige effekt af at anvende gødningsbånd i opdrætsstalde. Der er derfor behov for praktiske afprøvninger, der dokumenterer hvor store reduktioner i emissionerne gødningsbånd kan bevirke. Afprøvningsne skal foregå i stalde med æglæggende høner og i stalde med opdræt. Det vurderes at disse forsøg vil koste ca. 10 mio. kr. i alt.

For at beregne den klimamæssige effekt ved at anvende varmevekslere i æglæggestalde, er der behov for at indsamle uvildig dokumentation for hvor stor en reduktion af staldluftens ammoniakindhold, der kan opnås ved at anvende varmevekslere i danske stalde med æglæggende høner. Derudover er der behov for at dokumentere effekten af varmevekslere på fjerkræstaldes emission af klimagasserne  $N_2O$  og  $CH_4$ . Der skal udføres praktiske test med anvendelsen af varmevekslere i æglæggestalde med måling af emission af klimagasser og massebalance. Dette forventes at kunne udføres for ca. 1 mio. kr. om året.

### **12.6 Økologi**

Der er i de seneste år afsat 50 mio. kr. om året til økologiforskning i regi af ICROFS gennem aftale om forskningsreserven. Derudover 10 mio. kr. om året til en økologisk innovationsindsats i regi af Innovationscenter for Økologisk Landbrug. Det er vigtigt, at disse initiativer videreføres samt, at der iværksættes en yderligere forskningsindsats målrettet klimavirkemidler i den økologiske produktion på mindst 20 mio. kr. om året, som skal understøtte udvikling af teknologiløsninger til økologisk planteavl og husdyrproduktion, der er forenelige med EU's økologiforordning.

Som nævnt tidligere, vil effekten af økologi som klimavirkemiddel afhænge af hvilke antagelser, der opstilles, og hvilken metode der ligger til grundlag for beregningen. Antagelser vil afhænge af, hvordan fremtidsscenerier kan forventes at se ud.

Derudover vil den beregnede effekt afhænge af kvaliteten af datagrundlaget for beregningen. Da størstedelen af forskning og målinger af drivhusgasudledninger fra landbruget er baseret på konventionelle systemer i forhold til input af ressourcer og staldsystemer uden udegående dyr og afgræsning, er der et stort behov for yderligere forskning i de produktionsfaktorer, der har størst betydning for variationer mellem bedrifter som eks. økologiske og konventionelle systemer. Dette betyder, at effektberegningen af økologi som klimavirkemiddel kan forbedres, når viden inden for følgende emner forbedres:

- Metantab fra kvæg på græs – i forhold til racer, græskvalitet, sæson og dynamikker med jord og planter.
- Udvikling af udstyr/sensorer, der kan måle udledninger af drivhusgasser på systemniveau (bedriften) for systemer med udegående dyr.
- Mere forskning i naturlige metanhæmmende foderadditiver.

- Forskning i emissionsfaktorer på metan fra stald og lager, da vi i dag ikke kan adskille dette og derfor regner med samme emissions faktor.
- Forbedring af emissionsfaktorerne for lattergas og ammoniak ved afgræsning, da dette beregnes uafhængigt af dage på græs i dag.
- Mere viden om emissioner i forhold til afgrøder og sædskiftekompositioner i økologiske sædskifter.
- Emissionsfaktor for forskellige typer husdyrgødning og for anden organisk gødning som kompost og grøngødning.
- Beregning af afgrøderester i forhold til rod/top-forholdet.
- Effekter af reduceret jordbehandling.
- Optimal dyrkning af højprotein kløvergræs ved lavt N-input.
- Kulstofopbyggende effekter ved udegående systemer.
- Integrering af træer og buske i produktionssystemer i forhold til sorter der er relevante i DK.
- Mindre lattergas udledning fra marken ved at teste eksisterende og forædle biologiske nitrifikationshæmmere. (planter der i sig selv bevirker mindre lattergasudledning)

I Innovationscenter for Økologisk Landbrug udarbejdes i projektet, Økologisk planteavl som nationalt virkemiddel for klima, finansieret af PAF 2023-2024, beregninger af relevante fremtidsscenarier inkl. opdatering af viden og data som eksempelvis opdaterede emissionsfaktorer for lattergas fra gødning.

### **12.7 Økonomi**

Der er i landbrugsaftalen afsat 249 mio. kr. til "forskning og udvikling af bedriftsregnskaber inden for landbruget og forbedret kortlægning til en ny reguleringsmodel".

I den forbindelse er etablering af procedurer og systemer til dataopsamling samt distribution heraf af afgørende betydning for implementering og implementeringshastigheden af ny teknologi og nye virkemidler til at forfølge klimamæssige målsætninger.

I forhold til at kunne foretage bedriftsnære opgørelser af udledningerne, er der behov for følgende:

- 1) Procedurer og systemer til opsamling af virksomhedsspecifikke data, der kan dokumentere de ledelsesmæssige og aktivitetsbaserede handlinger, som har klimamæssig effekt.  
Opsamlingen af data skal både omfatte CO<sub>2</sub>, metan (CH<sub>4</sub>) og lattergas (N<sub>2</sub>O).  
De opsamlede data skal desuden muliggøre beregning af omkostninger samt foretage andre økonomiske beregninger, der kan indgå i økonomiske og bæredygtighedsmæssige beslutningsværktøjer.
- 2) Standardiserede krav til data, kvalitetssikring og afrapportering af data fra virksomhedens aktiviteter, der har til formål at forfølge målsætninger inden for klima.  
Data skal kunne dække behovene i overensstemmelse med principperne i både en territorial opgørelse og en LCA-opgørelse.  
Standarderne skal desuden være i overensstemmelse med internationalt anerkendte standarder og retningslinjer.
- 3) Implementering af rapporteringssystemer, der kan sikre kortlægning af dataflow og lageropgørelser i virksomhedens egne systemer samt muliggøre udveksling af data i hele værdikæden, dvs. mellem virksomheden og omverdenen.
- 4) Mulighed for at integrere klimarettede data med data vedrørende andre bæredygtighedstemaer, såsom biodiversitet, ammoniaktab, dyrevelfærd, pesticider med videre

Efter udvikling af bedriftsregnskaberne, blandt andet indeholdende ovenstående procedurer, standarder og funktionaliteter samt integration med de afrapporteringsbehov, som stammer fra resultatet af ekspertgruppens model for en grøn skattereform, skal bedriftsregnskaberne implementeres på de enkelte bedrifter.

Samlet set vurderes der at være et behov på ca. 5 mio. kr. om året til udvikling/implementering.

### **12.8 Sammenfatning udvikling og innovation**

Samlet set er der behov for en konkret udviklingsindsats på ca. 220 mio. kr. om året samt ca. 30 mio. kr. om året til nye virkemidler, der dukker op frem mod 2030. Midlerne skal udmøntes som innovationsmidler uden krav om medfinansiering fra virksomheder og i et meget agilt setup. Støder man på et problem, bør man hurtigt kunne sætte en ny aktivitet i gang. I innovationssammenhæng er der kort tid til fuld implementering i 2030.

*Tabel 12.1 Oversigt over udviklings og innovations behov i mio. kr. pr. år.*

Område	Mio. kr./år
Udtagning kulstofrige jorder	22
Skovrejsning	1
Nitrifikationshæmmere	7
Pyrolyse	15
Kulstoflagring	15
Græsprotein	6
Klimaoptimeret gødningsanvendelse	40
Staldsystemer kvæg	10
Foderadditiver og fedt i foderet (kvæg)	5
Avl	5
Opfangning og reduktion af metan	15
Gyllehåndtering gris (gyllekøling, forsuring, hyppig gylleudslusning, linespil m.m.)	25
Biogas	25
Fakkelforbrænding, biooxidering og lign.	5
Gødningsbånd	1
Varmevekslere	1
Økologi	20
Økonomi	5
<b>I alt</b>	<b>223</b>



### 13. Barrierer og anbefalinger

Der er en række barrierer, når ovenstående virkemidler skal implementeres. Barrierer, der er helt afgørende at få fjernet for at opnå de tilsigtede klimareducerende effekter. For at landbruget når målene, skal der arbejdes med at fjerne disse barrierer sideløbende med udviklingen af selve virkemidlerne.

#### *Incitamentsstruktur*

Der er i skrivende stund ikke en økonomisk incitamentsstruktur, som skal motivere landmændene og fødevarerhvervsomhederne til at investere i implementeringen af virkemidler. Langt hovedparten af de beskrevne virkemidler har både en investeringsomkostning men også en fordyrende effekt på produktionen for landmændene. Arla Foods har på frivillig basis udrullet deres egen *Sustainability Incentive Model* til deres leverandører, hvor strukturen i forsimplet version er således, at de mælkeproducenter (leverandører), der implementere ”grønne tiltag” på bedrifterne, belønnes med en merbetaling på bekostning af de mælkeproducenter, der ikke aktivt implementerer tiltagene.

Generelt set skal der opbygges en økonomisk incitamentsstruktur, som gør, at den merbetaling, som fødevarerhvervsomhederne i givet fald skal betale til deres leverandører, kan tjenes hjem via en merpris for fødevarerprodukterne. Det betyder i sidste ende, at forbrugerne kommer til at betale mere for deres fødevarer, men at de penge skal kanaliseres videre ned i værdikæden og bidrage til at finansiere implementeringen af virkemidler hos landmændene – men for så vidt også investeringer i CO<sub>2</sub>-reducerende tiltag i processeringsleddet. Forbrugerdreven efterspørgsel på specialprodukter og højværdivarer er velkendt til at være velmenende, når adspurgt, men det er oftest prisen på varen, der i sidste ende afgør produktvalget. Det er vigtigt at forstå, hvad der skal til, for at alle aktører i hele fødevarer værdikæden bidrager til den grønne omstilling af erhvervet. Det kræver i sidste ende ændret adfærd hos alle.

Afgifter, der økonomisk pålægger landmændene en byrde, når der udledes en vis mængde CO<sub>2</sub>, har i langt de fleste modeller den konsekvens, at der sker et likviditetsdræn af den enkelte bedri forhold til Det betyder, at der er en ringere økonomisk mulighed for den enkelte landmand til at investere i CO<sub>2</sub>-reducerende virkemidler.

#### *Ressourcer og kompetencer*

Der i høj grad mangel på eksperter til at arbejde med forskning, udvikling og innovation af virkemidler. Både hos universiteterne og hos vidensinstitutionerne er der massivt brug for flere mennesker med de rette kompetencer og viden. Der har været et stort fald i tilgangen til de naturvidenskabelige uddannelser på især de videregående uddannelser, men også de mellemlange uddannelser efterspørger flere studerende. Rekrutteringsindsatser til uddannelserne, employer branding og tiltrækning af udenlandske eksperter er iblandt løsningerne. Der er også et akut behov for at sikre finansieringsgrundlaget til at uddanne flere forskere, hvis forsknings- og udviklingsbehovene reelt skal kunne løses inden 2030.

#### *Governance*

Erfaringer fra arbejdet med kvælstofvirkemidler har vist, at det til tider kan være en utrolig lang og bureaukratisk proces at få godkendt nye virkemidler. I forhold til implementeringen af klimavirkemidler, er der behov for en betydelig acceleration i hastigheden for at få nye virkemidler godkendt, så de derved hurtigere kan implementeres i praksis. En løsning kunne være at indgå i transparente triplehelix partnerskaber, hvor forskere, virksomheder og myndighederne arbejder sammen om udviklingen af virkemidlerne og ny viden. Derved kan styrelser og lignende hurtigere og løbende blive bekendte med eventuelle udfordringer, der skal løses inden produkter/virkemidler kan godkendes. Udfordringerne kan f.eks. være relateret til fødevarer sikkerhed, sporbarhed, miljøeffekter og lignende, som så kan inkluderes i det igangværende udviklingsarbejde.

Et andet forslag til en løsningsmodel kunne være nedsættelse af en taskforce, som vedligeholder et overblik over barrierer og kan målrette forsknings- og udviklingsmidler til at få håndteret disse. Vigtigheden af denne opgave skal ikke undervurderes, og der bør afsættes en særlig pulje til dette på f.eks. 50 mio. kr. årligt.

## 14. Konklusion

I landbrugsaftalen er de bindende klimareduktionsmål for landbruget på 55-65 % af udledningen i frem mod 2030, hvilket (med opdaterede emissionskoefficienter) ifølge Landbrugsaftalen svarer til yderligere 7,75 mio. tons CO<sub>2</sub>e. De skal dels leveres fra klimareduktioner i et implementeringsspor, og dels fra et udviklingsspor.

I nærværende rapport er en række nuværende og kommende virkemidler til markbrug, kvægbrug, griseproduktion samt fjerkræproduktion beskrevet, som samlet set vurderes at kunne reducere CO<sub>2</sub>e udledningen fra landbruget fra 6,9 mio. tons til 9,8 mio. tons CO<sub>2</sub>e i 2030.

Når det er et interval, skyldes det usikkerheden både i forhold til udvikling og implementering af nye virkemidler frem mod 2030. Det er meget vigtigt at se denne vurdering i sammenhæng med de forudsætninger, der er sat op, da det vil kræve en stor indsats at udvikle og implementere virkemidlerne samt løbende fjerne barrierer de næste syv år. Hvis regeringsgrundlagets ambitioner om at finde løsninger, der udvikler erhvervet og ikke koster arbejdspladser og vækst, skal indfris, er det afgørende, at reguleringsmodeller og eventuelle afgiftsstrukturer ikke trækker væsentlig nettoindtjening ud af erhvervet, men tværtimod giver mulighed for at indfri det store investeringsbehov.

For at få tilstrækkeligt med virkemidler er en øget forsknings- og udviklingsindsats påkrævet. I rapporten er der estimeret kvantitative bud på, hvor meget der skal investeres yderligere i at udvikle en række af de beskrevne virkemidler for at opnå den tilsigtede effekt ved implementering. I nærværende rapport er der konkret værdiansat omkostninger til forskning, udvikling og innovation af en række af virkemidlerne på ca. 220 mio. kr./år frem mod 2030. Nogle af pengene går til virkemidler, som først for alvor vil slå igennem efter 2030. Der skal derudover også være midler til at finde nye løsninger, som vi ikke kender endnu, men som utvivlsomt vil opstå. Det vurderes til at udgøre ca. 30 mio. kr. om året.

Der er en række barrierer, der skal søges løst, før indholdet af nærværende rapport kan effektueres og derved nå den tilsigtede effekt på klimaaftrykket for landbruget. Barriererne består af mangel på ressourcer til at arbejde med governance i forbindelse med godkendelse af virkemidler og manglende ressourcer til forskning og udvikling.

Samlet set er det konklusionen, at hvis der er vilje til at investere i udvikling og implementering og løbende fjerne barrierer, kan landbrugsaftalens mål på 7,75 mio. tons CO<sub>2</sub>e nås.





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

+45 8740 5000  
info@seges.dk  
segesinnovation.dk

**SEGES**  
**INNOVATION**