

DREAM

Danish Research Institute for  
Economic Analysis and Modelling



# Modellering af ammoniak- udledninger i landbruget

Mathias Kowalczyk Hansen og Asbjørn Kehlet Berg

Dokumentationsnotat

21. december 2023

[www.dreamgruppen.dk](http://www.dreamgruppen.dk)

# Indhold

<b>1.</b>	<b>Indledning .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Data .....</b>	<b>4</b>
2.1	Emissionsdata fra DCE.....	4
2.2	Miljøøkonomiske beregningspriser .....	6
2.3	Udledninger fra kvæg- og svinestald, der ikke er bioforgætt, eller forurenet i baseline .....	6
<b>3.</b>	<b>Modellering .....</b>	<b>7</b>
3.1	Modelstruktur .....	7
3.2	Fremskrivning og kalibrering.....	8
3.3	Foreløbigt resultat på 750 kroner afgiftstød.....	9
<b>4.</b>	<b>Referencer .....</b>	<b>11</b>

# 1. Indledning

Dette notat dokumenterer hvilken data og modellering, der ligger til grund for GrønREFORMs ammoniakfremskrivning.

Hovedpointerne i notatet kan opsummeres som:

- GrønREFORMs fremskrivning af landbrugets ammoniakudledninger baserer sig på data fra Nationalt Center for Miljø og Energi (DCE). Særligt gælder det, at GrønREFORMs grundforløb for landbrugets ammoniakudledninger kalibreres op imod DCE's ammoniakfremskrivning for landbruget. Dette medfører, at grundforløbet frem til og med 2040 er identisk med DCE's.
- Grundforløbet er konsistent med Klimafremskrivningen, da det er samme fremskrivning for landbruget DCE bruger til at beregne både udledninger til Klimafremskrivningen og ammoniakfremskrivningen.
- En afgift på landbrugets udledninger på 750 kroner per tCO<sub>2e</sub> skønnes at kunne give samfundsmæssige gevinster på ca. 105 mio. kr. om året på dansk grund i form af mindsket ammoniakudledning.

GrønREFORM er blevet udvidet med en ammoniakfremskrivning som led i arbejdet for ekspertgruppen, der blev nedsat ifbm. aftale om Grøn Skattereform. Som indikeret i punkt C herover, udregner GrønREFORM også de samfundsmæssige omkostninger, af den luftforurening som landbrugets ammoniakudledninger fører med sig. Det gøres på baggrund af miljøøkonomiske beregningspriser (DCE, 2023). Det er første gang GrønREFORM udregner de samfundsmæssige omkostninger af en form for udledning og man vil nemt kunne lave en tilsvarende beregning pba. af de udledninger af eksempelvis NO<sub>x</sub>, NMVOC og PM<sup>1</sup>, der allerede nu er en del af modeloutputtet i GrønREFORM.

---

<sup>1</sup> PM10 og PM2.5

## 2. Data

GrønREFORM bruger data fra to forskellige kilder til at fremskrive ammoniakudledningerne og til at udregne de samfundsmæssige omkostninger af disse. Som nævnt i indledningen er det data fra DCE's ammoniakfremskrivning, der er udgangspunktet for modelleringen. DCE's data og bearbejdelsen af dette, så det passer til GrønREFORM's modelstruktur, beskrives i afsnit 2.1. Dertil tages den samfundsøkonomiske skyggepris på ammoniakudledningen fra DCE's *Miljøøkonomiske beregningspriser 4.0*. Dette beskrives kort i afsnit 2.2. Sluttelig har DCE bidraget med et datatræk for 2030 for udledningerne fra kvæg- og svinegylle fra lager med flydelag, der ikke er hverken bioforgasset eller forsuret (afsnit 2.3).

### 2.1 Emissionsdata fra DCE

Datasættet indeholder data for de tre historiske år 2019, 2020 og 2021 samt en fremskrivning af landbrugets ammoniakudledninger frem til og med 2040.

I Tabel 2.1 herunder er data vist for et enkelt år. Udledningerne er opdelt på udledningstype og kilde.

**Tabel 2.1**  
Landbrugets ammoniakudledninger i 2021

Udledningsnavn	Kiloton
Gødningshåndtering - Malkekvæg	7.3
Gødningshåndtering - Øvrige kvæg	3.1
Gødningshåndtering - Svin	14.2
Gødningshåndtering - Fjerkræ	2.3
Gødningshåndtering - Andre dyr <sup>1</sup>	1.1
Græssende dyr - Malkekvæg	0.3
Græssende dyr - Øvrige kvæg	1.2
Græssende dyr - Svin	0.1
Græssende dyr - Fjerkræ	0.1
Græssende dyr - Andre dyr	1.1
Kunstgødning	11.2
Organisk gødning <sup>2</sup>	18.8
Andet <sup>3</sup>	6.6
Total	67.5

Anm.: 1: "Andre dyr" er en kategori, der dækker udledninger fra heste, får, geder, mink ift. gødningshåndtering samt vildt ift. græssende dyr.

2: "Organisk gødning" dækker husdyrsgødning, slam fra rensningsanlæg og øvrigt organisk materiale udbragt på marker.

3: "Andet" dækker øvrige ammoniakudledninger i forbindelse med brug og dyrkning af landbrugsjord så som afbrænding af marker.

Kilde: DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi.

For at få data til at passe til GrønREFORMs modelstruktur opdeles data på landbrugsbrancher og dyr. Resultatet kan ses i Tabel 2.2 for de animalske brancher og i Tabel 2.3 for de vegetabiliske brancher. For de animalske brancher er udledningerne opdelt proportionalt til antallet af dyr. Dette er gjort under en antagelse om, at for gødningshåndtering er udledningerne per dyr ens på tværs af konventionelle og økologiske brancher, mens udledningerne fra græssende dyr er 10 gange større per dyr i den økologiske branche relativt til den konventionelle. Dette skal afspejle, at økologiske dyr skal tilbringer tid på græs, mens der ikke eksisterer samme regler for dyr i det konventionelle landbrug. Som eksempel kan det nævnes at 53 pct. af de konventionelle køer ikke tilbragte noget af året på græs i 2020 (DST,2021). Der arbejdes stadig på at kvantificere dette bedre. Antallet af dyr kommer fra Klimafremskrivningen.

Opdelingen af udledningerne i de vegetabiliske brancher fra kunstgødning og organisk gødning følger en fordelingsnøgle konstrueret af Danmarks Statistik (DST). DST baserer sig på Landbrugsstyrelsens gødningsregnskaber. Udledningerne fra kategorien andet, er opdelt på de vegetabiliske brancher ved brug af deres respektive andel af landbrugsjord i produktion.

**Tabel 2.2**

**Opsplitning af det animalske landbrugs ammoniakudledninger på dyr for året 2021**

Udledningstype	Branche	Dyr	Kiloton	
Græssende dyr	Konventionel	Fjerkræ	0.04	
		Malkekvæg	0.12	
		Øvrige kvæg	0.46	
		Slagtesvin	0.08	
	Økologisk	Fjerkræ	0.06	
		Malkekvæg	0.20	
		Øvrige kvæg	0.76	
		Slagtesvin	0.01	
		Uden for opdeling	Andre dyr	1.08
	Gødningshåndtering	Konventionel	Malkekvæg	6.28
Øvrige kvæg			2.63	
Slagtesvin			14.04	
Økologisk		Malkekvæg	1.06	
		Øvrige kvæg	0.44	
		Slagtesvin	0.15	
		Uden for opdeling	Andre dyr	0.96
Andet	Konventionel	Fjerkræ	2.10	
	Økologisk	Fjerkræ	0.36	

Anm.: 1: Ammoniakudledninger fra gødningshåndtering fra fjerkræ tilskrives andet. Dette er alene et modeltekniskvalg, da gødning fra fjerkræ for indeværende ikke modelleres i GrønREFORM. Dette skyldes de meget små mængder gødning fra fjerkræ.

Kilde: DCE, Energistyrelsen og egne beregninger.

Tabel 2.3

Opsplitning af det vegetabiliske landbrugs ammoniakudledninger på udledningstype for året 2021

Udledningskilde	Branche	Kiloton
Kunstgødning	Konventionel	11.06
	Gartneri	0.15
Organisk gødning	Konventionel	16.3
	Økologisk	2.51
Andet	Konventionel	6.12
	Økologisk	0.51

Kilde: DCE og egne beregninger på baggrund af fordelingsnøgle fra Danmarks Statistik.

## 2.2 Miljøøkonomiske beregningspriser

Skyggeprisen for ammoniakudledninger i GrønREFORM tages fra Miljøøkonomiske beregningspriser for emissioner 4.0 (DCE, 2023), hvor den opgøres til 45 kroner (2023-priser) per kg ammoniak med en virkning på 22 pct. på dansk område.

## 2.3 Udledninger fra kvæg- og svinestald, der ikke er bioforgasset, eller forsuret i baseline

På baggrund af korrespondance med DCE er rekvireret data (Tabel 2.4) på et endnu højere detaljeringsniveau end i punkt a. for 2030-udledningerne. Udledningerne er for ammoniak fra stald fra kvæg- og svinestald, der ikke er bioforgasset, eller forsuret. For denne del af stalden forventes, at en kombination af teltoverdækning og flydelag vil kunne komme i spil<sup>2</sup> som drivhusgasvirkemiddel og dermed give en afledt effekt på ammoniakudledninger. Dette er i første omgang det eneste teknologiske virkemiddel i GrønREFORM med ammoniak-effekter.

Tabel 2.4

Beregning af 2030-reduktionspotentiale af ammoniak for kombination af teltoverdækning og flydelag

	Kvæg	Svin	Enhed
a) Gylle m. flydelag, ej forsuret, ej bioforgasset	388	507	Ton NH <sub>3</sub>
b) Total ammoniak fra gødningshåndtering (stald + lager)	8885	11521	Ton NH <sub>3</sub>
c) Reduktionspotentiale, 50% af a)	194	254	Ton NH <sub>3</sub>
d) Reduktionspotential, c) som procent af b)	2,18	2,20	Pct.

Kilde: Egne beregninger pba. af data fra DCE og vurdering af reduktionspotentiale fra MIM: <https://mst.dk/erhverv/groen-produktion-og-affald/landbrug-og-husdyrbrug/teknologilisten/gylleopbevaring>

<sup>2</sup> Teltoverdækning er vurderet til en gennemsnitlig omkostning på 375-400 kroner per reduceret tCO<sub>2</sub>e, jf. (GR 2023).

## 3. Modellering

I dette afsnit gennemgås modellering og kalibrering af ammoniakudledningerne i GrønREFORM. I afsnit 3.1 præsenteres de modelligninger, der bestemmer udledningerne af ammoniak i GrønREFORM. I afsnit 3.2 gennemgås, hvordan modellen kalibreres til DCE's fremskrivning. I afsnit 3.3 gennemgås de foreløbige effekter på ammoniakudledningerne ved en simulering af en CO2e-afgift på landbruget i GrønREFORM.

### 3.1 Modelstruktur

For hver landbrugsbranche i GrønREFORM fremskrives ammoniakudledningerne på baggrund af branchens brug af de produktionsinput, der giver anledning til ammoniakudledninger. For det animalske landbrug er dette primært gødningshåndteringen, som følger med bestanden af dyr, mens det for det vegetabiliske landbrug primært er brugen af gødning, jf. oversigt i Tabel 2.2 og Tabel 2.3.

Lad de animalske landbrugsbrancher være angivet ved indeks  $a$ . Ammoniakudledningerne fra græssende dyr er da givet ved

$$Em_{a,d,t}^{Græssende} = \mu_{a,d,t}^{Græssende} \cdot q_{a,d,t}^{Græssende}$$

hvor  $\mu_{a,d,t}^{Græssende}$  er en emissionsfaktor som er specifik for udledningstypen græssende dyr, branche  $a$ , dyr af type  $d$  og år  $t$ , mens  $q_{a,d,t}^{Græssende}$  angiver antallet af græssende dyr af type  $d$  i branche  $a$  i år  $t$ .

For ammoniakudledningerne fra gødningshåndtering er udledningerne givet ved

$$Em_{a,d,t}^{Gødning} = \mu_{a,d,t}^{Gødning} \cdot N_{a,d,t}^{Husdyrgødning}$$

hvor  $\mu_{a,d,t}^{Gødning}$  er en emissionsfaktor som er specifik for udledningstypen gødningshåndtering, branche  $a$ , dyr af type  $d$  og år  $t$ , mens  $N_{a,d,t}^{Husdyrgødning}$  er mængden af kvælstof i husdyrgødning i branche  $a$  fra dyr af type  $d$  i år  $t$ .

På tilsvarende vis er ammoniakudledningerne fra de vegetabiliske landbrugsbrancher modeleret. Lad de vegetabiliske landbrugsbrancher være angivet ved indeks  $v$ . Da er udledningerne for brugen af husdyrgødning på marker givet ved

$$Em_{v,t}^{Husdyrgødning} = \mu_{v,t}^{Husdyrgødning} \cdot N_{v,t}^{Husdyrgødning}$$

, hvor  $N_{v,t}^{Husdyrgødning}$  er branche  $v$ 's brug af kvælstof fra husdyrgødning i år  $t$ .

For kunstgødning haves tilsvarende

$$Em_{v,t}^{Kunstgødning} = \mu_{v,t}^{Kunstgødning} \cdot N_{v,t}^{Kunstgødning}$$

For de øvrige ammoniakudledninger fra de vegetabiliske brancher antages disse at være proportionale med jord i opdrift

$$Em_{v,t}^{Andet} = \mu_{v,t}^{Andet} J_{v,t}$$

hvor  $J_{v,t}$  hektar jord i opdrift i branche  $v$  i år  $t$ .

### Emissionsreducerende teknologi

Ammoniakudledningerne kan reduceres igennem enten reduktion af den udledende aktivitet, beskrevet i ovenstående, eller igennem brug af ammoniakreducerende teknologi. Teknologien er modelleret på samme vis som teknologi til reduktion af drivhusgasudledninger i landbruget og metodologien er beskrevet i Stephensen et. al (2020a). På nuværende tidspunkt indeholder teknologikataloget i GrønREFORM's landbrugsmodul kun drivhusgasreducerende teknologier og ikke teknologier specifikt rettet imod at reducere ammoniakudledninger. I dette drivhusgasteknologikataloget er der en enkelt teknologi<sup>3</sup>, der forventes at ville reducere ammoniak som en sideeffekt til drivhusgasreduktionen. Sideeffekten begrænser sig til ca. 2 pct. af ammoniakudledningerne fra hhv. kvæg- og svinegyllen i 2030 (se eventuelt Tabel 2.4 i nærværende notat).

## 3.2 Fremskrivning og kalibrering

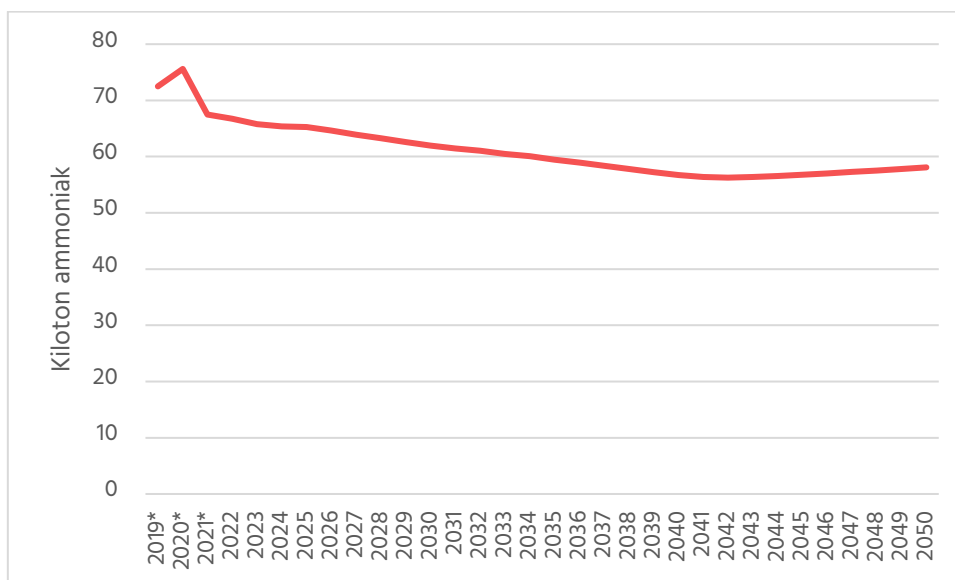
GrønREFORMs grundscenarie for ammoniakudledninger frem til 2050 er vist i Figur 3.1. Dette er identisk med DCE's ammoniakfremskrivning frem til og med 2040, mens de resterende 10 år er GrønREFORMs fortsættelse af fremskrivningen.

Emissionsfaktorerne er kalibreret i hvert år ved brug af DCE's data opdelt som beskrevet i 1.a. Fra 2040, som er det sidste år i DCE's fremskrivning, og frem sættes emissionsfaktorerne til deres kalibrerede værdi i 2040.

Ammoniakudledninger fra kategorien andre dyr modelleres ikke eksplicit. I stedet følger de blot DCE's fremskrivning eksogent, både i grundscenariet og ved stød til GrønREFORM. Fra 2040 og frem antages udledningerne fra denne kategori at være konstante.

Figur 3.1

DCE's fremskrivning af landbrugets ammoniakudledninger i GrønREFORM



Anm.: \* angiver historiske data år.

Kilde: DCE indlagt i GrønREFORM.

<sup>3</sup> Gylle med flydelag og teltoverdækning på den del af gyllen, der ikke forventes at blive hverken bioforgasset, eller forsuret, jf. korrespondance med Miljøministeriet.



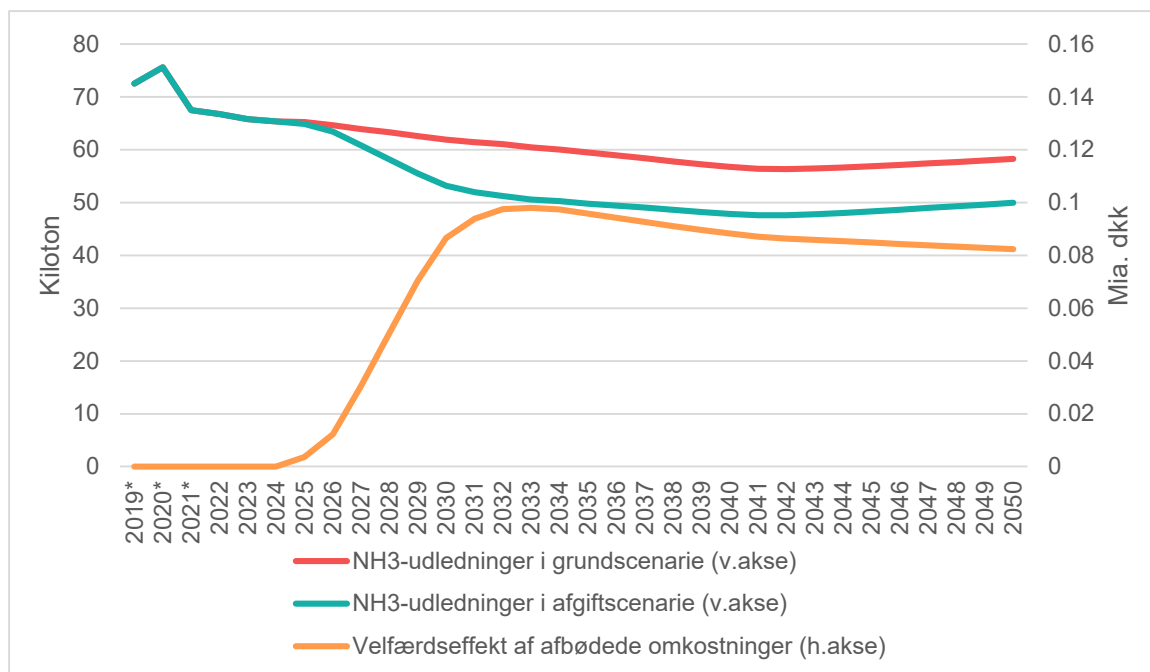
Ifølge fremskrivningen er ammoniakudledningerne i 2050 mindre end i 2021. Dette dækker over at ammoniakudledningerne er faldende frem til og med 2042, hvorefter de begynder at stige igen. Før 2040 er ammoniakudledningerne bestemt af DCE's fremskrivning, som forudsiger faldende ammoniakudledninger. Fra 2040 og frem fremskrives ammoniakudledningerne proportionalt til brugen af ammoniakudledende produktionsinput. Dette medfører at landbrugets ammoniakudledninger begynder at stige igen, da den langsigtede vækst i GrønREFORM, drevet af befolkningsudviklingen, hiver landbrugsproduktionen op.

### 3.3 Foreløbigt resultat på 750 kroners afgiftsstød

I dette afsnit sammenlignes grundforløbet for ammoniak med et scenarie, hvor landbruget pålægges en CO<sub>2</sub>e afgift på 750 kroner per ton CO<sub>2</sub>e udledt. Afgiften annonceres i 2024 og indføres over den treårige periode 2027-2030.

Scenariet er vist i Figur 3.2. CO<sub>2</sub>e -afgiften medfører et fald i ammoniakudledningerne som starter fra annonceringen i 2024. Faldet skyldes, at landbruget reagerer på annonceringen af afgiften ved at sænke investeringerne i det nuværende kapitalapparat pga. fald i den forventede profitabilitet af investeringer. Dette medfører et fald i produktionen, og dermed også i ammoniakudledningerne. I de følgende år øges afstanden til grundscenariet som konsekvens af aftagende landbrugsproduktion, således at udledningerne i 2030 ligger 9,8 kiloton under grundscenariet. Dette giver en velfærdsforbedring på 0,1 mia. kroner i årlige afbødede skadesomkostninger. Efter 2030 falder afstanden imellem afgiftsscenarioet og baselinescenariet til 9 kiloton ammoniak i 2050. Dette skyldes, at teknologisk vækst på sigt modvirker effekten fra afgiften.

Figur 3.2  
Effekten på landbrugets ammoniakudledninger af en CO<sub>2</sub>e afgift på landbruget



Anm.: \* Angiver data år. Velfærdseffekten angiver forskellen på de samfundsmæssige omkostninger i afgift scenariet og grundscenariet,

Kilde: Egne beregninger på GrønREFORM.

I Tabel 3.1 er faldet i landbrugsproduktionen og udledningerne opdelt på landbrugsbrancher i 2030 vist relativt til grundscenariet. Ammoniakudledningerne falder mest for kvæg- og svinebrancherne, og mindst for fjerkræproduktionen. Den primære grund til dette er, at ammoniakudledningerne følger produktionen i hver sektor, og da særligt kvæg- og svinebrancherne er CO<sub>2</sub>-intensive, falder deres produktion relativt mest som følge af afgiften. Hertil kan det også ses, at faldet i ammoniakudledninger for alle brancher er større eller lig med udviklingen i produktionen. Dette skyldes substitution væk fra CO<sub>2</sub>e udledende produktionsinput som i mange tilfælde er de samme, som udleder ammoniak. Dertil kommer en 2 pct. reduktion af kvæg- og svinegylle udledningerne som følge af at kvæg- og svinebrancherne tager teltoverdækning i brug over gylle med flydelag som drivhusgasreducerende virkemiddel (for gylle, der hverken er bioforgasset, eller forsuret).

**Tabel 3.1**

Relativ forskel i landbrugets produktion og ammoniakudledninger ift. baseline ved en afgift på CO<sub>2</sub>e \* i 2030 (pct.)

Landbrugstype	Branche	Produktion	Ammoniak
Vegetabilsklandbrug	Konventionel	-10.57	-14.32
	Økologisk	-5.40	-6.77
Gartnerier	Uden for opdeling	1.37	-3.54
Kvægproduktion	Konventionel	-20.87	-21.03
	Økologisk	-15.71	-15.85
Svineproduktion	Konventionel	-17.56	-17.65
	Økologisk	-10.27	-10.33
Fjerkræproduktion	Konventionel	-0.44	-0.44
	Økologisk	0.11	0.11

Anm.: \* CO<sub>2</sub>e afgiften annonceres i 2024 og indføres gradvist i perioden 2027-2030

Kilde: Egne beregninger på GrønREFORM.

## 4. Referencer

(DCE, 2023) - Jørgen Brandt, Jesper H. Christensen og Mikael Skou Andersen. 2023. Miljøøkonomiske beregningspriser for emissioner 4.0. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 23 s. Fagligt notat nr. 2023|54

(DST, 2021) – Næsten halvdelen af Danmarks kvægbestand kommer på græs en del af året. / Presse, (Artikel fra Danmarks Statistik)

(DCA, 2023) – Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget – 2023. (Rådgivningsrapport Jørgen Brandt, Jesper H. Christensen og Mikael Skou Andersen. 2023. Miljøøkonomiske beregningspriser for emissioner 4.0. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 23 s. Fagligt notat nr. 2023|54 ort fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug)

(GR, 2023) – Teknologiske reduktionsmuligheder i landbrug. (Notat til Ekspertgruppen for en Grøn Skattereform, af Jens Sand Kirk og Louis Birk Stewart).

Stephensen, P., Berg, R. K., and Beck, U. (2020a). End-of-pipe emissions abatement technologies in a cge-model, version 2. Technical report, DREAM.