

# Klimaregulering af landbruget: afgift versus tilskud

Af

Peter Birch Sørensen\*

Økonomisk Institut, Københavns Universitet

Keywords: Climate regulation of agriculture, pollution taxes versus abatement subsidies

JEL codes: H23, Q12, Q54

Resumé:

Regeringens ekspertgruppe for en grøn skattereform fremlagde i februar 2024 to forskellige modeller for klimaregulering af drivhusgasudledningerne fra landbrugets planteavl. I den ene model lægges en afgift på al gødning udbragt på mark, men der gives et arealbaseret bundfradrag i afgiftsbetalingen. I den anden model gives et tilskud til reduceret gødningsanvendelse finansieret ved en reduktion af EU's hektarstøtte. I en simpel partiel ligevægtsmodel med givne priser kan de to reguleringsmetoder udformes, så de giver samme effekter på ressourceallokering, drivhusgasudledning og byrdefordeling mellem landbruget og staten. Artiklen viser imidlertid, at denne ækvivalens bryder sammen i en model, der tager hensyn til samspillet mellem markedet for planteprodukter og markedet for landbrugsjord.

Modellen benyttes til at analysere effekterne af de to reguleringsmetoder på gødningsintensiteten, det dyrkede areal, planteproduktionen, planteavlernes salgspriser, jordpriserne og CO<sub>2</sub>e-udledningen. Analysen afdækker et dilemma mellem ønsket om store CO<sub>2</sub>e-reduktioner og ønsket om at minimere struktureffekterne af klimareguleringen.

\* Dette papir udspringer af mit arbejde som medlem af Ekspertgruppen for en Grøn Skattereform. Jeg takker Asbjørn Kehlet Berg, Sebastian Eske Hansen, Jens Sand Kirk og Louis Birk Stewart for nyttige diskussioner af en tidligere version af papiret, ligesom jeg takker en anonym referee for kommentarer. Jeg er eneansvarlig for eventuelle tilbageværende fejl og mangler.

## 1. Problemstillingen

I februar 2024 fremlagde regeringens ekspertgruppe for en grøn skattereform en række modeller for regulering af de ikke-energirelaterede drivhusgasudledninger fra landbrug og skovbrug, primært metan og lattergas (Ekspertgruppen (2024)). I alle reguleringsmodeller indgik en afgift på udledninger fra husdyr. Ekspertgruppen beskrev derimod to alternative metoder til regulering af udledninger fra planteproduktionen. I det første alternativ pålægges landmændene en CO<sub>2</sub>e-afgift på husdyrgødning og kunstgødning udbragt på mark, men der gives et arealbaseret bundfradrag i den samlede afgiftsbetaling udmålt på grundlaget for udbetaling af hektarstøtten i EU's fælles landbrugspolitik. I det andet alternativ gives et CO<sub>2</sub>e-baseret tilskud til reduceret gødningsanvendelse, hvor grundlaget for tilskuddet er forskellen mellem den gældende gødningsnorm i kvælstofreguleringen og den faktiske gødningstildeling til marken. Tilskuddet finansieres fuldt ud ved en reduktion af satsen for hektarstøtten, hvorved finansieringsbyrden fordeles på samtlige landbrugere, uanset om de faktisk reducerer deres gødningsanvendelse eller ej. Baggrunden for fremlæggelsen af de to alternative reguleringsmetoder var, at ekspertgruppen ifølge sit kommissorium skulle analysere såvel en afgiftsmodel som en tilskudsmodel for klimaregulering af landbruget og herunder belyse mulighederne for at udnytte EU's landbrugsstøtte til at fremme de danske klimamål.

Valget mellem en afgiftsmodel og en tilskudsmodel rejser nogle interessante økonomisk-teoretiske problemstillinger. Som vi skal se, indikerer en klassisk partiel ligevægtsanalyse, at man kan opnå nøjagtigt den samme effekt på ressourcelokering og drivhusgasudledning med en afgift per ton udledt CO<sub>2</sub>e og med et tilskud til reduktion af udledningerne af samme størrelse per ton. Som vi også skal se, bryder denne ækvivalens mellem de to reguleringsmetoder imidlertid sammen, når analysen bredes ud. Et hovedresultat af vor analyse er, at en afgift typisk medfører en større drivhusgasreduktion, men til gengæld også en større nedgang i planteproduktionen end et tilskud af samme størrelse per ton CO<sub>2</sub>e.

Ekspertgruppens skøn for effekterne af de to metoder er baseret på den nyligt udviklede anvendte generelle ligevægtsmodel GrønREFORM,<sup>1</sup> der har en detaljeret beskrivelse af landbrugssektoren og tillige giver en grundig beskrivelse af sektorens samspil med den øvrige økonomi. På grund af GrønREFORM-modellens størrelse og kompleksitet kan det imidlertid være vanskeligt at gennemskue de centrale drivkræfter bag simulationsresultaterne. Denne artikel opstiller og simulerer derfor en simpel ligevægtsmodel for planteavl til illustration af de grundlæggende økonomiske mekanismer, der bestemmer effekterne af de to reguleringsmetoder på gødningsintensiteten, det dyrkede areal, planteproduktionen, planteavlernes salgspriser, jordpriserne og CO<sub>2</sub>e-udledningen. Artiklen belyser, hvilke

1. En nærmere beskrivelse af GrønREFORM-modellen findes på <https://dreamgruppen.dk/modeller-og-metoder/groenreform>.

## 2 KLIMAREGULERING AF LANDBRUGET: AFGIFT VERSUS TILSKUD

parametre der har betydning for effekterne af de to reguleringsmetoder, og giver indsigt i de kvalitative og kvantitative forskelle mellem de to metoder.

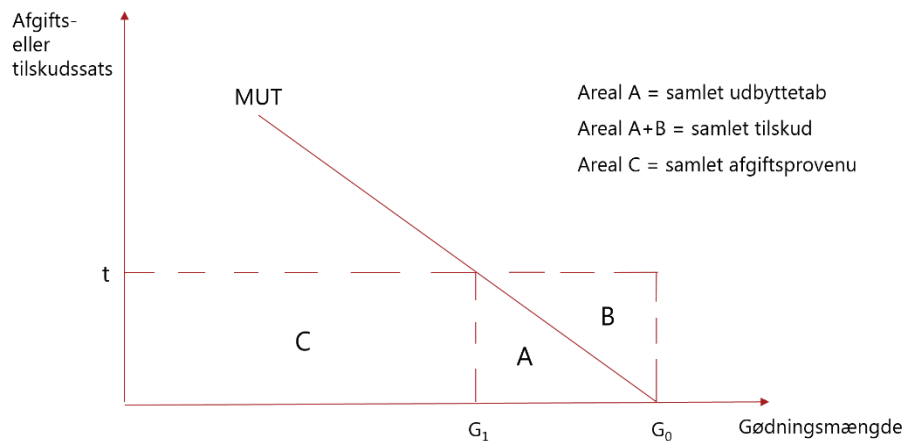
Det er vigtigt at være opmærksom på, at den her opstillede model alene fokuserer på den isolerede effekt af en gødningsafgift eller et tilskud til reduceret gødningsanvendelse. Ekspertgruppens samlede forslag til klimaregulering af landbruget inkluderer som nævnt også en CO<sub>2</sub>e-afgift på udledninger fra husdyr samt tilskud til skovrejsning og udtagning af lavbundsjorder. Disse tiltag vil have væsentlig indvirkning på planteavl via et reduceret udbud af landbrugsjord og husdyrgødning samt reduceret efterspørgsel efter husdyrfoder og strøelse.

Artiklen er disponeret som følger: I afsnit 2 præsenteres en simpel grafisk analyse, der illustrerer ækvivalensen mellem en gødningsafgift og et tilskud til reduceret gødningsanvendelse i partiel ligevægt. Dernæst opstilles i afsnit 3 en analytisk model for planteavl, der inddrager markedet for landbrugsjord såvel som markedet for planteprodukter. Afsnit 4 viser, at en gødningsafgift og et tilskud til reduceret gødningsanvendelse har forskellige effekter i denne model, og afsnittet forklarer de kvalitative effekter af de to reguleringsmetoder. Afsnit 5 følger op med en kvantitativ analyse baseret på simulationseksperimenter med modellen, og der gennemføres følsomhedsanalyser for at belyse konsekvenserne af at variere modellens parameterverdier. Afsnit 6 afrunder artiklen med en kort konklusion, og to tekniske appendiks dokumenterer artiklens analytiske resultater.

## 2. Afgift contra tilskud i partiel ligevægt

Figur 1 præsenterer en simpel partiel ligevægtsanalyse af effekterne af henholdsvis en afgift på  $t$  kr. per kilo gødning udbragt på marken og et tilskud på  $t$  kr. for hvert kilo, hvormed gødningstildelingen reduceres ned under det initiale niveau  $G_0$ , der kan tolkes som gødningsnormen i den eksisterende regulering af landbrugets kvælstofforbrug. Udledningen af drivhusgas (primært lattergas) fra marken antages at være proportional med den tildelte gødningsmængde.

Figur 1. Effekter af en gødningsafgift og af et tilskud til reduceret gødningsanvendelse.



Den samlede tilførte gødningsmængde på den betragtede landbrugsbedrift er afsat langs den vandrette akse i figuren, mens afgifts- eller tilskudssatsen er afsat op ad den lodrette akse.

Grafen MUT angiver landmandens udbyttetab i kroner ved at reducere gødningstilførslen med et ekstra kilo, betegnet det marginale udbyttetab. Af forenklingshensyn antages MUT-kurven at være lineær, men det er ikke afgørende for diagrammets hovedpointe.

Før indførelsen af en gødningsafgift eller et gødningstilskud tilfører landmanden gødningsmængden  $G_0$  til sine marker. Hvis der indføres et tilskud med satsen  $t$  for hvert kilo, hvormed gødningstilførslen reduceres, vil en rationel landmand reducere gødningsmængden fra  $G_0$  til mængden  $G_1$ , hvor det marginale udbyttetab netop svarer til tilskudssatsen. Det samlede udbyttetab som følge af gødningsreduktionen er lig med trekantarealet  $A$ , og det samlede modtagne tilskud er lig med summen af trekantarealerne  $A$  og  $B$ , som i overensstemmelse med ekspertgruppens forslag finansieres ved at reducere hektarstøtten under EU's landbrugspolitik (hvilket der er hjemmel til inden for visse grænser). I forhold til tidligere skal landmanden altså afholde reduktionsomkostningen  $A$  for at kunne opretholde den samme samlede støttetildeling. Med antagelsen om en lineær MUT-kurve betyder dette, at landmanden som modydelse for støtten skal afholde en reduktionsomkostning på halvdelen af støttebeløbet med henblik på at skabe en klimagevinst.

Hvis der i stedet indføres en gødningsafgift med satsen  $t$ , vil den rationelle landmand fortsat reducere gødningstilførslen til mængden  $G_1$ , hvor det marginale udbyttetab svarer til afgiftssatsen. Landmandens samlede meromkostning som følge af afgiften bliver dermed summen af den samlede afgiftsbetaling, der udgøres af arealet  $C$ , og den samlede reduktionsomkostning  $A$ . Hvis det politiske krav er, at afgiftsprovenuet  $C$  skal føres tilbage til erhvervet på en måde, der ikke svækker incitamenteffekten af afgiften, vil nettobelastningen for den »repræsentative«

#### 4 KLIMAREGULERING AF LANDBRUGET: AFGIFT VERSUS TILSKUD

landmand imidlertid kun være lig med arealet  $A$  svarende til nettobelastningen under tilskudsordningen, og statens nettoprovenu vil ligeledes være det samme, dvs. nul.

I en partiel ligevægtsanalyse er afgifts- og tilskudsregulering altså ækvivalente reguleringsformer, hvis der er et politisk ønske om at tilbageføre et eventuelt afgiftsprovenu til erhvervet.<sup>2</sup> Tilskudsordningen har imidlertid den fordel, at den enkelte landmand så at sige automatisk kompenseres på en enkel og ikke-forvridende måde med et beløb svarende til den nettoomkostning, han skulle have afholdt under en afgiftsregulering.

En vigtig forudsætning bag ækvivalensresultatet i Figur 1 er, at alle priser på inputs og outputs (før skat eller tilskud) er eksogent givne. Det betyder bl.a., at brugerprisen på landbrugsjord antages at være upåvirket af afgiften eller tilskuddet, hvilket må anses for urealistisk. En mere tilfredsstillende analyse må inddrage jordprisen som en endogen variabel og tage hensyn til, at de to reguleringsmetoder kan have forskellige virkninger på omfanget af det dyrkede areal. Med det formål opstiller næste afsnit en simpel model for spillet mellem markedet for plantevarer og markedet for landbrugsjord.

### 3. En simpel model for planteavl

Modellen i dette afsnit beskriver en »repræsentativ« planteavler, som producerer et planteprodukt via indsats af jord, gødning og en fast inputfaktor, der ikke modelleres eksplicit, men kan tolkes som landbrugerens indsats af arbejdskraft og realkapital. Den producerede mængde  $Q$  af planteproduktet er givet ved produktionsfunktionen

$$Q = AK^\alpha, \quad A > 0, \quad 0 < \alpha < 1, \quad (1)$$

hvor  $K$  er et CES-aggregat af inputtet af gødning ( $G$ ) og inputtet af dyrket landbrugsjord ( $J$ ), med en substitutionselasticitet  $\sigma$  mellem de to produktionsfaktorer:

$$K = \left[ \gamma^{\frac{1}{\sigma}} G^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + (1-\gamma)^{\frac{1}{\sigma}} J^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}, \quad \sigma > 0, \quad 0 < \gamma < 1. \quad (2)$$

2. Dette ækvivalensresultat i partiel ligevægt er en klassisk indsigt fra miljøøkonomien, jf. fx Cropper og Oates (1992, p. 681), Goulder og Parry (2008, p. 155) og Perman m.fl. (2011, kap. 6).

Parameterrestriktionen  $\alpha < 1$  i (1) implicerer, at det marginale udbytte af en ekstra faktorindsats er aftagende.

### 3.1. Afgiftsregulering

Vi fokuserer i første omgang på afgiftsregulering af gødningsforbruget. I ekspertgruppens model for afgiftsregulering pålægges planteavleren en afgift med satsen  $\tau$  på det samlede gødningsforbrug  $G$ , men samtidigt tildeles han et bundfradrag i afgiftsbetalingen med satsen  $b$  for hver hektar af sin jord, der er berettiget til hektarstøtte som led i EU's fælles landbrugspolitik. Hektarstøtten gives med satsen  $h$ , og planteavlerens samlede produktionsomkostning  $C$  er dermed

$$C = (p_G + \tau)G + cJ, \quad c \equiv rP_j - h - b, \quad (3)$$

hvor  $p_G$  er kiloprisen på gødning eksklusiv afgift,  $\tau$  er CO<sub>2</sub>e-afgiften per kilo gødning, og  $c$  er brugerprisen på landbrugsjord, der inkluderer den krævede forrentning  $rP_j$  af jordens værdi, idet  $P_j$  er jordprisen, og  $r$  er den krævede afkastrate. Som led i optimeringen af driften minimerer planteavleren de samlede omkostninger (3) ved opnåelse af en given samlet faktorindsats  $K$ . Denne omkostningsminimering kan vises at medføre, at

$$G = \gamma \left( \frac{p_G + \tau}{Z} \right)^{-\sigma} K, \quad (4)$$

$$J = (1 - \gamma) \left( \frac{c}{Z} \right)^{-\sigma} K, \quad (5)$$

hvor  $Z$  er følgende indeks for den gennemsnitlige produktionsomkostning, dvs. prisen på inputaggregatet  $K$ :

$$Z = \left[ \gamma (p_G + \tau)^{1-\sigma} + (1 - \gamma) c^{1-\sigma} \right]^{\frac{1}{1-\sigma}}. \quad (6)$$

Planteavlerens efterspørgsel efter gødning og jord til dyrkning varierer ifølge (4) og (5) positivt med den samlede faktorindsats og negativt med den relative pris på den betragtede produktionsfaktor, med en numerisk priselasticitet svarende til substitutionselasticiteten  $\sigma$ . Gødningsintensiteten  $g$  (gødningstildelingen per hektar) er givet som

$$g \equiv \frac{G}{J} = \left( \frac{\gamma}{1 - \gamma} \right) \left( \frac{p_G + \tau}{c} \right)^{-\sigma}. \quad (7)$$

## 6 KLIMAREGULERING AF LANDBRUGET: AFGIFT VERSUS TILSKUD

Ved brug af (1) kan planteavlerens driftsoverskud  $\pi$  ved dyrkning af jorden skrives som

$$\pi = pQ - ZK = pAK^\alpha - ZK,$$

hvor  $p$  er prisen på planteproduktet. Planteavleren tager outputprisen  $p$  og inputomkostningen  $Z$  for givet og vælger den samlede faktorindsats  $K$ , der maksimerer driftsoverskuddet  $\pi$ , hvilket kan vises at indebære, at

$$K = \alpha \left( \frac{p}{Z} \right) Q. \quad (8)$$

### 3.2. Ligevægtsbetingelser

En ligevægt på jordmarkedet kræver, at prisen på landbrugsjord tilpasser sig, så planteavlerne opnår den krævede forrentning af jorden, dvs. at

$$rP_j = \rho + h + b, \quad (9)$$

hvor  $\rho$  er planteavlerens marginale dækningsbidrag per hektar, dvs. den ekstra nettoindtjening, der kan opnås ved at øge arealindsatsen, og  $h$  og  $b$  repræsenterer indtjeningsbidraget fra hektarstøtten og det arealbaserede bundfradrag i gødningsafgiften. Ved sammenligning af (9) med definitionen af brugerprisen  $c$  i (3) ser man, at brugerprisen på jord i ligevægt må svare til dækningsbidraget  $\rho$ .

Bundfradraget per hektar beregnes på basis af det landbrugsareal  $\bar{J}$ , som er berettiget til hektarstøtte, og kalibreres i overensstemmelse med ekspertgruppens forslag således, at det samlede nedslag i afgiftsbetalingen udgør en andel  $\mu$  af den samlede umiddelbare afgiftsbelastning (belastningen før adfærdsændringer) for planteavlen som helhed. Ifølge EU's fælles landbrugspolitik kan ejere af landbrugsjord opnå hektarstøtte til arealer, der ikke aktuelt dyrkes, hvis blot jorden holdes i dyrkbar stand. Bundfradraget i gødningsafgiften kalibreres dermed således at

$$b\bar{J} = \mu\tau G_0, \quad 0 < \mu \leq 1, \quad (10)$$

hvor  $\tau G_0$  er den umiddelbare afgiftsbelastning, idet  $G_0$  er gødningstildelingen i udgangsligevægten, inden planteavlerne har tilpasset deres adfærd til afgiften, og hvor det samlede støtteberettigede areal  $\bar{J}$  betragtes som eksogent. Ligning (10) kan omskrives til

$$b = \mu\tau g_0 u_0, \quad g_0 \equiv \frac{G_0}{J_0}, \quad u_0 \equiv \frac{J_0}{\bar{J}}, \quad J_0 < \bar{J}, \quad (11)$$

hvor  $g_0$  er den initiale gødningsintensitet, og  $u_0$  er den initiale udnyttelsesgrad af jorden (andelen af det samlede areal, der dyrkes aktivt), der som anført antages at være mindre end 1 som afspejling af den empiriske observation, at en del af det samlede støtteberettigede landbrugsareal ikke dyrkes. Ved indførelsen af afgiften er  $g_0$  og  $u_0$  prædeterminerede størrelser, der baseres på gennemsnitstal for alle planteavlere, og bundfradragssatsen  $b$  er derfor eksogent givet fra den enkelte planteavlernes synspunkt. Da planteavleren i den opstillede model er »repræsentativ«, afspejler  $g_0$  og  $u_0$  dog samtidigt hans initiale gødnings- og dyrkningsintensitet.

I GrønREFORM-modellen antages det på grundlag af et empirisk studie af dækningsbidraget på landbrugsjorder med forskellig bonitet, at det samlede dyrkede areal er en voksende funktion af det marginale dækningsbidrag per hektar, da et større dækningsbidrag gør det mere fordelagtigt at dyrke jorden. På samme måde antages her, at "udbuddet" af dyrket jord  $J^u$  stiger med dækningsbidraget, med en konstant udbudselasticitet  $\eta$ :

$$J^u = B\rho^\eta, \quad B > 0, \quad 0 < \eta < 1. \quad (12)$$

Antagelsen  $\eta < 1$  skal på simpel vis afspejle, at jordudbudskurven ifølge GrønREFORM er stejlt stigende, efterhånden som de yderste og relativt ufrugtbare marginaljorder inddrages til dyrkning. I Danmark er de fleste planteavlere selvejere og »udbydere« således det dyrkede areal til sig selv. "Udbudskurven" (12) skal derfor ses som værende afledt af en betingelse om, at det marginale dyrkede jordstykke som minimum skal afkaste et dækningsbidrag på nul. Planteavlerne starter med at dyrke de mest frugtbare jordstykker og tager derefter de mindre frugtbare jorder i brug indtil det punkt, hvor dækningsbidraget på marginaljorden er presset ned på nul. Hvis det skal kunne betale sig at øge det dyrkede areal ved at tage endnu mindre frugtbare jorder i brug, skal det marginale dækningsbidrag altså stige, hvilket netop er, hvad (12) udtrykker.



I en ligevægt på jordmarkedet skal udbuddet af dyrket jord svare til efterspørgslen, dvs.

$$J^u = J, \quad (13)$$

hvor jordefterspørgslen  $J$  er givet ved (5). Samtidigt kræver en ligevægt, at udbuddet af planteprodukter ( $Q$ ) svarer til efterspørgslen ( $D$ ), dvs.

$$Q = D, \quad (14)$$

hvor efterspørgslen efter planteprodukter antages at variere negativt med deres pris med en konstant numerisk priselasticitet  $\varepsilon^d$ :

$$D = kp^{-\varepsilon^d}, \quad k > 0, \quad \varepsilon^d > 1. \quad (15)$$

Forudsætningen i (15) om en numerisk efterspørgselselasticitet større end 1 er solidt understøttet af empiri. Efterspørgselselasticiteten  $\varepsilon^d$  er medbestemmende for graden af overvæltning af en omkostningsstigning i planteproduktprisen  $p$ , men overvæltningsgraden afhænger også af elasticiteten i udbuddet af planteprodukter, der betegnes  $\varepsilon^s$ . Ved at indsætte profitmaksimeringsbetingelsen (8) i produktionsfunktionen (1) og løse for  $Q$ , finder man, at

$$Q = \left[ \alpha \left( \frac{p}{Z} \right) \right]^{1-\alpha} \Rightarrow$$

$$\varepsilon^s \equiv \frac{\partial Q}{\partial p} \frac{p}{Q} = \frac{\alpha}{1-\alpha}. \quad (16)$$

Ved analyse af den samlede model (se Appendiks A) kan man endvidere vise, at overvæltningsgraden (OVG) er givet ved den klassiske formel

$$OVG = \frac{\varepsilon^s}{\varepsilon^s + \varepsilon^d}. \quad (17)$$

Overvæltningsgraden angiver den andel af en stigning i produktionsomkostningen  $Z$ , der overvælttes i prisen  $p$  på planteprodukter.

### 3.3. Tilskudsregulering

Modellen ovenfor beskriver situationen, hvor gødningsanvendelsen reguleres med en afgift. Når reguleringen i stedet sker via et tilskud til reduceret gødningsanvendelse, modificeres visse af modellens ligninger. I ekspertgruppens tilskudsmodel gives et CO<sub>2</sub>e-baseret tilskud på  $\tau$  for hvert kilo, hvormed gødningstilførelsen til marken sænkes i forhold til den gældende kvælstofnorm  $g_0$  for den

tilladte mængde gødning per hektar. Tilskuddet gives kun, hvis jorden faktisk dyrkes, og kan således ikke opnås ved at braklægge jord. Tilskuddet  $T$  til den repræsentative planteavler kan dermed specificeres som

$$T = \tau(g_0 J - G) \quad \text{forudsat } g_0 J \geq G. \quad (18)$$

I den gældende kvælstofregulering er kvælstofnormen fastsat som den beregnede driftsøkonomisk optimale gødningsintensitet for den gennemsnitlige planteavler og svarer derfor til afgiftsmodellens initiale gødningsintensitet  $g_0$  defineret i ligning (11), der netop antages fremkommet ved driftsøkonomisk optimering.

I tilskudsmodellen inkluderer brugerprisen på jord fortsat forrentningskravet  $rP_j$ , ligesom brugerprisen fortsat holdes nede af hektarstøtten  $h$ . Ved brug af (18) finder man da, at planteavlerens samlede produktionsomkostning bliver

$$\begin{aligned} C &= p_G G + (rP_j - h)J - T \\ &= (p_G + \tau)G + \tilde{c}J, \quad \tilde{c} \equiv rP_j - h - \tau g_0. \end{aligned} \quad (19)$$

Det ses, at tilskudssatsen  $\tau$  virker som en offeromkostning ved gødningsanvendelse på samme måde som afgiftssatsen i afgiftsmodellen, og at brugerprisen  $\tilde{c}$  på dyrket jord reduceres som følge af, at den gældende gødningsnorm  $g_0$  indgår positivt i grundlaget for tildelingen af tilskud med en effekt, der er proportional med det dyrkede areal.

Maksimering af planteavlerens driftsoverskud i tilskudsmodellen kan derfor vises at indebære, at ligning (4) til bestemmelse af gødningsefterspørgslen forbliver uændret, mens brugerprisen  $c = rP_j - h - b$  i ligningerne (5), (6) og (7) skal erstatte af den modificerede brugerpris  $\tilde{c}$  defineret i (19). Ligning (9) for jordprisdannelsen i afgiftsmodellen erstattes i tilskudsmodellen af den simple liggvægtsbetingelse

$$rP_j = \rho + h, \quad (20)$$

hvor tilskuddet til reduceret gødningsanvendelse er "gemt" i dækningsbidraget  $\rho$  (se Appendiks B), da tilskuddet kun kan opnås ved aktiv dyrkning af jorden, i modsætning til bundfradraget  $b$  i afgiftsmodellen, der udmåles på det samlede hektarstøtteberettigede areal  $\bar{J}$ .

I ekspertgruppens reguleringsmodel finansieres tilskuddet til reduceret gødningsanvendelse fuldt ud ved en reduktion af hektarstøtten, der gælder for alle planteavlere, uanset om de reducerer deres gødningsanvendelse eller ej. For den enkelte planteavler virker finansieringen således som en lump-sum beskatning af hans samlede jordareal  $\bar{J}$ . Idet vi betragter vores planteavler som repræsentativ for hele planteavlssektoren, indebærer finansieringsprincippet i tilskudsmodellen altså, at

$$(h_0 - h)\bar{J} = \tau(g_0J - G), \quad (21)$$

hvor  $h_0$  og  $h$  er hektarstøttesatsen henholdsvis før og efter indførelsen af tilskuddet.

Tilskudsmodellen er således provenuneutral, hvorimod afgiftsmodellen indbringer staten et positivt nettoprovenu, når kompensationsparameteren  $\mu$  i ligning (10) er mindre end 1. Modellen forudsætter, at afgiftsprovenuet anvendes på en måde, der ikke påvirker planteavlernes incitament til brug af gødning og jord.

Hermed har vi opstillet den samlede ligevægtsmodel for planteavlen under de to reguleringsregimer. I næste afsnit forklares de kvalitative resultater, der kan udledes af modellen.

#### 4. Kvalitative modelresultater

I appendiks A vises, hvordan den opstillede model kan kondenseres med henblik på at udlede eksplicite analytiske udtryk for effekterne af de to metoder til gødningsregulering på modellens centrale variable. De kvalitative resultater fra modellen er opsummeret i Tabel 1, hvor et dobbelt minustegn eller et dobbelt plustegn indikerer, at effekten er større i den betragtede reguleringsmodel end i det alternative reguleringsregime. Det antages som nævnt, at tilskudssatsen per kilo, hvorved gødningsfordelingen reduceres, er den samme som afgiftssatsen per kilo gødningsforbrug.

Tabel 1. Kvalitative effekter af klimaregulering af planteavlen

Effekt på	Reguleringsmetode	
	Afgift	Tilskud
Gødningsintensitet	-	--
Dækningsbidrag	-	+
Dyrket areal	-	+
Planteproduktion	--	-
Pris på planteprodukter	++	+
Jordpris	(-)	(-)
CO <sub>2</sub> e-udledninger	--	-

Kilde: Egne beregninger dokumenteret i Appendiks.

Resultaterne i Tabel 1 kan forklares som følger: Ved en gødningsafgift med et hektarbaseret bundfradrag, der baseres på hele landmandens jordareal, uanset om det

dyrkes eller ej, falder det marginale dækningsbidrag ved dyrkning af jorden, og derfor indskrænkes det dyrkede areal. Samtidigt tilskynder gødningsafgiften til at reducere gødningstildelingen per hektar af det dyrkede areal. Begge effekter medfører et fald i planteproduktionen, og derfor stiger prisen på planteavlernes produkter som følge af et lavere udbud. Det lavere gødningsforbrug medfører tillige et fald i CO<sub>2</sub>e-udledningerne. Prisen på landbrugsjord påvirkes af modsatrettede effekter, idet faldet i dækningsbidraget trækker jordprisen ned, hvorimod stigningen i prisen på planteprodukter og det hektarbaserede bundfradrag isoleret set trækker jordprisen op. Nettoeffekten på jordprisen er i princippet ubestemt, hvilket er indikeret med parantesen i første søjle af Tabel 1, men simulationer med modellen har vist, at jordprisen vil falde ved alle plausible parameterkonstellationer.

Ved et tilskud til reduceret gødningsanvendelse svarende til afgiftssatsen vil planteavlernes dækningsbidrag ved dyrkning af jorden stige, og derfor stiger det dyrkede areal. Disse effekter står i modsætning til, hvad der sker i afgiftsmodellen. Tilskuddet tilskynder samtidigt til at sænke gødningsintensiteten per hektar, og denne effekt forstærkes af, at tilskuddet sænker "brugerprisen" på dyrket landbrugsjord, hvilket giver et yderligere incitament til at substituere væk fra gødningsforbrug og over mod arealinput i produktionen. Som følge af sidstnævnte effekt er faldet i gødningsintensitet (lidt) større i tilskudsmodellen end i afgiftsmodellen. Nettoeffekten af stigningen i det dyrkede areal og faldet i gødningsintensitet er et samlet fald i planteproduktionen, men produktionsfaldet er mindre i tilskudsmodellen end i afgiftsmodellen, da afgiftsmodellen i modsætning til tilskudsmodellen indebærer et fald i det dyrkede areal. Eftersom udbuddet af planteprodukter altså falder mindre i tilskudsmodellen, medfører denne model også en mindre stigning i prisen på planteprodukter. Det større arealforbrug i tilskudsmodellen betyder tillige, at faldet i det samlede gødningsforbrug og dermed i CO<sub>2</sub>e-udledningerne er mindre i tilskudsmodellen end i afgiftsmodellen.

Også i tilskudsmodellen påvirkes jordprisen af modsatrettede faktorer. Stigningen i dækningsbidraget trækker sammen med den højere pris på planteprodukter jordprisen opad, mens finansieringen af tilskuddet via lavere hektarstøtte trækker jordprisen ned. I de nedenfor foretagne modelsimulationer er nettoeffekten et meget beskedent jordprisfald. Usikkerheden om denne nettoeffekt er markeret med parantesen i anden søjle af Tabel 1.

## 5. Simulationsresultater

### 5.1. Et grundforløb

I Tabel 2 er de i appendiks A udledte analytiske udtryk for afgifts- og tilskudseffekter anvendt til at illustrere de mulige kvantitative effekter ved indsættelse af de plausible parameterværdier angivet i noten til tabellen. Det bemærkes, at værdien af parameteren  $\mu$  svarer til den værdi, der er forudsat i ekspertgruppens forslag

til en afgiftsmodel med 50 pct. bundfradrag, mens værdien af parameteren  $\beta \equiv h_0 / (\rho_0 + h_0)$  afspejler et skøn for den relative betydning af hektarstøtten for landbrugets indtjening i den initiale ligevægt, baseret på nationalregnskabet tal for landbruget. Den forudsatte størrelse af stykafgiften per kilo gødning henholdsvis tilskudssatsen per kilo reduktion af gødningsforbruget udgør i udgangsligevægten 50% af gødningsprisen, hvilket er af nogenlunde samme størrelsesorden som i ekspertgruppens afgifts-/tilskudsmodeller.

Tabel 2. Effekter af klimaregulering af planteavl i grundforløbet  
(procentvise ændringer ved indførelse af afgift/tilskud på 50% af gødningspris)

Effekt på	Reguleringsmodel	
	Afgiftsmodel	Tilskudsmodel
Gødningsintensitet	-6,9	-7,0
Dækningsbidrag	-19,4	1,0
Dyrket areal	-1,9	0,1
Planteproduktion	-3,2	-1,6
Pris på planteprodukter	0,6	0,3
Jordpris	-2,2	-0,0
CO <sub>2</sub> e-udledninger	-8,9	-6,9

Kilde: Egne modelberegninger baseret på følgende parameterværdier:  $\alpha = 0,8$ ;  $\varepsilon^d = 5$ ;  $\sigma = 0,1$ ;  $\eta = 0,1$ ;  $\gamma = 0,3$ ;  $\mu = 0,5$ ;  $u = 0,95$ ;  $\beta \equiv h_0 / (\rho_0 + h_0) = 0,758$ ;  $\tau = 0,5$ .

Resultaterne i Tabel 2 bekræfter de kvalitative effekter opsummeret i Tabel 1. Mechanismerne bag effekterne blev forklaret i kommentarerne til Tabel 1. I modelsimulationerne bag Tabel 2 er gødningsprisen før afgift/tilskud normeret til 1, og den forudsatte afgifts-/tilskudssats på 0,5 indebærer derfor, at afgiften/tilskuddet ændrer planteavlernes enhedsomkostning til gødning med 50 pct. På baggrund af dette kraftige stød til gødningsomkostningen kan det måske overraske, at faldet i planteproduktionen i størrelsesordenen 2-3 pct. ikke er større. Forklaringen skal søges i følgende forhold:

- i) Den forudsatte værdi af parameteren  $\gamma$  indebærer, at udgiften til gødning initialt kun udgør 30 pct. af omkostningen til det samlede input af jord og gødning ( $K$ ). Umiddelbart stiger den samlede enhedsomkostning  $Z$  ved brugen af denne faktorkombination altså »kun« med  $0,3 \times 50$  pct. = 15 pct.
- ii) Den forudsatte værdi af parameteren  $\alpha$  indebærer endvidere, at den samlede initiale (bruger)omkostning til jord og gødning kun udgør 80 pct. af planteavlernes samlede produktionsværdi. Den umiddelbare omkostningsstigning i forhold til produktionsværdien begrænses derved til  $0,8 \times 15$  pct. = 12 pct.
- iii) Derudover medfører stigningen i den relative pris på gødning en substitution væk fra gødning over mod øget arealanvendelse (dvs. et fald i gødningsintensiteten), som yderligere reducerer omkostningsstigningen (denne effekt er dog

beskeden i det betragtede grundforløb med en lav substitutionselasticitet  $\sigma$  mellem gødning og arealinput)<sup>3</sup>.

- iv) Ved en lavere produktion udløst af faldende efterspørgsel som følge af overvæltning af omkostningsstigninger i prisen på planteprodukter bevæger planteproducenterne sig ned ad deres udbudskurve, som afspejler, at de marginale og gennemsnitlige produktionsomkostninger falder, når produktionen falder. Dette bidrager yderligere til at dæmpe omkostningsstigningen i planteproduktionen.
- v) Produktionsfaldet afhænger af, hvor meget efterspørgslen efter planteprodukter falder, hvilket igen afhænger af, hvor stor en del af omkostningsstigningen der overvælttes i prisen på planteprodukter. De forudsatte parameterverdier (af  $\alpha$  og  $\varepsilon^d$ ) implicerer, at kun godt 44 pct. af omkostningsstigningen ved gødningsreguleringen overvælttes i prisen. Det bidrager ligeledes til at dæmpe produktionsfaldet.
- vi) I tilskudsmodellen medfører tilskuddet en stigning i det marginale dækningsbidrag, som tilskynder til at udvide det dyrkede areal. Det trækker isoleret set i retning af et øget udbud af planteprodukter, som dæmper produktprisen og dermed faldet i efterspørgsel og produktion i denne model.

## 5.2. Følsomhedsanalyse

Der er usikkerhed om størrelsen af en række af modellens parametre (og pga. modellens forenklinger kan den i bedste fald kun give en grov indikation af størrelsesordenen af de forskellige effekter af reguleringen). Derfor viser Tabel 3 de simulerede effekter af de to modeller for gødningsregulering ved væsentlige variationer i værdien af centrale parametre.

- 3. Bemærk at denne elasticitet både kan dække over substitution mellem gødning og arealinput for en given afgrødetype og substitution over mod mindre gødningskrævende afgrøder. I ekspertgruppens tilskudsmodel er udgangspunktet for tilskuddet dog de afgrødespecifikke gødningsnormer, som er lavere for mindre gødningsintensive afgrøder. Det eliminerer incitamentet til at skifte over til mindre gødningsintensive afgrøder i tilskudsmodellen, hvorimod dette incitament er til stede i afgiftsmodellen. Den simple model i dette notat fanger ikke denne forskel i incitamentsvirkningen af de to reguleringsformer, men forskellen vurderes ikke at være stor ved de afgifts-/tilskudssatser, ekspertgruppen har foreslået.

Tabel 3. Effekt af klimaregulering af planteavlen ved alternative parameterverdier (procentvise ændringer ved indførelse af afgift/tilskud på 50% af gødningspris)\*

Parameterverdier	Afgiftsmodel			Tilskudsmodel		
	Planteproduktion	Produktpris	Jordpris	Planteproduktion	Produktpris	Jordpris
Grundforløb*	-3,2	0,6	-2,2	-1,6	0,3	-0,0
$\varepsilon^d = 15$	-3,3	0,2	-2,4	-1,6	0,1	-0,2
$\alpha = 0,6$	-2,3	0,5	-2,0	-1,2	0,2	-0,0
$\sigma = 0,6$	-10,5	2,1	-1,1	-9,0	1,8	-0,5
$\eta = 0,9$	-11,6	2,3	-0,9	-1,2	0,2	-0,1
$\eta = 0,0$	-1,9	0,3	-2,5	-1,9	0,3	-0,1
$\mu = 0,93$	-3,2	0,6	-0,0	-1,6	0,3	-0,0

\* Parameterverdier som angivet i noten til Tabel 2.

Kilde: Egne beregninger baseret på den opstillede model.

I tabellens anden række er den numeriske priselasticitet i efterspørgslen efter planteprodukter tredoblet fra 5 i grundforløbet til 15, hvorved efterspørgslen reagerer langt kraftigere på en given prisstigning. Den langt højere efterspørgselselasticitet betyder imidlertid også, at overvælningsgraden falder fra godt 44 pct. i grundforløbet til 21 pct. (se ligning (17)), hvorved prisen på planteprodukter stiger væsentligt mindre. Samtidigt betyder den lavere stigning i produktprisen, at jordprisen falder mere end i grundforløbet. Det medfører et større fald i brugerprisen på jord, der bidrager yderligere til at holde omkostnings- og prisstigningen i ave. Som følge af disse forhold sker der kun et beskedent yderligere fald i produktionen i afgiftsmodellen, og i tilskudsmodellen er det yderligere produktionsfald så beskedent, at det ikke kan ses på første decimal. Konklusionen er, at effekten af gødningsreguleringen på planteproduktionen er meget lidt følsom over for selv store variationer i efterspørgselselasticiteten i den opstillede model.

I tredje række af Tabel 3 sænkes inputelasticiteten  $\alpha$  i planteavlernes produktionsfunktion fra 0,8 i grundforløbet til 0,6, hvorved priselasticiteten i planteudbuddet reduceres fra 4 til 1,5, jf. (16). Det mere uelastiske udbud medfører en lavere overvælningsgrad og et større omkostningsfald ved en given sænkning af produktionen, og følgelig falder produktionen mindre end i grundforløbet. Den lavere stigning i produktprisen og den deraf følgende dæmpende effekt på dækningsbidraget bevirker dog, at jordprisen falder lidt mere end i grundforløbet.

Den fjerde række i Tabel 3 hæver substitutionselasticiteten mellem jord og gødning mærkbart fra 0,1 i grundforløbet til 0,6. Det udløser et langt større fald i gødningsintensiteten som reaktion på den højere marginale (offer)omkostning ved gødningsanvendelse, men da jordudbuddet er meget uelastisk, fører planteavlernes forsøg på at erstatte gødning med et øget arealininput kun til en meget begrænset forøgelse af det dyrkede areal i forhold til grundforløbet. Resultatet bliver i stedet, at den øgede jordefterspørgsel (målt i forhold til grundforløbet) dæmper faldet i

jordprisen i afgiftsmodellen, mens den lavere gødningsintensitet medfører et større fald i udbuddet af planteprodukter med en deraf følgende noget større stigning i deres pris, som i ligevægt giver et betydeligt større fald i efterspørgsel og produktion. I tilskudsmodellen sker der også et væsentligt større fald i produktionen end i grundforløbet, men her sker der samtidigt et større fald i jordprisen. Årsagen er, at det større fald i gødningsforbruget udløser større tilskud, hvis finansiering kræver et større fald i hektarstøtten, der sætter sig i lavere jordpriser.

I femte række af Tabel 3 øges elasticiteten i jordudbuddet kraftigt fra 0,1 i grundforløbet til 0,9, hvilket fører til væsentligt anderledes effekter af gødningsreguleringen og store forskelle i effekterne af de to reguleringsmodeller. I afgiftsmodellen, hvor afgiften sænker dækningsbidraget, betyder den større jordudbudselasticitet mht. dækningsbidraget et langt større fald i det dyrkede areal, hvorved produktionsfaldet og prisstigningen på planteprodukter også bliver markant større. Samtidigt medfører det større fald i jordudbuddet, at jordprisen falder væsentligt mindre. I tilskudsmodellen, hvor tilskuddet øger det marginale dækningsbidrag, giver den højere jordudbudselasticitet derimod en større stigning i udbuddet af areal til dyrkning og dermed et mindre produktionsfald og en lidt mindre stigning i produktprisen samt et lidt større fald i jordprisen.

Den næstnederste række i Tabel 3 viser et ydertilfælde, hvor udbuddet af jord er helt uelastisk. Her har afgiften og tilskuddet samme effekter på det samlede gødningsforbrug, og da det dyrkede areal samtidigt er konstant, bliver virkningerne på planteproduktionen og plantepriisen og den samme under de to reguleringsmetoder, svarende til situationen i Figur 1. Afgiften ses dog at udløse et større jordprisfald end tilskuddet, hvilket beror på den forudsatte (begrænsede) størrelse af bundfradraget i afgiften.

Den nederste række i Tabel 3 viser, at man ved at hæve kompensationsgraden  $\mu$  i bundfradraget fra 50% i grundforløbet til 93% stort set kan undgå et jordprisfald i afgiftsmodellen og dermed opnå samme jordpriseffekt som i tilskudsmodellen. Afgiftsmodellen vil dog fortsat medføre et større fald i produktion og udledninger.

### 5.3. Et nærmere blik på jordpriseffekterne

Til forståelse af jordpriseffekterne kan det være nyttigt at betragte ligningerne (22) og (23), der gengiver de i appendiks A udledte udtryk for reguleringens effekter på jordprisen i de to reguleringsmodeller, hvor en hat over en variabel angiver den relative ændring i variabelen ved indførelse af en afgift hhv. et tilskud af størrelsen  $\tau$  per kilo udbragt gødning, og hvor det erindres, at  $\beta \equiv h_0 / (\rho_0 + h_0) < 1$ :

$$\text{Jordprisændring i afgiftsmodel: } \hat{P}_j = (1 - \beta) \left| \hat{\rho} + \overline{\tau \mu \mu_0 \left( \frac{\gamma}{1 - \gamma} \right)} \right|, \quad (22)$$



$$\text{Jordprisændring i tilskudsmodel: } \hat{P}_j = (1 - \beta) \left| \hat{\rho} + \tau u_0 \overline{\left( \frac{\gamma}{1-\gamma} \right) \hat{G}} \right|. \quad (23)$$

Jo større hektarstøttens relative betydning for planteavlernes indtjening er, dvs. jo større værdi parameteren  $\beta$  antager, jo mindre vil andre forhold ifølge (22) og (23) indvirke på jordprisen, hvilket er intuitivt. Det er ligeledes intuitivt, at en stigning i dækningsbidraget alt andet lige trækker jordprisen op, og vice versa. I afgiftsmodellen, hvor dækningsbidraget falder, trækker denne effekt jordprisen ned, hvorimod den trækker i retning af en højere jordpris i tilskudsmodellen, hvor dækningsbidraget stiger. Til gengæld påvirkes jordprisen i tilskudsmodellen negativt af faldet i gødningsforbruget, da faldet i gødningstildelingen drives af gødnings-tilskuddet, som finansieres via en nedskæring af hektarstøtten, der presser jordprisen ned, jf. det sidste led på højresiden af (23). Modsætningsvis trækker det hektarbaserede bundfradrag i afgiftsmodellen jordprisen opad i denne model, hvilket ses af tilstedeværelsen af parameteren  $\mu$  på højresiden af (22), der angiver andelen af den umiddelbare afgiftsbelastning, som tilbageføres til planteavlerne via bundfradraget.

Størrelsen af de forskellige modsatrettede effekter på jordpriserne i de to reguleringsmodeller vil afhænge af den relative størrelse af modellens forskellige elasticiteter og af politikparameteren  $\mu$  samt af parameteren  $\gamma$ , der angiver gødningsudgiftens initiale andel af produktionsomkostningerne. Den nederste række i Tabel 3 illustrerer, at man ved at vælge et bundfradrag med en kompensationsgrad  $\mu$  på 93% i afgiftsmodellen stort set kan undgå et jordprisfald ligesom i tilskudsmodellen samtidigt med, at man i afgiftsmodellen får den samme reduktion i produktion og udledninger som i grundscenariet i tabellens øverste række. Dette afspejler, at bundfradraget virker som et lump-sum tilskud til jordejerskab, der ikke påvirker landmændenes adfærd. Med en kompensationsgrad på 93% implicerer beregningerne bag resultaterne i nederst række af Tabel 3 dog, at afgiftsmodellen vil give et negativt nettoprovenu på godt 2% af bruttoafgiftsprovenuet før adfærdsændringer. Reduktionen i gødningsintensiteten og faldet i det dyrkede areal medfører således, at bruttoafgiftsbetalingen bliver mindre end provenutabet som følge af bundfradraget, der udbetales som et tilskud per hektar jord, landmændene ejer. Netto skal staten altså udbetale et (beskedent) beløb til landmændene for at forebygge et jordprisfald. Hvis staten skal opnå et nettoprovenu på nul i afgiftsmodellen, når der tages højde for adfærdsændringer, skal kompensationsgraden  $\mu$  ifølge modelberegningerne sættes til 91%, hvorved jordprisen vil falde med beskedne 0,2%. Det er således muligt at opnå tilnærmelsesvis samme effekter på statens nettoprovenu og jordprisen med de to reguleringsmetoder ved passende valg af størrelsen af bundfradraget i afgiftsmodellen.

### 3. Konklusioner

Ekspertgruppen (2024) har fremlagt to alternative modeller for klimaregulering af landbrugets gødningsforbrug. I den ene model pålægges landmændene en CO<sub>2</sub>e-afgift på al gødning udbragt på mark, men der gives et arealbaseret bundfradrag i den samlede afgiftsbetaling udmålt på grundlaget for udbetaling af hektarstøtten i EU's fælles landbrugspolitik. I det andet alternativ gives et CO<sub>2</sub>e-baseret tilskud til reduceret gødningsanvendelse, hvor grundlaget for tilskuddet er forskellen mellem den gældende gødningsnorm i kvælstofreguleringen og den faktiske gødningsfordeling til marken. Tilskuddet finansieres fuldt ud ved en reduktion af satsen for hektarstøtten for samtlige landbrugere.

I en simpel partiel ligevægtsmodel hvor alle priser inklusive jordprisen tages for givne, kan de to reguleringsmetoder i princippet udformes, så de har nøjagtigt samme effekter på ressourceallokering og drivhusgasudledning. Såfremt der ikke er EU-retlige begrænsninger på størrelsen af bundfradraget pr. hektar, vil bundfradraget i afgiftsmodellen tillige kunne kalibreres sådan, at der ligesom i tilskudsmodellen opnås en fiskal nettobelastning af landbrugserhvervet på nul.

Vor analyse viste imidlertid, at ækvivalensen mellem afgifts- og tilskudsmodellen ikke kan opretholdes, når der tages hensyn til, at jordprisen og det dyrkede areal påvirkes forskelligt af incitamenterne i de to reguleringsmodeller. Mens tilskudsmodellen vil øge planteavlernes marginale dækningsbidrag og derved tilskynde til udvidelse af det dyrkede areal, vil afgiftsmodellen mindske det marginale dækningsbidrag og tilskynde til at indskrænke det dyrkede areal. Afgiftsmodellen vil derfor medføre en større nedgang i gødningsforbruget og planteproduktionen, selvom der opnås stort set den samme reduktion af gødningsintensiteten per hektar dyrket jord i de to modeller, når afgiftssatsen og tilskudssatsen er lig med hinanden.

Vi undersøgte også effekten af de to reguleringsmodeller på prisen på landbrugsjord. Med et bundfradrag i afgiftsbetalingen af den størrelse, der blev foreslået af Ekspertgruppen for en Grøn Skattereform, vil jordprisfaldet være større i afgiftsmodellen end i tilskudsmodellen for alle realistiske parameterværdier. Hvis man politisk vælger et tilstrækkeligt højt bundfradrag i afgiftsmodellen, vil man dog kunne forebygge, at denne model giver et større jordprisfald end tilskudsmodellen, men afgiftsmodellen vil fortsat medføre et større fald i planteproduktionen og drivhusgasudledningerne.

En afgiftsregulering af planteavl vil således sikre en større reduktion af drivhusgasudledningen end tilskudsmodellen undtagen i det ydertilfælde, hvor udbuddet af dyrket landbrugsareal er helt uelastisk. Med en vis elasticitet i jordudbuddet indebærer valget mellem de to reguleringsmodeller altså et dilemma mellem ønsket om store CO<sub>2</sub>e-reduktioner og ønsket om at minimere faldet i planteproduktionen.

## Referencer

- Cropper, M.L. and W.E. Oates (1992). Environmental Economics: A survey. *Journal of Economic Literature* 30(2), 675-740.
- Ekspertgruppen (2024). *Grøn skattereform – Endelig afrapportering*. Rapport fra Ekspertgruppen for en Grøn Skattereform, februar 2024.
- Goulder, L.H. and I.W.H. Parry (2008). Instrument choice in environmental policy. *Review of Environmental Economics and Policy* 2(2), 152-174.
- Perman, R. Y. Ma, M. Common, D. Maddison and J. McGilvray (2011). *Natural Resource and Environmental Economics*, 4<sup>th</sup> Edition, Pearson.

## Appendiks A

### Analytiske udtryk for effekterne af gødningsregulering

Dette tekniske appendix benytter den opstillede model for planteavl til at udlede analytiske udtryk for effekterne af gødningsreguleringen i de to reguleringsregimer.

#### Afgiftsmodellen

Vi fokuserer først på afgiftsmodellen i afsnit 3, som kan komprimeres til følgende ligningssystem i de tre ubekendte  $p$ ,  $\rho$  og  $Z$ , hvor vi udnytter, at  $c = \rho$  i ligevægt:

$$\text{Omkostningsminimering: } Z = \left[ \gamma (p_G + \tau)^{1-\sigma} + (1-\gamma) \rho^{1-\sigma} \right]^{\frac{1}{1-\sigma}}. \quad (\text{A.1})$$

$$\text{Ligevægt på markedet for planteprodukter: } A^{\frac{1}{1-\alpha}} \left[ \alpha \left( \frac{p}{Z} \right) \right]^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} = k p^{-\varepsilon^d}. \quad (\text{A.2})$$

$$\text{Ligevægt på markedet for dyrket jord: } B \rho^\eta = (1-\gamma) \left( \frac{\rho}{Z} \right)^{-\sigma} \underbrace{\alpha \left( \frac{p}{Z} \right) k p^{-\varepsilon^d}}_K. \quad (\text{A.3})$$

Vi kan uden tab af generalitet vælge vore måleenheder således, at  $p_G = p = \rho = 1$  i den initiale ligevægt før afgiftens indførelse, hvor det tillige gælder, at  $\tau_0 = 0$ , således at ændringen i afgiften  $d\tau$  i forhold til udgangsligevægten er  $d\tau = \tau$ . Ved udnyttelse af disse initialbetingelser samt (16) får vi ved log-linearisering af (A.1) til (A.3) følgende matrixsystem, hvor en hat over en variabel angiver den relative ændring i variabelen:

$$\begin{pmatrix} -(1-\gamma) & 0 & 1 \\ 0 & \varepsilon^d + \varepsilon^s & -\varepsilon^s \\ \eta + \sigma & \varepsilon^d - 1 & 1 - \sigma \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\rho} \\ \hat{p} \\ \hat{Z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma\tau \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (\text{A.4})$$

Determinanten  $\Delta$  til matricen på venstresiden af (A.4) er

$$\Delta = -\left\{ (1-\gamma) \left[ (\varepsilon^s + \varepsilon^d)(1-\sigma) + \varepsilon^s (\varepsilon^d - 1) \right] + (\eta + \sigma)(\varepsilon^s + \varepsilon^d) \right\} < 0, \quad (\text{A.5})$$

hvor fortegnet for  $\Delta$  følger af, at  $\gamma < 1$ ,  $\sigma \leq 1$ , og  $\varepsilon^d > 1$ . Ved at anvende Cramer's Regel på systemet (A.4) finder vi nu, at

$$\hat{\rho} = \left(\frac{\tau\gamma}{\Delta}\right) \left[ (\varepsilon^s + \varepsilon^d)(1 - \sigma) + \varepsilon^s(\varepsilon^d - 1) \right] < 0, \quad (\text{A.6})$$

$$\hat{\rho} = -\left(\frac{\tau\gamma}{\Delta}\right) \varepsilon^s (\eta + \sigma) > 0, \quad (\text{A.7})$$

$$\hat{Z} = -\left(\frac{\tau\gamma}{\Delta}\right) (\eta + \sigma) (\varepsilon^s + \varepsilon^d) > 0. \quad (\text{A.8})$$

Variablen  $\hat{Z}$  angiver den relative stigning i omkostningen ved brug af input-agregatet  $Z$  ved pålæggelsen af afgiften  $\tau$ . Ved at kombinere (A.7) og (A.8) får vi overvæltningsgraden

$$OVG \equiv \frac{\hat{\rho}}{\hat{Z}} = \frac{\varepsilon^s}{\varepsilon^s + \varepsilon^d}, \quad (\text{A.9})$$

som ses at svare til (17).

Ved log-linearisering af de øvrige relationer i afgiftsmodellen og brug af sammenhængen  $c = \rho$  finder man endvidere, at

$$\hat{g} = \sigma(\hat{\rho} - \tau), \quad (\text{følger af (7)}) \quad (\text{A.10})$$

$$\hat{j} = \eta\hat{\rho}, \quad (\text{følger af (12) og (13)}) \quad (\text{A.11})$$

$$\hat{Q} = -\varepsilon^d \hat{\rho}, \quad (\text{følger af (14) og (15)}) \quad (\text{A.12})$$

$$\hat{G} = \hat{g} + \hat{j} \quad (\text{følger af definitionen } g \equiv G / J) \quad (\text{A.13})$$

Da CO<sub>2</sub>e-udledningen er proportional med gødningsforbruget, angiver (A.13) samtidigt den relative ændring i udledningen. Det ses, at man ved brug af resultaterne i (A.6) til (A.8) kan udlede effekterne i (A.10) til (A.13).

Sluttelig kan vi udlede effekten på jordprisen. Ifølge (9) gælder (idet "dx" angiver den absolutte ændring i variabelen  $x$ ), at

$$\begin{aligned} rdP_j &= d\rho + db \Rightarrow \\ \hat{P}_j &\equiv \frac{dP_j}{P_j} = \frac{d\rho + db}{rP_j}, \end{aligned} \quad (\text{A.14})$$

da hektarstøttesatsen  $h$  holdes konstant i afgiftsmodellen. I udgangsligevægten, hvor  $b_0 = 0$ , gælder ifølge (9) og definitionen  $\beta \equiv h_0 / (\rho_0 + h_0)$ , at  $\beta = h_0 / rP_j$  og

$$\frac{d\rho}{rP_j} = \frac{\rho}{rP_j} \hat{\rho} = \left( \frac{rP_j - h}{rP_j} \right) \hat{\rho} = (1 - \beta) \hat{\rho}. \quad (\text{A.15})$$

Ifølge (7) gælder endvidere i den initiale ligevægt, hvor  $p_G = \rho = c = 1$  og  $\tau = 0$ , at

$$g_0 = \frac{\gamma}{1 - \gamma}. \quad (\text{A.16})$$

Da  $b = 0$  og  $\rho = 1$  initialt, og det initialt ligeledes gælder, at  $\rho = rP_j - h = rP_j(1 - \beta)$ , får vi dermed af (11), at

$$\frac{db}{rP_j} = \frac{b}{rP_j} = (1 - \beta) \mu \tau u_0 \left( \frac{\gamma}{1 - \gamma} \right). \quad (\text{A.17})$$

Ved at indsætte (A.15) og (A.17) i (A.14) får vi det udtryk for  $\hat{P}_j$ , som er angivet i (22).

#### Tilskudsmodellen

I tilskudsmodellen gælder (A.2) fortsat, men (A.1) og (A.3) erstattes af

$$Z = \left[ \gamma (p_G + \tau)^{1 - \sigma} + (1 - \gamma) (\rho - \tau g_0)^{1 - \sigma} \right]^{1/\sigma}, \quad (\text{A.18})$$

$$B\rho^\eta = (1 - \gamma) \left( \frac{\rho - \tau g_0}{Z} \right)^{-\sigma} \alpha \left( \frac{p}{Z} \right) k p^{\varepsilon^d}, \quad (\text{A.19})$$

hvor  $\rho - \tau g_0$  er brugerprisen på dyrket landbrugsjord. Dermed erstattes (A.4) af systemet

$$\begin{pmatrix} -(1 - \gamma) & 0 & 1 \\ 0 & \varepsilon^d + \varepsilon^s & -\varepsilon^s \\ \eta + \sigma & \varepsilon^d - 1 & 1 - \sigma \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\rho} \\ \hat{p} \\ \hat{Z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{\sigma \gamma}{1 - \gamma} \end{bmatrix}, \quad (\text{A.20})$$

hvor vi ved log-lineariseringen af (A.18) har udnyttet resultatet i (A.16), som initialt også gælder i tilskudsmodellen. Matricerne på venstresiderne af (A.4) og (A.20) ses at være identiske, så determinanten til matricen i (A.20) er fortsat givet ved (A.5).

## 22 KLIMAREGULERING AF LANDBRUGET: AFGIFT VERSUS TILSKUD

Ved brug af Cramer's Regel i systemet (A.20) finder man, at

$$\hat{\rho} = -\left(\frac{\tau}{\Delta}\right)\left(\frac{\gamma}{1-\gamma}\right)\sigma(\varepsilon^s + \varepsilon^d) > 0, \quad (\text{A.21})$$

$$\hat{\rho} = -\left(\frac{\tau}{\Delta}\right)\sigma\gamma\varepsilon^s > 0, \quad (\text{A.22})$$

$$\hat{Z} = -\left(\frac{\tau}{\Delta}\right)\sigma\gamma(\varepsilon^s + \varepsilon^d) > 0. \quad (\text{A.23})$$

Resultaterne i (A.11) til (A.13) gælder fortsat i tilskudsmodellen, men da (7) erstattes af

$$g \equiv \frac{G}{J} = \left(\frac{\gamma}{1-\gamma}\right)\left(\frac{p_G + \tau}{\rho - \tau g_0}\right)^{-\sigma}, \quad (\text{A.24})$$

finder man ved brug af (A.16), at (A.10) skal erstattes af

$$\hat{g} = \sigma\left[\hat{\rho} - \left(\frac{\tau}{1-\gamma}\right)\right]. \quad (\text{A.25})$$

Der udestår hermed kun at udlede tilskudsmodellens effekt på jordprisen. Fra (20) fås

$$\begin{aligned} rdP_j &= d\rho + dh \Rightarrow \\ \hat{P}_j &\equiv \frac{dP_j}{P_j} = \frac{d\rho + dh}{rP_j}. \end{aligned} \quad (\text{A.26})$$

Resultatet i (A.15) vedrørende størrelsen af  $d\rho/rP_j$  holder fortsat, og af (21) følger, at

$$\begin{aligned} dh \cdot \bar{J} &= \tau \cdot dG = \tau(dg \cdot J_0 + g_0 \cdot dJ) = \tau g_0 J_0 (\hat{g} + \hat{J}) \Rightarrow \\ dh &= \tau u_0 \left(\frac{\gamma}{1-\gamma}\right) \hat{G}, \end{aligned} \quad (\text{A.27})$$

hvor vi endnu en gang har benyttet (A.16). Endvidere gælder initialt, hvor  $\rho / rP_j = 1 - \beta$  og  $\rho = 1$ , at

$$\frac{dh}{rP_j} = \frac{dh}{\rho} \frac{\rho}{rP_j} = \frac{dh}{\rho} (1 - \beta) = dh(1 - \beta). \quad (\text{A.28})$$

Indsættelse af (A.15), (A.27) og (A.28) i (A.26) giver nu det udtryk for jordpriserne i tilskudsmodellen, som er anført i (23).

Simulationsresultaterne i Tabel 2 og 3 er fundet ved at indsætte de forudsatte parameterverdier i de relevante analytiske udtryk ovenfor.



## Appendiks B Definition af dækningsbidraget

Dette appendiks præciserer definitionen af planteavlernes dækningsbidrag i henholdsvis afgiftsmodellen og tilskudsmodellen for regulering af gødningsanvendelsen. I tillæg til de tidligere definerede variable indfører vi de nye variable

$q$  = planteproduktion per hektar på det marginale jordstykke  
 $G^m$  = gødningsforbrug per hektar på det marginale jordstykke

### *Dækningsbidrag i afgiftsmodellen*

I ligevægt skal planteavlernes nettoindtjening ved dyrkning af det marginale jordstykke kunne forrente jordstykkets markedsværdi, dvs.

$$rP_J = \overbrace{pq - p_G G^m}^{\text{Dækningsbidrag for afgift}} - \overbrace{(\tau G^m - b)}^{\text{Afgiftsbetaling efter bundfradrag}} + \overbrace{h}^{\text{Hektarstøtte}} \quad (\text{B.1})$$

Ligning (B.1) kan skrives som

$$rP_J = \rho + h + b, \quad \rho \equiv pq - p_G G^m - \tau G^m. \quad (\text{B.2})$$

I (B.2) er dækningsbidraget  $\rho$  defineret som den marginale indtjening per hektar efter betaling af afgift på gødningsforbruget per hektar. Bundfradraget  $b$  indgår ikke i det marginale dækningsbidrag, eftersom fradraget tildeles, uanset om jorden dyrkes eller ej (da grundlaget for bundfradraget er det eksogent givne areal, der er berettiget til hektarstøtte, hvorved bundfradraget  $b$  reelt virker som et tillæg til hektarstøtten  $h$ ). Med den valgte definition af det marginale dækningsbidrag  $\rho$  ses ligning (B.1) at svare til ligning (9) i hovedteksten.

### *Dækningsbidrag i tilskudsmodellen*

I tilskudsmodellen kræver en ligevægt på jordmarkedet, at

$$rP_J = pq - p_G G^m + \overbrace{\tau(g_0 - G^m)}^{\text{Gødningsstilskud per hektar på marginaljorden}} + h, \quad g_0 \geq G^m. \quad (\text{B.3})$$

Ligning (B.3) kan omskrives til

$$rP_j = \rho + h, \quad \rho \equiv pq - p_G G^m + \tau(g_0 - G^m). \quad (\text{B.4})$$

I (B.4) indgår gødningstilskuddet  $\tau(g_0 - G^m)$  i dækningsbidraget  $\rho$ , da tilskuddet i modsætning til bundfradraget i afgiftsmodellen er betinget af, at jorden dyrkes. Med denne definition af bundfradraget svarer ligning (B.4) til ligning (20) i hovedteksten.