

DREAM

Danish Research Institute for  
Economic Analysis and Modelling



# Teknologiske reduktionsmuligheder i landbrug

Louis Birk Stewart og Jens Sand Kirk

Dokumentationsnotat

21. februar 2024

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

# Forord

Formålet med notatet er at give et overblik over modelleringen af teknologiske reduktionsmuligheder, der kan reducere ikke-energi-relaterede udledninger i landbruget. Teknologiske reduktionsmuligheder er modelleret som en end-of-pipe teknologi, dvs. en teknologi der kan reducere emissionskoefficienten for en given udledende aktivitet. Det kan eksempelvis være brugen af nitrifikationshæmmere, som reducerer udledningen af lattergas for en given gødningsmængde. Modelleringen følger princippet for end-of-pipe teknologier på energi-relaterede udledninger, som fx CCS.

Modelleringen er fleksibel i den forstand, at modelbrugeren nemt kan indsætte egne forudsætninger om mængden af tilgængelige teknologier og disses potentialer og priser. Notatet giver en introduktion til GrønREFORMs modellering af teknologiskift, og herunder en beskrivelse af hvilke informationer der er nødvendige for at udnytte modellens fulde potentiale.

# 1. Modelling af teknologier

## Landbrugets ikke-energirelaterede udledninger

Landbrugets ikke-energirelaterede udledninger er beskrevet detaljeret i 4 dimensioner ( $i, g, s, t$ ): Emissionskategori ( $i$ ), drivhusgas ( $g$ ), branche ( $s$ ) og år ( $t$ ).

Omfanget af udledninger er i modellen knyttet til mængden af en række forskellige udlednings-aktiviteter ( $j$ ) ved en emissionsfaktor på modellens mest detaljerede niveau, jf. ligningen herunder:

$$Udledning_{i,g,s,t} = Mængde_{j,s,t} \cdot emissionsfaktor_{i,g,j,s,t}$$

**Tabel 1.1** Dimensioner i GrønREFORMs ikke-energirelaterede udledninger fra landbruget

Brancher (s)	Aktivitet (j)	Emissionskategori (i)	Drivhusgas (g)
Vegetabilsk, konv.	Forbrug af husdyrgødning*	Husdyrgødning*	Metan (CH <sub>4</sub> )
Vegetabilsk, øko.	Forbrug af kunstgødning*	Kunstgødning*	Lattergas (N <sub>2</sub> O)
Gartneri	Landbrugsjord*	Lattergas fra udvaskning*	
Kvæg, konv.	Malkekvæg**	Mineralisering*	
Kvæg, øko.	Øvrigt kvæg**	Organiske jorder i produktion*	
Svin, konv.	Smågrise**	Afgrøderester*	
Svin, øko.	Søer**	Andet*	
Fjerkræ, konv.	Slagtesvin**	Dyrenes fordøjelse**	
Fjerkræ, øko	Fjerkræ**	Gødningshåndtering**	
	Produktion af husdyrgødning**	Deposition ved afgræsning**	

Anm.: \* angiver aktiviteter og emissionskategorier relateret til vegetabilsk landbrug

\*\* angiver aktiviteter og emissionskategorier relateret til animalsk landbrug

Kilde: GrønREFORM

Som eksempel bestemmes omfanget af metan-udledning ( $g$ ) fra dyrenes fordøjelse ( $i$ ) i kvæglanbruget ( $s$ ) ud fra mængden af malkekvæg ( $j$ ) med en emissionsfaktor, der er kalibreret til Klimafremskrivningen i et givent år ( $t$ ).

Metoden og afgrænsningen inden for hver dimension er konsistent med forudsætningerne bag Klimafremskrivningen. Detaljeringsgraden er dog væsentligt større i forudsætningerne bag Klimafremskrivningen. Her sondres for eksempel mellem forskellige afgrødetyper eller kvægracer mv. Ændringer i sammensætningen af kvæg ( $j$ ) på racer eller i sammensætningen af afgrødetyper ( $j$ ) vil i GrønREFORM blive reflekteret over i emissionsfaktorerne via kalibreringsprocessen. Bemærk, at GrønREFORM dermed ikke eksplicit beskriver skift mellem f.eks. afgrøder eller ko-racer. Effekter af sådanne forventede skift kan imidlertid lægges ind som eksogene forudsætninger, evt. modelleret som en teknologiske reduktionsmulighed som beskrevet i dette notat.

## Teknologiske reduktionsmuligheder

Størstedelen af de nuværende kendte teknologier i landbruget reducerer udledningerne ved at mindske emissionsfaktoren ved en given aktivitet, og ikke ved ændring i selve aktiviteten ( $j$ ). Derfor er modelleringen af teknologi i landbruget baseret på en såkaldt *End-of-pipe* teknologi.

Der kan være mange teknologier, der virker på den samme aktivitet i et givent år. Den samlede effekt af *end-of-pipe*-teknologiskift beskrives ved en faktor ( $uEOP$ ) på mellem 0 og 1, der ganges på emissionskoefficienten i beregningen af udledningerne, som i ligningen nedenfor (uden teknologiske reduktionsmuligheder er  $uEOP = 1$ ):

$$Udledning_{i,g,s,t} = Mængde_{j,s,t} \cdot (emissionsfaktor_{i,g,j,s,t} \cdot uEOP_{i,g,j,s,t})$$

Størrelsen på  $uEOP$  afhænger af det maksimale potentiale for de tilgængelige teknologier (hvor der er taget højde for eventuelle overlap i teknologiernes potentiale) samt graden af indtrængningen af disse teknologier. Antag som et simpelt eksempel<sup>1</sup>, at der kun er én teknologi for en given aktivitet, at den har et potentiale til at reducere udledningerne fra aktiviteten med 50 pct., og at teknologien forventes at trænge ind med 50 pct. ved et givet policy-scenarie. Det vil resultere i at emissionsfaktoren reduceres med 25 pct. gennem  $uEOP = (1 - 0,5) * (1 - 0,5) = 0,75$ .

## Spredning i teknologisk indtrængning

Graden af indtrængning af en given teknologi i et givet policy-scenarie afhænger først og fremmest af, om der i policy-scenariet gives en økonomisk tilskyndelse til at tage teknologien i brug, der er større end de tekniske omkostninger, der er ved at tage teknologien i brug. Sekundært afhænger indtrængningen også af, hvor stor tilskyndelsen er gennem en modelteknisk spredningsparameter.

Ovenstående er illustreret i figur 1. Det antages, at der er to reduktionsteknologier med potentiale på hhv. 30 pct. og 10 pct. med tilhørende omkostninger på 400 og 1.000 kr. pr. ton CO<sub>2</sub>e. Den røde kurve er den klassiske MAC-kurve med fuld indtrængning af den billige teknologi ved en tilskyndelse (fx en afgift) på 400 kr. pr. ton CO<sub>2</sub>e og tilsvarende for den dyre teknologi ved en tilskyndelse på 1.000 kr. pr. ton CO<sub>2</sub>e. Spredningsparameteren i GrønRE-FORM gør imidlertid, at der ikke opnås fuld indtrængning ved 400 og 1.000 kr. pr. ton CO<sub>2</sub>e. Det giver en karakteristisk S-formet indtrængningsprofil.

Spredningen på teknologiomkostningen er modelteknisk nødvendig og sættes umiddelbart så lavt som muligt, således at der er en meget tæt tilnærmelse til den klassiske MAC-kurve (den røde). Det er illustreret i den grønne kurve i figur 1.

Spredningen kan imidlertid også bruges aktivt, hvis man vurderer, at indtrængningen vil ske mere kontinuert ved en stigende marginal tilskyndelse. Dette er illustreret for den billige teknologi i den stiplede orange kurve i figur 1. En kontinuert indtrængning kunne fx motiveres ved, at landmændene har varierende omkostninger til at implementere teknologien, eller hvis der er (symmetrisk) usikkerhed forbundet med teknologiomkostningen.

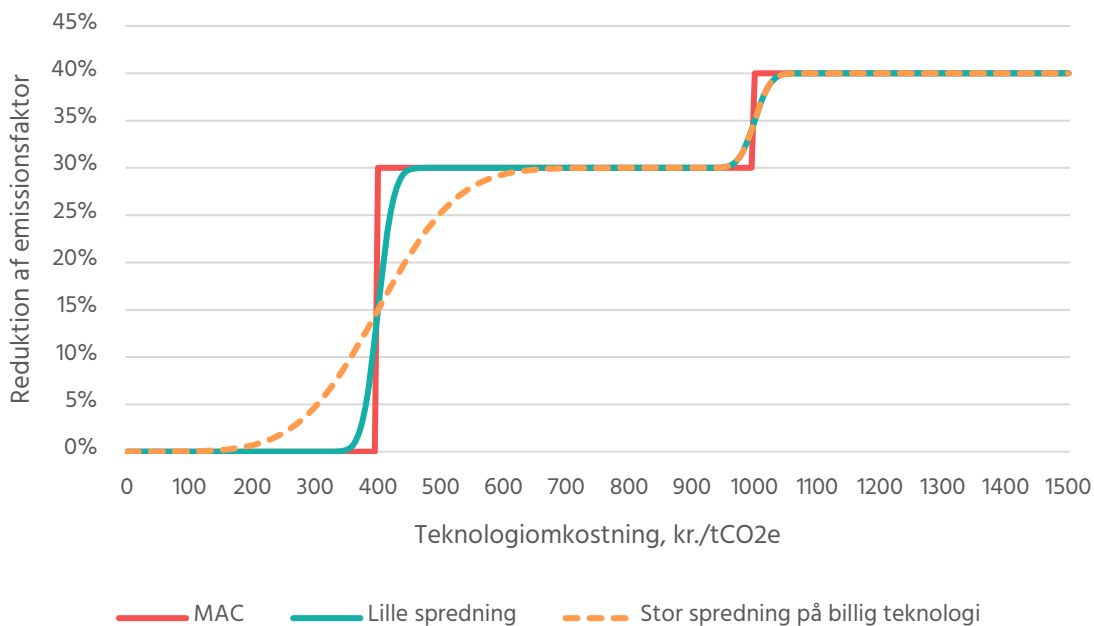
Spredningen kan også udnyttes aktivt, hvis man vurderer, at man ikke har tilstrækkeligt dækkende teknologi-data, og derfor ønsker at anvende en mere abstrakt *top-down* tilgang, hvor den tekniske effekt sker gradvist over et bredt spænd, f.eks. hvis det vurderes realistisk at der er backstop-teknologier uden for det spænd, man har teknologi-data for. Med passende valg af teknisk potentiale og spredning kan man f.eks. opnå en MAC-kurve som tilnærmelsesvist er mager til en konstant-elastisk sammenhæng.

---

<sup>1</sup> Den underliggende modellering af  $uEOP$  gennemgås ikke i indeværende notat

Figur 1.1

Teknologi-indtrængning i GrønREFORM



Anm.:  
 Kilde: Egne beregninger

**Teknologiske omkostninger**

I GrønREFORM er der mulighed for, at de teknologiske omkostninger, der er forbundet med ibrugtagning af en given teknologi, kan beskrives meget detaljeret - som et forbrug af specifikke energivarer, et forbrug af enten danskproducerede eller importerede varer og tjenester, eller endelig som et øget forbrug af kapital med et deraf afledt investeringstræk i økonomien. Ud fra fordelingen af omkostninger bestemmes teknologiprisen endogent i modellen. Hvis

Det kan potentielt være ganske vigtigt for de makroøkonomiske effekter i et givent policy-scenarie. Et eksempel er investeringseffekterne ved CCS i delrapport 1 fra Ekspertgruppen for en Grøn Skattereform, hvor investeringerne til CCS mere end modvirker det fald i investeringerne, som afgiften giver anledning til, hvormed der opstår en netto-positiv beskæftigelses-effekt på kort sigt.

En anden egenskab i GrønREFORM er, at det er muligt at specificere forudsætninger for, hvor hurtig indtrængningen af en given teknologi sker, og om virksomhederne som konsekvens af træg indtrængning evt. begynder at adoptere teknologien på forkant af en annonceret afgift.