

Skyggeprisen på reduktion af drivhusgasudledninger i GrønREFORM

Teknisk dokumentation af velfærdseffekter, udledningsreduktioner og
diskontering

Alba Olsen, Gustav Holm Kristensen, Thomas Nyvang Dalgaard

Baggrundsnotat

27. august 2026

www.dreamgruppen.dk

Forord

Formålet med notatet er at dokumentere, hvordan skyggeprisen på reduktion af drivhusgasudledninger beregnes i GrønREFORM under DREAMs standardforudsætninger.

Notatet følger beregningen fra velfærdseffekten og udledningsreduktionen til den endelige skyggepris. Der lægges især vægt på, hvordan de to størrelser behandles i diskonteringen, og hvorfor udledningerne skal vækstkorrigeres, når de kombineres med modellens velfærds-mål.

Notatet bygger på Stephensen (2024), Dalgaard (2023a) og Dalgaard (2023b). Illustrationerne tager udgangspunkt i standardstødet `C02eTax_shock.gms`.

Resumé

Notatet dokumenterer, hvordan skyggeprisen på reduktion af drivhusgasudledninger beregnes i GrønREFORM. Skyggeprisen angiver den samfundsøkonomiske omkostning ved at reducere udledningerne med ét ton CO₂e og er det centrale nøgletal, når modellen bruges til at vurdere klimapolitiske tiltag.

Skyggeprisen beregnes som forholdet mellem to diskonterede størrelser. Tælleren er ændringen i husholdningernes velfærd opgjort som ækvivalent variation (EV) i mia. kr. Nævneren er ændringen i drivhusgasudledningerne opgjort som en fysisk mængde i Mt CO₂e. Begge opgøres som forskellen mellem et grundforløb og et stødforløb. Resultatet rapporteres i parameteren `output_steps_ECC` og beregnes i filen `steps_ECC.gms`.

Beregningen illustreres med et standardstød, hvor CO₂e-afgiften annonceres i 2028 og indføres fra 2029, indtil den når 500 kr./ton i 2035 (2022-priser). Stødets makroøkonomiske effekter er begrænsede, men de sætter fortegnene i velfærds målet: højere forbrugerpriser giver et negativt prisbidrag, det kapitaliserede fald i virksomhedernes indtjening et negativt formuebidrag, og tilbageførslen af afgiftsprovenuet et positivt indkomstbidrag. Bidragene er store og modsatrettede, og det samlede EV-mål udgør -0,44 mia. kr. årligt. Sammenholdt med en vægtet årlig reduktion på ca. 0,1 Mt CO₂e giver det en skyggepris på ca. 4.500 kr./ton.

To forhold er afgørende for, at brøken er meningsfuld. Tæller og nævner skal opgøres for samme stødtrin og diskonteres med samme faktor. Forskellen i enheder skal håndteres eksplicit: EV er en pengestørrelse opgjort i modellens vækst- og inflationskorrigerede enheder, mens udledningerne er en fysisk mængde, der ikke vækstkorrigeres i rapporteringen. Udelades vækstkorrektionen af nævneren, undervurderes skyggeprisen med ca. 34 pct. i den viste beregning.

Niveauet skal læses som en illustration af beregningsmetoden. Fordi tælleren er en lille difference mellem store, modsatrettede kanaler, er forholdet numerisk følsomt over for små ændringer i velfærds målet.

Indhold

1.	Indledning	5
2.	Stødimplementering	6
2.1	Antagelser i stødet	6
2.2	Overordnede effekter	7
3.	Velfærdsmålet (tælleren)	9
3.1	Formål og fortolkning	9
3.2	Husholdninger og nytte	9
3.3	Dekomponering af EV-målet	10
3.4	Velfærdseffekter ved stødet	14
4.	Drivhusgasreduktioner (nævneren)	18
4.1	Opgørelsesprincip	18
4.2	Udledningsreduktioner ved stødet	18
5.	Diskontering og beregning af skyggeprisen	21
5.1	Skyggeprisen i steps_ECC.gms	21
5.2	Detrendede enheder og diskonteringsfaktoren	21
5.3	Hvorfor udledninger skal vækstkorrigeres	23
5.4	Konsistent vægtning af tæller og nævner	24
5.5	GECC og DECC	28
5.6	Dekomponering af skyggeprisen	30
6.	Afrunding	31
7.	Referencer	32

1. Indledning

Skyggeprisen sammenfatter den samfundsøkonomiske omkostning ved at reducere drivhusgasudledninger

Når GrønREFORM bruges til at vurdere klimapolitik, er skyggeprisen det centrale nøgletal. Den opsummerer et helt modelstød i ét tal og gør det muligt at sammenligne tiltag og tegne en omkostningskurve. Skyggeprisen er forholdet mellem den diskonterede velfærdsændring og den diskonterede udledningsreduktion:

$$\text{Skyggepris} = \frac{\sum_t R_t \cdot \Delta EV_t}{\sum_t R_t \cdot g_t \cdot \Delta q_{Emm,t}}$$

hvor R_t er diskonteringsfaktoren, som bygger på husholdningernes marginale reale rente r_t (r_{HH}) og g_t er den vækstkorrektion af udledningerne, der forklares i afsnit 5.3. I modellen er R_t parameteren `Dis_NPV[t]` og g_t parameteren `growth_factor[t]`.

Beregningskæden har tre led. Først opgøres velfærdseffekten som ækvivalent variation (EV), dvs. det beløb husholdningerne skulle modtage i grundforløbet for at være indifferente over for stødet. Dernæst opgøres drivhusgasreduktionen i fysiske mængder. Til sidst diskonteres og kombineres de to størrelser.

Målet er kun meningsfuldt, når tæller og nævner behandles i konsistente enheder, og det er teknisk det mest krævende led. Økonomiske mængder og værdier i GrønREFORM vækstkorrigeres for at gøre modellen nemmere at løse, og værdier inflationskorrigeres desuden, fordi de er opgjort i løbende priser. EV er en pengeværdi og opgøres derfor i modellens vækst- og inflationskorrigerede enheder. Drivhusgasudledningerne er derimod en fysisk mængde, som ikke vækstkorrigeres i rapporteringen. Den asymmetri skal håndteres eksplicit i nævneren; ellers diskonteres en ikke-vækstkorrigeret mængde med en væstkorrigeret rente.

2. Stødimplementering

For at beregne en skyggepris sammenlignes to modelkørsler. Den første er et grundforløb, mens den anden indeholder et klimapolitisk stød.

2.1 Antagelser i stødet

For at forstå, hvordan skyggeprisen beregnes i GrønREFORM, hjælper det at se på et konkret stød.

Stødet køres med:

```
run_aug("Shock_files/CO2eTax_shock.gms", tX2030="250", tX2035="500",  
        CCS="0", CCS_sub="0", ID="1", Stru="0")
```

tX2030 og tX2035 angiver afgiftsstigningen i 2022-priser. Stødets referenceår er 2028. Stødet annonceres i 2029, og afgiften indføres ligeså fra 2029. To indfasningsprofiler i CO2eTax_shock.gms giver satsen 125 kr./ton i 2029 og 250 kr./ton i 2030. Derefter stiger satsen med 50 kr./ton om året til 500 kr./ton i 2035 og ligger fast derefter.

Afgiftsstigningen lægges oven på de satser, modellen allerede har. Den rammer energirelaterede udledninger, procesudledninger og landbrugets udledninger fra husdyr- og planteproduktion. To undtagelser, hvor satsen ikke ændres: fjernvarme som energikilde i rumvarme og transportudledninger uden for landbrug, skovbrug og fiskeri. ETS-kvotepriisen ændres ikke.

CCS, CCS_sub, ID og Stru slår fire virkemidler til og fra:

- CCS: lader udbredelsen af CO₂-fangst og -lagring stige med afgiften, så udledningen pr. produceret enhed falder i de berørte brancher.
- CCS_sub: lægger et tilsvarende subsidie til negative udledninger (BECCS) oven på afgiftsstigningen, så biogen CCS også belønnes.
- ID: lader virksomhederne skifte til teknologier, der fortrænger det eksisterende energiinput, fx elektrificering eller brændselsskift ("input displacing").
- Stru: lægger en eksogen, elasticitetsbaseret aktivitetsnedgang på cement, raffinaderi og fiskeri (SKM-metoden) som følge af den højere afgift.

I dette stød er ID slået til. Input-fortrængende teknologiskift indgår derfor i reduktionen. De tre øvrige virkemidler er slået fra: der er ingen ekstra CCS-udbygning, intet BECCS-tilskud og intet mekanisk aktivitetsfald. Resten af reduktionen kommer fra modellens egne pris- og substitutionsmekanismer. Det giver, alt andet lige, en mindre samlet reduktion og en højere marginal skyggepris end i en kørsel, hvor også de tre øvrige kanaler er tændt.

Beregningen forløber gennem filkæden:

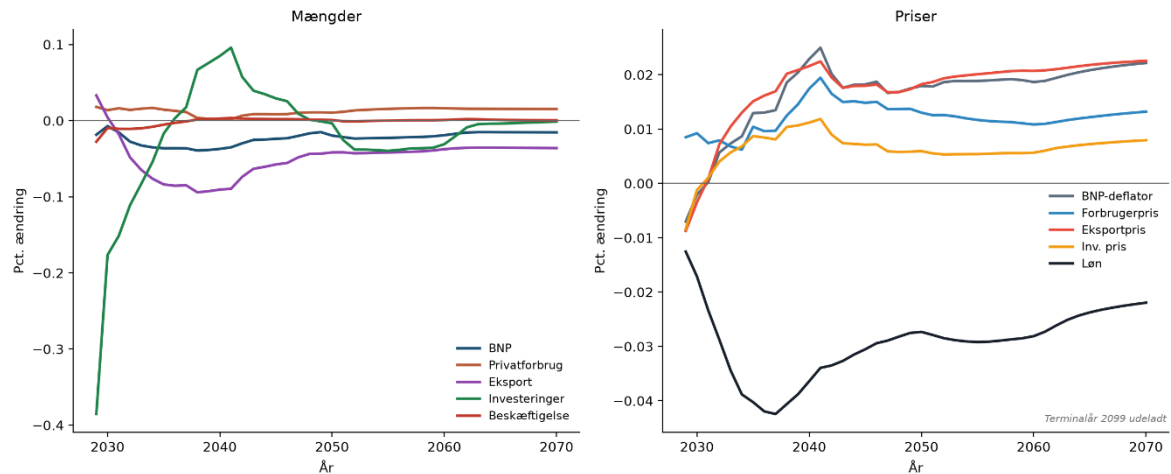
```
CO2eTax_shock.gms → steps_baseline.gms → CO2eTax_shock_calc.gms → re-  
port_all.gms (herunder report_EV.gms og report_qEmm.gms) → steps_all.gms  
(herunder steps_output.gms og steps_ECC.gms).
```

2.2 Overordnede effekter

Stødets makroøkonomiske virkninger er små, men de sætter fortegnene for velfærdsmålet i afsnit 3. Figur 2.1 viser de centrale mængde- og prisstørrelser.

Figur 2.1

Overordnede makroøkonomiske effekter, pct. ændring i forhold til grundforløbet



Anm.: Venstre panel viser mængder, højre panel viser priser. Alle serier er pct. ændring i forhold til grundforløbet ved standardstødet, jf. afsnit 2.1. Lønnen er den nominelle løn for hele økonomien.

Kilde: Egne beregninger i GrønREFORM (CO2eTax_shock.gdx).

Effekterne på de centrale mængdestørrelser er små. Kun investeringerne og eksporten afviger mere end 0,05 pct. fra grundforløbet, og for eksportens vedkommende kun midlertidigt. Investeringerne falder knap 0,45 pct. i 2029, hvor afgiften får virkning, og omkring 0,08 pct. på langt sigt, fordi kapitalapparatet tilpasses hurtigt til et nyt, lavere niveau. Eksporten falder omkring 0,1 pct. I slut 2030'erne, fordi eksportpriserne stiger, og lægger sig på knap 0,05 pct. på langt sigt. De øvrige størrelser rører sig kun lidt: BNP falder varigt godt 0,04 pct., fordi arbejdskraften finder anvendelse i brancher med et lavere kapitalapparat pr. beskæftiget, og privatforbruget ligger en anelse over grundforløbet, fordi afgiftsprovenuet føres tilbage via en lumpsum-overførsel. Arbejdsstyrken er eksogen, og arbejdskraften er perfekt mobil mellem brancher, så beskæftigelsen kun falder i tilpasningsperioden. De små udsving skal ses i lyset af tilbageførslen og af, at afgiften primært rammer brancher, der udgør en begrænset del af økonomien.

På prissiden slår afgiften igennem i BNP-deflator, forbrugerpriser og eksportpriser. Eksportprisen stiger mest, så en del af afgiftsbyrden bæres af udlandet gennem et forbedret bytteforhold.

Afgiften hæver produktionsomkostningerne i de ramte brancher. Deres outputpriser stiger, efterspørgslen efter deres varer falder, og de nedskalerer produktionen. Det reducerer deres efterspørgsel efter arbejdskraft. Da arbejdsstyrken er eksogen, kan et fald i den samlede efterspørgsel efter arbejdskraft kun optages gennem en højere ledighed, og det er den højere ledighed, der får den nominelle løn til at falde.

Lønnen dannes ikke ved, at arbejdsmarkedet clearer, men af en lønkurve¹. Den står i 1a-bor_market.gms som ligning E_w. Forbrugerpriserne slår kun delvist igennem i den nominelle løn, og lønvæksten dæmpes, når ledigheden stiger. Fordi kurven er formuleret i vækstrater, giver et midlertidigt ledighedsgab et varigt lavere lønniveau. Det er årsagen til, at lønnen i figur 2.1 ikke vender tilbage til grundforløbet, selvom beskæftigelsen gør det. Lønnen falder omkring 0,065 pct. og ligger lavest midt i 2030'erne.

Disse bevægelser går igen i velfærds målet: den højere forbrugerpris som priseffekten, den lavere løn og lumpsum-overførslen som indkomsteffekten, og det lavere afkast i de ramte brancher som formueeffekten, jf. afsnit 3.

¹ Samme kvalitative mønster — højere pris på den udledende produktion, flytning af aktivitet til øvrige brancher og faldende løn — er vist i den simple to-brancher-model i Dalgaard (2023b). Der clearer arbejdsmarkedet, så lønfaldet er residualet, der genskaber ligevægt. Her dannes lønnen af lønkurven.

3. Velfærds målet (tælleren)

Velfærds målet samler de økonomiske konsekvenser af et klimapolitisk stød i ét mål. I GrønREFORM måles velfærdseffekten af et klimapolitisk stød ved hjælp af ækvivalent variation (EV).

Beregnes i Model_CGE\Model\Report_and_steps\report_EV.gms

3.1 Formål og fortolkning

Formålet med velfærds målet er at opgøre de samfundsøkonomiske omkostninger ved et klimapolitisk tiltag i ét tal. En CO₂e-afgift påvirker økonomien ad flere veje: den ændrer de relative priser mellem varer, flytter produktion og beskæftigelse mellem brancher, påvirker lønninger og kapitalafkast og ændrer de offentlige indtægter. Velfærds målet sammenfatter, hvad disse ændringer tilsammen betyder for husholdningernes økonomiske velfærd.

GrønREFORM er en dynamisk model, og velfærds målet skal derfor kunne opgøre effekten over et samlet forløb fra et basisår og ud i fremtiden. Til det formål anvendes et mål for ækvivalent variation (EV). EV-målet angiver det engangsbeløb, husholdningerne skulle modtage i basisåret for at være indifferente over for stødet. En negativ EV er et velfærdstab, en positiv EV en velfærdsgevinst.

Målet skal fortolkes med tre forbehold. EV er et repræsentativt husholdningsmål og tager ikke højde for, hvordan gevinster og tab fordeler sig mellem husholdninger. Nyttens af offentligt forbrug indgår ikke i målet, og det reale offentlige forbrug holdes derfor fast i beregningen, jf. Dalgaard (2023a). Af samme grund holdes den primære offentlige saldo konstant via en lumpsum-overførsel til husholdningerne, så virkninger på de offentlige finanser internaliseres i velfærdsevalueringen.

.

3.2 Husholdninger og nytte

Privatforbruget i GrønREFORM bestemmes af to husholdningstyper, jf. Dalgaard (2023a). De fremadskuende husholdninger, der udgør ca. 60 pct., beskrives med en overlappende generationsmodel efter Blanchard (1985). De optimerer intertemporalt via en Euler-ligning og kan udglatte forbruget over tid. Nutidsværdien af deres fremtidige fritidskorrigerede indkomst opsamles i variabelen $H[t]$, hvor dødssandsynligheden p_{Death} og generationsskiftet indgår i diskonteringen.

De kreditrationerede husholdninger, der udgør ca. 40 pct., forbruger hele deres løbende indkomst i hver periode og har ingen formue. De kan ikke udglatte forbruget over tid og rammes derfor umiddelbart hårdere af et prisstød. Andelen er fastsat i overensstemmelse med MAKRO.

Sondringen har direkte betydning for EV-målet: formuekanalen (EV^A) opstår kun hos de fremadskuende husholdninger, mens begge typer rammes af pris- og indkomstkanalen. Døds sandsynligheden μ indgår som vægt på formueleddet, jf. afsnit 3.3. Den løbende nytte for den fremadskuende husholdning er givet ved:

$$q_{a,t} = c_{a,t} - \phi \frac{l_t^{1+\eta}}{1+\eta}$$

Her er $c_{a,t}$ forbruget, l_t timeudbuddet af arbejde, ϕ skalerer arbejdets disnytte, og η er den inverse arbejdsudbudselasticitet ($\eta = 10$ giver en elasticitet på 0,1). Det gør arbejdsudbuds- og forbrugsbeslutningen separerbare, hvilket er forudsætningen for den eksakte dekomponering af EV-målet i afsnit 3.3.

Den fritidskorrigerede indkomst $\hat{y}_t$ samler al indkomst inklusive disnyttens af arbejde i ét be-
løb. Teoretisk er den defineret ved, jf. Stephensen (2024), ligning 1.10:

$$\hat{y}_t \equiv y_t + (1 - \tau_t)w_t l_t - P_t z_t$$

I `consumers.gms` i modellen implementeres den som:

```
vLeisureAdjustedIncome[t] = vPersIncome[t] + JvWealth[t]
- (1-t_r[t]) * rHHxAfk[t] * vWealth[t-1]/fv
- pCHH['cTot',t] * qDisUtility[t]
```

Strukturen afviger fra teorien, fordi `vPersIncome` samler løn, transfereringer, skat og kapitalafkast i én variabel. Kapitalafkastet trækkes derfor ud igen for at undgå dobbelttælling — det indgår i stedet direkte i formuedynamikken. `JvWealth` er et eksogent kalibreringsled uden selvstændig teoretisk fortolkning. Sidste led er disnyttens af arbejde z_t i kroner.

Nutidsværdien af de fremtidige $\hat{y}_t$ opsamles i variabelen H_t , som indkomstkanalen defineres på: $EV_t^H \equiv H_t - H_t^0$.

Endelig følger det af specifikationen, at z_t udgør en fast andel $\frac{1}{1+\eta}$ af lønsummen efter skat. Kun andelen $\frac{\eta}{1+\eta}$ — med $\eta = 10$ altså ca. 91 pct. — bidrager netto til $\hat{y}_t$. Et fald i lønsummen slår derfor ikke fuldt igennem i indkomstkanalen, fordi disnyttens af arbejde falder samtidig.

3.3 Dekomponering af EV-målet

EV-målet dekomponeres først i tre hovedkomponenter: En priseffekt (EV^P), en formueeffekt (EV^A) og en indkomsteffekt (EV^H)

$$EV = EV^P + EV^A + EV^H$$

Der er en systematisk forskel mellem den teoretiske notation og modellens implementering, som er værd at have med fra start. `report_EV.gms` beregner for de fleste komponenter et **niveau** for hvert år t , ikke en difference. Hvor teorien opererer med nutidsværdier over hele forløbet — H_t , A_t — arbejder koden med de løbende strømme, $\hat{y}_t$ og $vFCFE_{sp,t}$. Preiseffekten er undtagelsen: den danner selv sit forhold til grundforløbet gennem `pC/pC_baseline`.

Vejen fra niveau til det tal, der rapporteres i tabel 3.1, går gennem tre efterfølgende led:

```
output_EV_steps['diff',...,t] = output_EV[... ,t] - output_EV_last[... ,t]
```

```
output_EV_steps['accu',...,t] = output_EV[... ,t] - output_EV_start[... ,t]
output_EV_WYA_steps['accu',...] = @WYA(output_EV_steps['accu',...,t])
```

output_EV_start er grundforløbet, og output_EV_last er det foregående trin. accu måler derfor effekten i forhold til grundforløbet, mens diff måler effekten af det enkelte trin. Da det betragtede stød kun har ét trin, er de to identiske her.

Sidste led, @WYA, sammenvejer den årlige serie til ét diskonteret og vækstkorregeret årligt gennemsnit, jf. afsnit 5. Figur 3.1 og 3.2 i afsnit 3.4 viser de årlige differencer fra beregnet i filen output_EV_steps mens figur 3.3 og tabel 3.2 viser output_EV_WYA_steps.

Priseffekten

måler virkningen af ændrede forbrugerpriser. Teoretisk er den defineret ved:

$$EV_t^P \equiv \frac{P_t^{U0} - P_t^U}{P_t^U} ((1 - \mu)A_t + H_t)$$

I report_EV.gms implementeres priseffekten som en periodevis approksimation:

```
EVt['pris',t] = -vLeisureAdjustedIncome.l[t] * (pC.l['ctot',t]/pC_base-
line.l['ctot',t] - 1)
```

Der er to forskelle fra teorien. Prisledet er det periodevise forbrugerprisindeks, ikke det intertemporale P^U . Og mængdeledet er den løbende fritidskorregerede indkomst, ikke formuen plus indkomstnutidsværdien. Modellen indeholder et intertemporalt indeks, men det indgår ikke her; sammenvejningen over tid sker i stedet gennem diskonteringen i skyggeprisformlen, jf. afsnit 5.

Udland - bytteforholdseffekten

```
EVt['PrisUd1',t] = sum(s, -((pX_y.l['xoth',s,t]-pX_y_baseline.l['xo-
th',s,t])*qX_y.l['xoth',s,t]
+ (pX_y.l['xoth',s,t]-pX_y_base-
line.l['xoth',s,t])*(qX_y_baseline.l['xoth',s,t]-qX_y.l['xoth',s,t])/2));
```

Ved en prisstigning på eksportvarer opstår der både en overførsel og et effektivitetstab. Overførslen svarer til prisstigningen gange den handlede mængde: den fortsatte eksport bliver dyrere for de udenlandske købere, og merbetalingen tilfalder de danske producenter. Der er tale om en overførsel af værdi fra udlandet til Danmark, uden nettotab for verdensøkonomien. Effektivitetstabet svarer til halvdelen af prisstigningen gange faldet i den handlede mængde. Noget af eksporten bortfalder, fordi varerne bliver for dyre for de udenlandske aftagere, og den gevinst, denne handel ville have skabt for både købere og sælgere, realiseres ikke længere. Den bortfaldne handel udgør derfor et rent samfundsøkonomisk tab, som ikke tilfalder nogen part.

Formueeffekten

fanger den danskejede andel af ændringen i virksomhedernes aktieværdi. Teoretisk er den defineret ved:

$$EV_t^A \equiv (1 - \mu)(A_t - A_t^0)$$

hvor A_t er husholdningernes formue ultimo basisåret, og A_t^0 er den tilsvarende formue i grundforløbet. I GrønREFORM er virksomhederne modelleret som aktieselskaber, hvor aktieværdien bestemmes ved en no-arbitrage-betingelse som den tilbagediskonterede nutidsværdi af fremtidigt frit cash flow til aktionærerne (FCFE). Et stød ændrer indtjeningsforventningerne, og dermed aktieværdien, øjeblikkeligt.

I report_EV.gms implementeres den indenlandske del som:

```
EVt['formue',t] = sum(sp$(NOT s_DK[sp]),
                    sEquityDKownedEndo_baseline.l[t1] * vFCFE.l[sp,t])
+ sum(s_DK,
      sEquityDKownedExo.l[s_DK,t1] * vFCFE.l[s_DK,t]);
```

vFCFE er frit cash flow til egenkapitalen. sEquityDKownedExo er den eksogent fastsatte danske ejerandel for brancherne i S_DK, som er sat til 100 pct.; for alle øvrige private brancher anvendes grundforløbs fælles endogene andel sEquityDKownedEndo_baseline.

Udlandets del beregnes som residual, da de to ejerandele summerer til 1:

```
EVt['formueUdl',t] = sum(sp, vFCFE.l[sp,t]) - EVt['formue',t]
```

Denne kanal overses ofte i andre EV-mål, men er potentielt stor ved stød, der rammer kapitalintensive brancher. En CO₂e-afgift kan skabe "strandede aktiver" ved øjeblikkeligt at reducere indtjeningen fra eksisterende forurenende kapital, jf. Rozenberg m.fl. (2020).

Indkomsteffekten

Indkomsteffekten måler ændringen i nutidsværdien af de fremtidige fritidskorrigerede indkomster.

$$EV_t^H \equiv H_t - H_t^0$$

Teoretisk kan den opdeles i lønindkomst, lønskat, anden indkomst og disnytte af arbejde:

$$EV^H = EV^y + EV^{wl} + EV^{\tau} + EV^z$$

I modellen rapporteres den indenlandske indkomsteffekt som den løbende fritidskorrigerede indkomst:

```
EVt['indk_DK',t] = vLeisureAdjustedIncome.l[t];
```

Den udenlandske indkomsteffekt består af to led, som ikke har noget modstykke i den teoretiske notation:

```
Output_EV['Indkomst','Udland',t] = EVt['indk_kvoter',t] +
EVt['indk_other_foreign',t]
```

Den teoretiske dekomponering ovenfor er organiseret efter økonomisk type: priseffekt, formueeffekt og en indkomsteffekt, der deles i lønsum, lønskat, anden indkomst og disnytte af arbejde. Modellens rapportering er derimod organiseret efter finanspolitisk kanal — hvor pengene kommer fra, og hvem de tilfalder. Det er denne opdeling, der er relevant for at vurdere et afgiftsstød, men den følger ikke teoriens inddeling én til én.

To ting bryder korrespondancen. Lumpsum-overførslen udskilles fra den øvrige anden indkomst, fordi det netop er tilbageførslen af provenuet, der afgør, om indkomstkanalen bliver positiv. Og kvotebetalingerne har intet modstykke i den teoretiske notation, da de opstår af den åbne økonomis ETS-bogføring, ikke af husholdningens optimeringsproblem. Tabellen nedenfor er derfor nøglen til figurerne i afsnit 3.4.

Tabel 3.1

Sammenhæng mellem den teoretiske dekomponering og modellens rapportering

Teori	Output_EV	Indhold
EV^P	Pris (Indland, Udland)	Indland: Forbrugerprisstigning × fritidskorrigeret indkomst Udland: Harberger-approximation på eksportpriser
EV^A	Formue (Indland, Udland)	Danskejet andel af FCFE; residualen tilfalder udlandet
EV^{wl}, EV^{τ}, EV^y	Løn mm (Indland)	Lønsum, overførsler og skat ekskl. lumpsum
EV^y (lumpsum)	Lumpsum (Indland)	Tilbageført afgiftsprovenue
$EV^Z + \text{residual}$	Andet (Indland, Udland)	Indland: Disnytte af arbejde og residual indkomst Udland: Indirekte skatter til EU og offentlige nettooverførsler til udlandet
—	kvoter (Udland)	Ændring i danske ETS-relaterede nettokvotebetaling

Anm.: Output_EV er rapporteringsvariablen i report_EV.gms. Den teoretiske notation følger Stephensen (2024). Output_EV['Samlet','Samlet'] summerer over set_output_EV_xTot, som ikke omfatter Indkomst

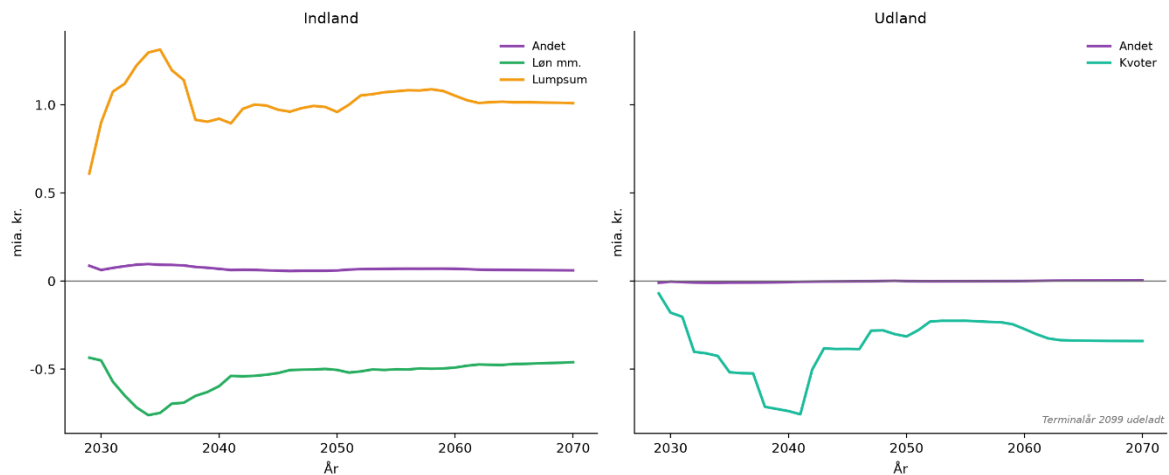
Kilde: Egen opstilling på baggrund af report_EV.gms og Stephensen (2024)

Tre forhold er værd at bemærke. Løn mm er bredere end lønsummen alene — den dækker også overførsler og skat ekskl. lumpsum, så et udsving i serien ikke nødvendigvis afspejler et lønudsving. Kategorien Andet dækker forskellige variable for indland og udland: indenlandsk er det disnytte af arbejde og residual indkomst, udenlandsk er det EU-bidrag og offentlige overførsler, som stødet praktisk talt ikke påvirker. Endelig summerer Output_EV['Samlet','Samlet'] over set_output_EV_xTot, som ikke omfatter Indkomst — Indkomst er en separat aggregering til visningsformål og ville dobbelttælle, hvis den indgik.

3.4 Velfærdseffekter ved stødet

Figur 3.1

Indkomstkanalen dekomponeret, indland og udland, mia. kr.



Anm.: Årlige ændringer i forhold til grundforløbet. Indland omfatter Løn mm., Lumpsum og Andet, udland kvoter og Andet, jf. tabel 3.1. Serierne summerer til indkomstkanalen i figur 3.2.

Kilde: Egne beregninger på GrønREFORM (CO2eTax_shock.gdx).

Figur 3.1 viser, hvilke indkomstkomponenter der driver velfærdseffekten over tid for henholdsvis indland og udland.

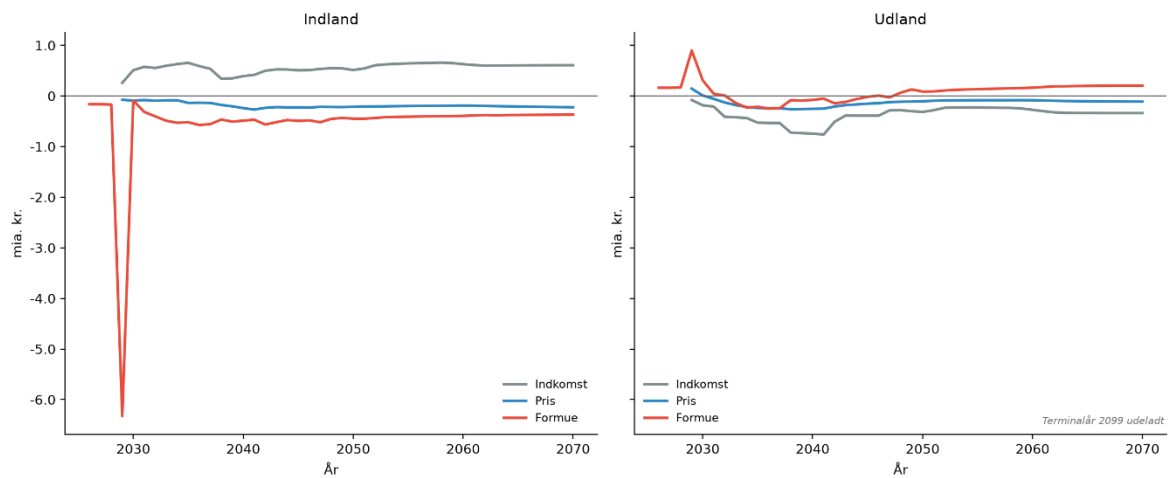
Lønkanalen er negativ. Mekanismen er den samme som i den simple to-branchemodel i Dalgaard (2023b): afgiften hæver omkostningen i de udledende brancher, efterspørgslen efter deres produktion falder, og arbejdskraft frigøres. Lumpsum-kanalen er positiv og afspejler tilbageførslen af afgiftsprovenu, som holder den primære offentlige saldo konstant. Bidraget topper midt i 2030'erne, hvor afgiften når sit fulde niveau på 500 kr./ton, og aftager derefter i takt med, at afgiftsgrundlaget udhules af input-fortrængende teknologiskift og af grundforløbets indlejrede fald i udledningerne.

For udlandet udgør kvoterne stort set hele indkomstkanalen. Danske virksomheders og husholdningers kvotebetalinger falder i stødførløbet, fordi forbruget af kvoteomfattede brændsler falder, og de tekniske reduktionsmuligheder forstærker effekten, idet energiinput fortrænges i bred forstand. De lavere danske kvotebetalinger er en tabt indtægt for udlandet, og kvotekanalens bidrag er derfor negativt til udlandets velfærd.

Komponenterne i figur 3.1 summerer til indkomstkanalen. Figur 3.2 viser den sammen med de to øvrige hovedkanaler, pris og formue.

Figur 3.2

EV-målet fordelt på hovedkanaler, indland og udland, mia. kr.



Anm.: Årlige ændringer i forhold til grundforløbet, dvs. `output_EV_steps['diff']`, før diskontering. Venstre panel viser de indlandske komponenter, højre panel de udenlandske.

Kilde: Egne beregninger på GrønREFORM (CO2eTax_shock.gdx).

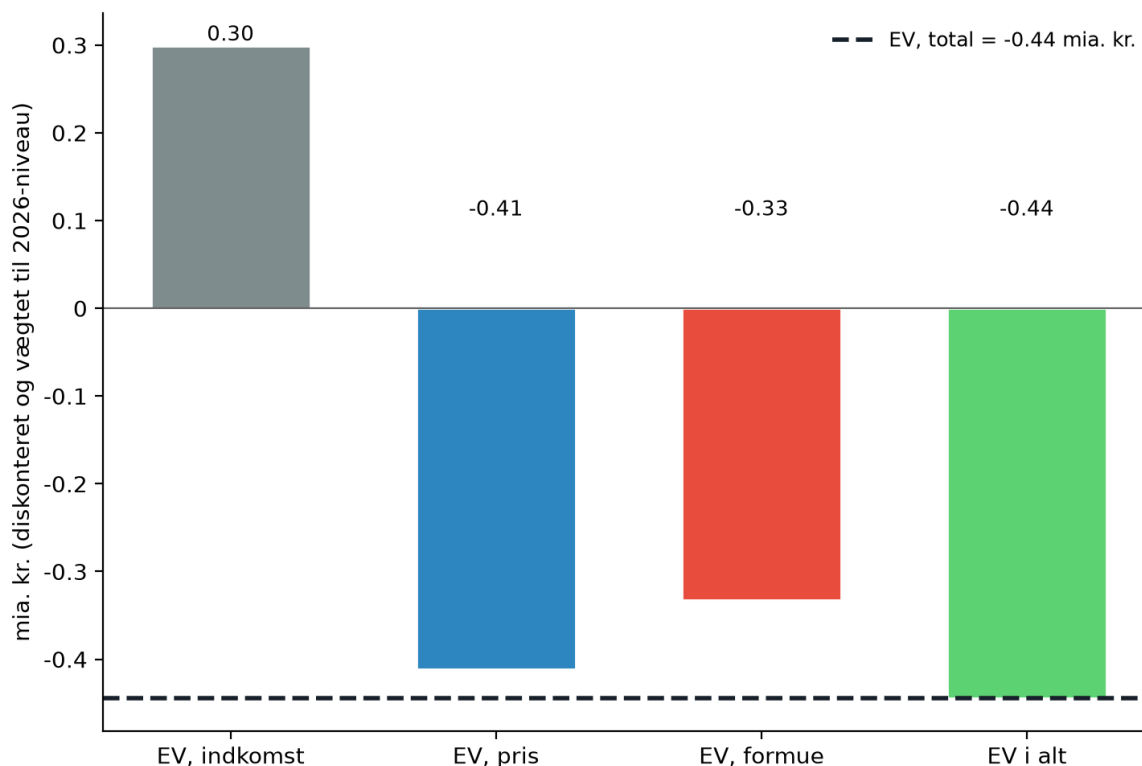
For indlandet er indkomsteffekten positiv, fordi lumpsum-overførslen tilfalder danske husholdninger og vejer tungere end den negative løneffekt. Preiseffekten er negativ og afspejler dødvægtstabet ved forvredne forbrugerpriser. Formueeffekten er stærkt negativ i 2029 (–6,35 mia. kr.), hvor den annoncerede afgiftsprofil kapitaliseres i virksomhedernes aktieværdi. Aktieværdien er defineret som nutidsværdien af virksomhedernes fremtidige FCFE, og hele det forventede indtjeningsfald slår derfor igennem på én gang. Effekten er kortvarig: allerede året efter er serien tilbage tæt på nul, hvorefter den lægger sig på et mere moderat negativt niveau omkring –0,5 mia. kr.

For udlandet er billedet spejlvendt. Indkomsteffekten er negativ, og det er kvotekanalen fra figur 3.1. Preiseffekten er ligeledes negativ, fordi de danske eksportpriser stiger, jf. figur 2.1, så en del af afgiftsbyrden bæres af udenlandske aftagere. Formueeffekten er derimod svagt positiv fra omkring 2048. Det skyldes, at landbruget, som rammes hårdt af afgiften, i modellen er fuldt danskejet.

Figur 3.3 sammenfatter forløbene i ét tal pr. kanal, nemlig det vægtede årlige gennemsnit for indland og udland tilsammen, jf. afsnit 5.4.

Figur 3.3

EV-målet i alt og fordelt på hovedkanaler, vægtet årligt gennemsnit, mia. kr.



Anm.: Vægtede årlige gennemsnit (@WYA), diskonteret og normeret til 2026-niveau, jf. afsnit 5.4. Niveauet Samlet, dvs. indland og udland tilsammen. Værdierne svarer til kolonnen Samlet i tabel 3.2.

Kilde: Egne beregninger på GrønREFORM (CO2eTax_shock.gdx).

Det samlede EV-mål udgør -0,44 mia. kr. årligt. Pris- og formuekanalen er begge negative, mens indkomstkanalen er positiv, fordi lumpsum-tilbageførslen næsten opvejer kapitaltabet og lønfaldet. Det samlede tal er dermed en lille difference mellem store, modsatrettede bidrag, hvilket har betydning for fortolkningen af skyggeprisen, jf. afsnit 5.5.

Tabel 3.2

EV-målet fordelt på kanaler, vægtet årligt gennemsnit, mia. kr.

	Samlet	Indland	Udland
Andet	0.07	0.07	0.00
Løn mm.	-0.56	-0.56	0.00
Lumpsum	1.19	1.19	0.00

	Samlet	Indland	Udland
Kvoter	-0.41	0.00	-0.41
Indkomst (i alt)	0.30	0.71	-0.41
Pris	-0.41	-0.27	-0.14
Formue	-0.33	-0.52	0.19
EV i alt (Indkomst + Pris + Formue)	-0.44	-0.08	-0.36

Anm.: Vægtede årlige gennemsnit (@WYA), diskonteret og normeret til 2026-niveau, jf. afsnit 5.4. Positive tal er velfærdsgevinster. Indkomst i alt er summen af Andet, Løn mm., Lumpsum og kvoter og indgår ikke selvstændigt i EV i alt.

Kilde: Egne beregninger på GrønREFORM (CO2eTax_shock.gdx).

Fordelingen mellem indland og udland er skæv. Danmark bærer -0,08 mia. kr. af det samlede tab på -0,44 mia. kr., mens udlandet bærer -0,36 mia. kr. Skævheden skyldes tilbageførslen af afgiftsprovenuet: lumpsum-overførslen på 1,19 mia. kr. tilfalder udelukkende danske husholdninger og gør indlandets indkomstkanal positiv med 0,71 mia. kr.

De to øvrige kanaler trækker den modsatte vej. Danmark bærer det største prisforvridningstab med -0,27 mia. kr. mod -0,14 mia. kr. for udlandet, og danske ejere bærer stort set hele formuetabet med -0,52 mia. kr., mens udenlandske ejere netto har en gevinst på 0,19 mia. kr. Det skyldes, at landbruget i modellen er fuldt danskejet, mens de brancher, der indirekte begunstiges, overvejende er udenlandsk ejede. Udlandets tab drives til gengæld af kvotekanalene med -0,41 mia. kr. og af bytteforholdet.

Set fra Danmark er en del af stødet dermed en overførsel fra udlandet. Set globalt består overførslen ikke, og tilbage står den reelle ressourceomkostning. Det er præcis den forskel, der adskiller GECC fra DECC, jf. afsnit 5.5.

4. Drivhusgasreduktioner (nævneren)

Skyggeprisens nævner er den reduktion i drivhusgasudledninger, som følger af det betragtede stød. Reduktionen opgøres som forskellen mellem udledningerne i grundforløbet og udledningerne i stødforløbet. I modsætning til velfærdseffekten er udledningerne en fysisk mængde og opgøres derfor i ton CO₂e.

4.1 Opgørelsesprincip

Drivhusgasudledningerne opgøres i GrønREFORM som fysiske mængder efter UNFCCC-konventionen inklusive LULUCF. Den samlede udledning rapporteres i `report_qEmm.gms` som:

```
output_qEmm['0 Ialt',t] = qEmmTot.l[t,'CO2e','UNFCCC_LULUCF'] / 1000
```

Udledningerne rapporteres i Mt CO₂e. Modellens interne variabel `qEmmTot` er opgjort i kt, og divisionen med 1.000 omregner derfor til Mt.

For hvert år beregnes reduktionen som forskellen mellem grundforløbets og stødforløbets udledning. I rapporteringen ligger denne forskel i:

```
output_qEmm_steps[...,'diff',..., '0 Ialt',t]
```

En negativ diff betyder, at stødet sænker udledningerne. I skyggeprisformlen skiftes fortegnet, så nævneren er en reduktion (positiv, når udledningerne falder), jf. afsnit 5.

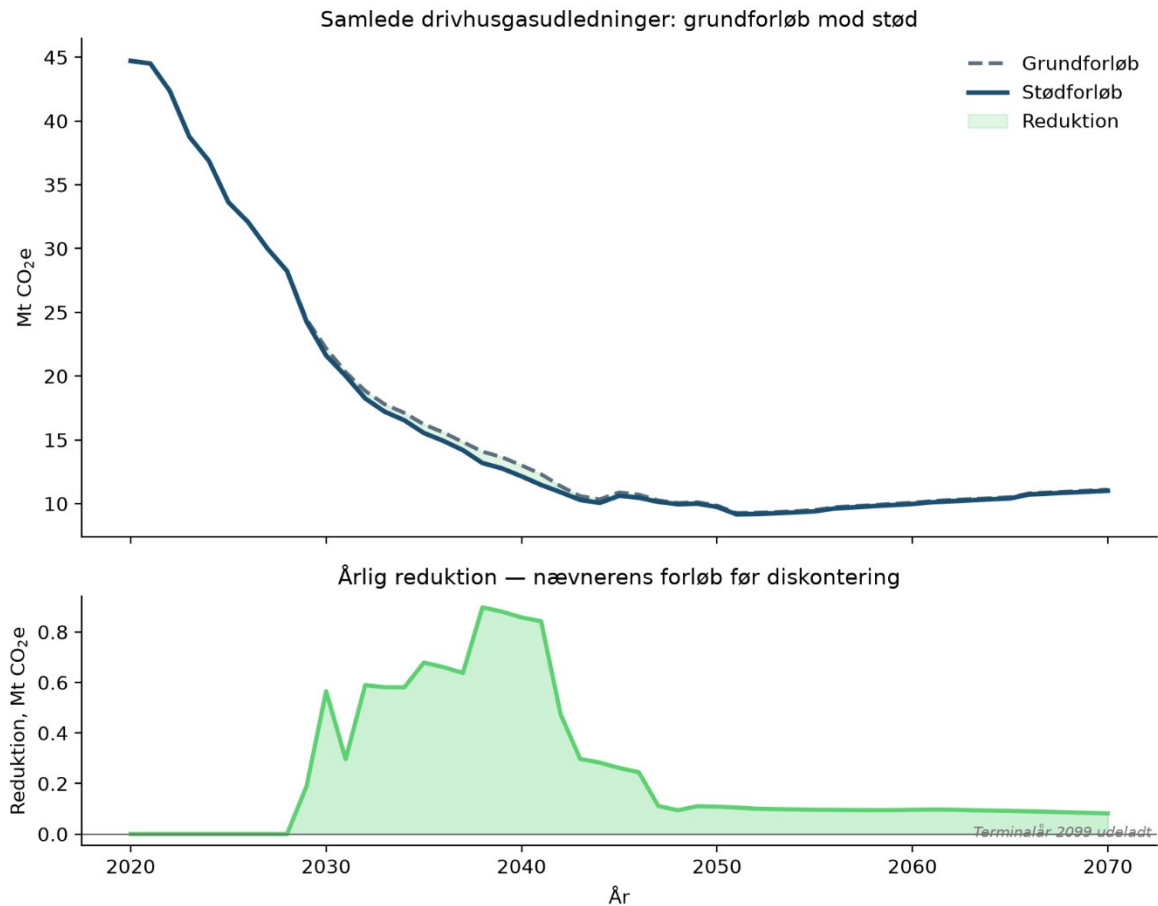
To forhold er vigtige for fortolkningen. For det første er nævneren den samlede UNFCCC-udledning, ikke kun det afgiftsbelagte grundlag. Afgiftsstigningen lægges oven på modellens eksisterende satser med de undtagelser, der er nævnt i afsnit 2.1, mens skyggeprisen opgøres i kr. pr. ton samlet reduktion. For det andet rapporteres udledningerne uden vækstkorrektion. Hvordan den fysiske mængde alligevel bringes på samme enhed som velfærds målet, før der diskonteres, behandles i afsnit 5

4.2 Udledningsreduktioner ved stødet

Figur 4.1 viser, hvordan udledningerne falder ved stødet. Det øverste panel viser de to forløb side om side; det skraverede areal er forskellen. Nederste panel isolerer den årlige reduktion. Det er denne serie — nævnerens rå forløb, før vækstkorrektion og diskontering — der senere indgår i skyggeprisen.

Figur 4.1

Samlede drivhusgasudledninger i grund- og stødforløb samt den årlige reduktion, Mt CO₂e



Anm.: Udledninger efter UNFCCC-konventionen inkl. LULUCF. Det skraverede areal i øverste panel er den opnåede reduktion. Nederste panel viser den årlige reduktion, dvs. nævnerens rå forløb før væstkorrektion og diskontering.
Kilde: Egne beregninger på GrønREFORM (CO2eTax_shock.gdx).

Reduktionen sætter ind i 2029, hvor afgiften får virkning, og stiger til ca. 0,56 Mt CO₂e i 2030, hvor satsen fordobles fra 125 til 250 kr./ton. I 2031 falder den tilbage til ca. 0,30 Mt, hvorefter den stiger igen. Dykket kan ikke forklares ud fra afgiftsprofilen alene og kræver en dekomponering af output_qEmm_steps på brancheniveau.

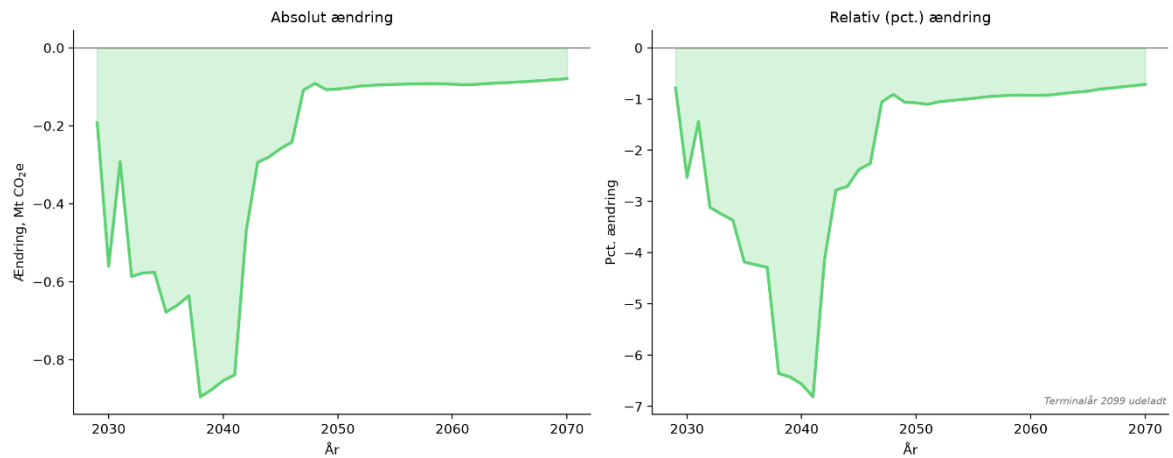
Fra 2032 stiger reduktionen gradvist, i takt med at afgiften indføres fuldt ud i 2035, og at kapitalapparat og teknologivalg tilpasser sig det højere afgiftsniveau. Reduktionen toppes omkring 0,9 Mt CO₂e i 2038 og ligger på det niveau frem til 2041.

Efter 2042 falder reduktionen kraftigt, selvom afgiften ligger uændret på sit fulde niveau. Forklaringen ligger i grundforløbet, hvor udledningerne falder fra 44,7 Mt i 2020 til omkring 10 Mt i begyndelsen af 2040'erne. Efterhånden som der er mindre CO₂e-intensiv aktivitet tilbage, bider en given afgift mindre i absolutte ton. Fra slutningen af 2040'erne ligger reduktionen stabilt omkring 0,1 Mt CO₂e om året.

Det relative billede i figur 4.2 følger samme forløb. Reduktionen er størst i 2041, hvor udledningerne ligger knap 7 pct. under grundforløbet, mens forskellen på langt sigt er under 1 pct. Skyggeprisens nævner bruger de absolutte ton og ikke procenterne, men det relative billede viser, at afgiften fortsat flytter udledningerne, også når grundforløbets niveau er faldet.

Figur 4.2

Ændring i drivhusgasudledninger i forhold til grundforløbet, Mt CO₂e og pct.



Anm.: Samlet udledning efter UNFCCC-konventionen inkl. LULUCF. Venstre panel viser den absolutte ændring, højre panel den relative. Skyggeprisens nævner bruger de absolutte ændringer, jf. afsnit 4.1.

Kilde: Egne beregninger i GrønREFORM (CO₂eTax_shock.gdx).

Fordi effekten aftager over tid, er det den diskonterede sum af de årlige absolutte reduktioner, og ikke et enkelt års tal, der indgår i nævneren. I denne beregning kommer reduktionerne fra substitution i produktionen, fra input-fortrængende teknologiskift og fra lavere produktion i de afgiftsbelagte brancher. CCS-udbygning, BECCS-tilskud og struktureffekter er slået fra, jf. afsnit 2.1.

5. Diskontering og beregning af skyggeprisen

Skyggeprisen er forholdet mellem to diskonterede summer. Tæller og nævner deler diskonteringsfaktor, men behandles forskelligt, fordi kun udledningerne mangler at blive vækstkorrigeret.

5.1 Skyggeprisen i steps_ECC.gms

Skyggeprisen samler de to størrelser fra afsnit 3 og 4. Selve beregningen sker i steps_ECC.gms:

```
reduction = -@WYA_qEmm(output_qEmm_steps['%indsaet%', 'diff', '0 Ialt', t]);  
  
output_steps_ECC['%indsaet%_pre', 'GECC']$(reduction gt 0.001) =  
-1000*(output_EV_WYA_steps['%indsaet%', 'diff', 'Samlet', 'Samlet'])/reduction;  
output_steps_ECC['%indsaet%_pre', 'DECC']$(reduction gt 0.001) =  
-1000*(output_EV_WYA_steps['%indsaet%', 'diff', 'Samlet', 'Indland'])/reduction;
```

Nævneren reduction beregnes her, mens tælleren allerede er dannet i steps_output.gms:

```
output_EV_WYA_steps['%indsaet%', 'diff', set_output_EV, set_niveau]  
= @WYA(output_EV_steps['%indsaet%', 'diff', set_output_EV, set_niveau, t]);
```

Begge bygger på vægtningsfunktionerne @WYA og @WYA_qEmm fra functions.gms. Indsættes deres definitioner, reduceres hele beregningen til ét udtryk:

$$GECC = \frac{1000}{inf_factor[t_{rep}]} * \frac{\sum_t \Delta EV_t * Dis_NPV[t]}{\sum_t \Delta q_t^{Emm} * growth_factor[t] * Dis_NPV[t]}$$

Det er dette udtryk, resten af afsnittet forklarer, og det er samtidig den form, man skal bruge, hvis man vil efterregne modellens skyggepris i et regneark.

Tre ingredienser indgår: modellens enheder og diskonteringsfaktoren (afsnit 5.2), hvorfor udledningerne kræver et ekstra trin (afsnit 5.3), og de to vægtningsfunktioner, der sætter det hele sammen (afsnit 5.4).

Den eneste asymmetriske behandling af tæller og nævner er growth_factor[t] i nævneren. Velfærdsmålet er allerede opgjort i modellens vækst- og inflationskorrigerede enheder, mens udledningerne er en fysisk mængde, der først skal vækstkorrigeres, før den kan diskonteres. Faktoren 1.000 er en enhedsomregning: EV opgøres i mia. kr. og reduktionen i Mt CO₂e, og mia. kr. pr. Mt svarer til 1.000 kr. pr. ton. Fortegnene sikrer, at et velfærdstab ved en reduktion giver en positiv omkostning — ved et typisk afgiftsstød er både ΔEV og Δq^{Emm} negative, og GECC dermed positiv.

5.2 Detrendede enheder og diskonteringsfaktoren

GrønREFORM løses i detrendede enheder. Mængder er renset for realvækst, og værdier uden for inflation. Faktorerne sættes i data.gms med 2019 som basisår:

```
fq = (1 + gq);  
fp = (1 + gp);  
fv = fq * fp;  
growth_factor[t] = 1/fq**(t.val - %base_year%);  
inf_factor[t] = 1/fp**(t.val - %base_year%);  
inf_growth_factor[t] = inf_factor[t] * growth_factor[t];
```

gq er den årlige realvækst og gp den årlige inflation. De tre kumulative faktorer er alle lig 1 i basisåret og aftagende derefter, fordi de omregner fra løbende til detrendede enheder. At vækst- og inflationsdelen holdes adskilt, er ikke kosmetik: en værdi i kroner skal korrigeres for både vækst og inflation (inf_growth_factor), mens en ren fysisk mængde kun skal korrigeres for vækst (growth_factor). Det er præcis den skelnen, afsnit 5.4 bygger på.

Den kombinerede faktor fv går desuden direkte ind i diskonteringen. Både tæller og nævner diskonteres med samme faktor, Dis_NPV, som omregner et forløb til nutidsværdi i rapporteringsåret. Den sættes i report_settings.gms:

```
t_reporting = 2026;  
  
rHH.l[t] = (1+(1-t_r.l[t])*rHHxAfk.l[t])/fv - 1;  
Dis_NPV[t]$(t.val lt t_reporting) = 0;  
Dis_NPV[t]$(t.val eq t_reporting) = 1;  
Dis_NPV[t]$(t.val gt t_reporting) = prod(tt $ (ord(t) ge ord(tt) and tt.val  
gt t_reporting), 1/(1+rHH.l[tt]));  
Dis_NPV[tEnd] = Dis_NPV[tEnd]/rHH.l[tEnd];
```

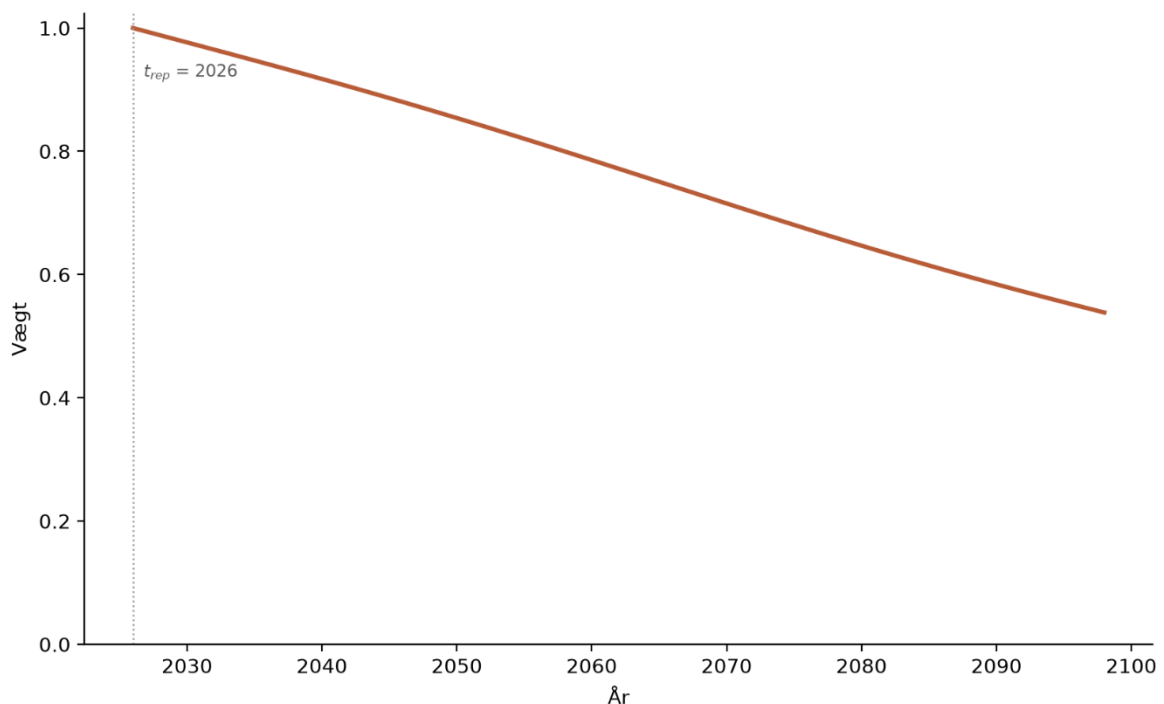
Renten rHH er husholdningernes marginale reale rente: et nominelt afkast efter kapitalindkomstskat, deflateret med fv. Her er t_r[t] kapitalindkomstskattesatsen, og rHHxAfk[t] husholdningernes implicitte nominelle bruttorente på formue ekskl. fast ejendom.

Divisionen med fv er afgørende for resten af afsnittet. Da fv indeholder både realvækst og inflation, er rHH en detrendet rente, og alt, hvad der diskonteres med Dis_NPV, skal derfor være opgjort i detrendede enheder. Det gælder EV uden videre. Det gælder ikke udledningerne, jf. afsnit 5.3.

Sidste linje er en terminalkorrektion. Modellen har en endelig horisont, mens velfærdsmålet er defineret over uendelig tid, og terminalåret repræsenterer derfor ikke blot ét år, men hele perioden fra tEnd og frem. Divisionen med rHH.l[tEnd] svarer til nutidsværdien af en evigtvarende annuitet og forudsætter konstant rente og konstant detrendet niveau efter terminalåret. Ved et permanent afgiftsstød ligger en betydelig del af både velfærdstabet og udledningsreduktionen efter horisonten, så korrektionen har reel vægt — og fordi den indgår i både tæller og nævner, vægtes de to konsistent.

Figur 5.1

Diskonteringsfaktoren Dis_NPV, vægt med 2026 = 1



Anm.: Faktoren bygger på husholdningernes marginale reale rente r_{HH} . Terminalåret 2099 er udeladt, da annuitetskorrektionen gør værdien størrelsesordenen større end de øvrige år.

Kilde: Egne beregninger i GrønREFORM (CO2eTax_shock.gdx).

Figur 5.1 viser diskonteringsfaktoren over tid. Der lægges mindre vægt på senere år i modellen, hvilket gør sig gældende for hhv. udledninger og EV-målet.

5.3 Hvorfor udledninger skal vækstkorrigeres

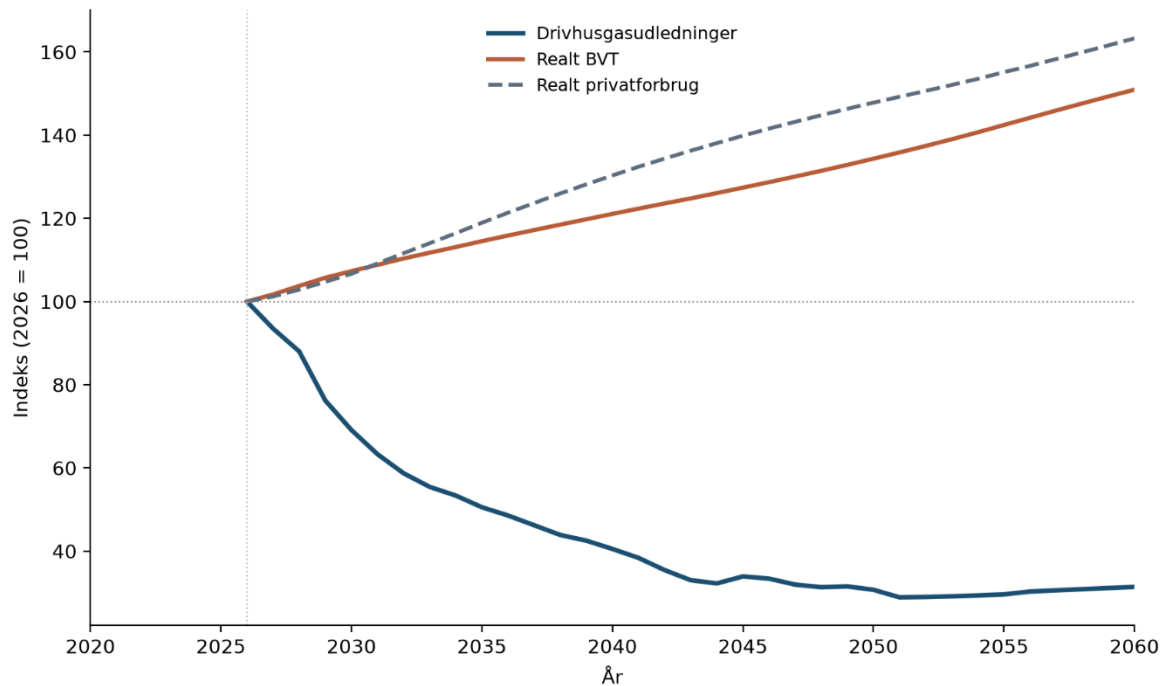
Alle økonomiske størrelser i modellen — BVT, privatforbrug, indkomster — er opgjort i detrendede enheder. Udledningerne er ikke. De rapporteres som fysiske mængder i Mt CO₂e, jf. afsnit 4.1.

Forskellen er ikke en fejl, men en konsekvens af, at de to størrelser måler forskellige ting. En økonomisk værdi er en nominal størrelse, der skaleres med økonomiens trendvækst. En udledning har intet prisniveau og følger den reale aktivitet og emissionsintensiteten.

Figur 5.2 viser begge forhold i grundforløbet. Det detrendede BVT er næsten fladt, fordi vækstattrenden er trukket ud — det er modellens interne enhed, den enhed modellens ligninger er formuleret i, og den enhed diskonteringsrenten hører til. Det reale BVT vokser. Og udledningerne falder markant, fordi emissionsintensiteten forbedres. Tre størrelser, tre forskellige forløb.

Figur 5.2

Grundforløb: drivhusgasudledninger, realt BVT og realt privatforbrug, indeks 2026 = 100



Anm.: Realt BVT og realt privatforbrug er modellens detrendede serier divideret med growth_factor. Udledningerne er fysiske mængder i Mt CO₂e og vækstkorrigeres ikke i rapporteringen.

Kilde: Egne beregninger i GrønREFORM (CO₂eTax_base.gdx).

Tæller og nævner ligger dermed i hver sin enhed. Da Dis_NPV er bygget på den detrendede rente r_{HH} , jf. afsnit 5.2, kan nævneren ikke diskonteres, som den står. Uden et eksplicit korrektionstrin ville en ikke-detrendet mængde blive diskonteret med en detrendet rente, og fejlen ville vokse med afstanden til basisåret, fordi $growth_factor[t]$ er aftagende. Korrektionen sker i @WYA_qEmm, jf. afsnit 5.4.

5.4 Konsistent vægtning af tæller og nævner

Begge vægtningsfunktioner står i functions.gms og omsætter et helt tidsforløb til ét tal:

```
$FUNCTION WYA({input}):  
    sum(t, {input}*Dis_NPV[t])  
    /sum(tt$(tt.val eq t_reporting), inf_growth_factor[tt])  
    /sum(t, Dis_NPV[t])  
$ENDFUNCTION  
  
$FUNCTION WYA_qEmm({input}):  
    sum(t, {input}*growth_factor[t]*Dis_NPV[t])  
    /sum(tt$(tt.val eq t_reporting), growth_factor[tt])
```

```
/sum(t, Dis_NPV[t])  
$ENDFUNCTION
```

De tre led i hver funktion gør tre ting. Først diskonteres forløbet til nutidsværdi i rapporteringsåret med `Dis_NPV[t]`. Dernæst løfter divisionen med normeringsfaktoren i `t_reporting` niveauet fra basisåret 2019 til 2026. Til sidst omregner divisionen med `sum(t, Dis_NPV[t])` nutidsværdien til et vægtet årligt gennemsnit.

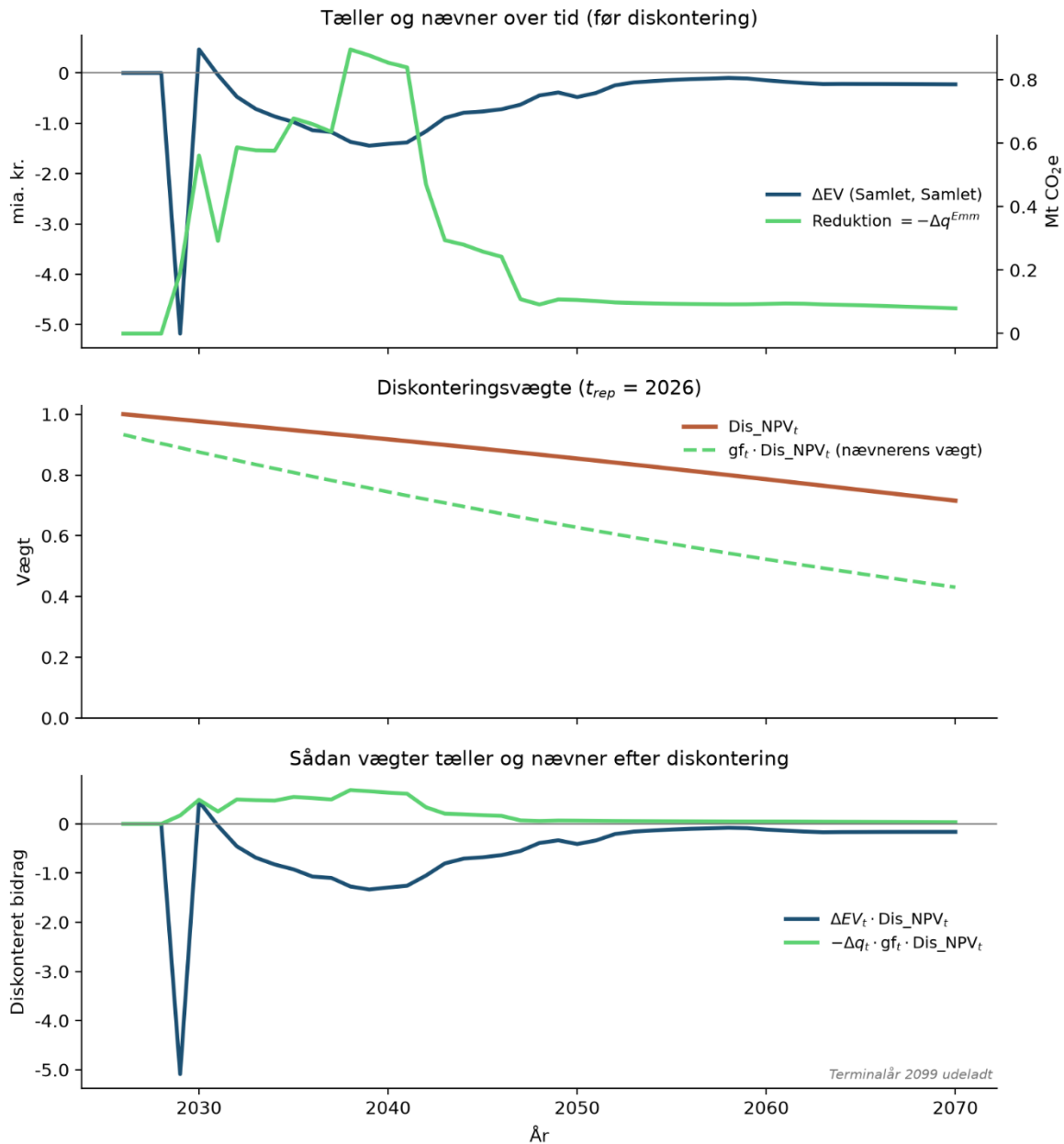
Det sidste skridt er en annuitetsomregning. Havde effekten været det samme beløb hvert år, ville nutidsværdien være dette beløb ganget med `sum(t, Dis_NPV[t])`. Divisionen vender regnestykket om og giver den konstante årlige effekt, der har samme nutidsværdi som det faktiske forløb. Det gør tallet uafhængigt af horisontens længde og direkte aflæseligt som en årlig størrelse.

Funktionerne adskiller sig på to punkter, og begge følger af afsnit 5.3. `@WYA_qEmm` ganger input med `growth_factor[t]` inde i summen, så udledningerne detrendes, før de diskonteres. Og de normerer forskelligt: `inf_growth_factor` for velfærdsmålet, `growth_factor` for udledningerne, fordi en fysisk mængde ikke har et prisniveau og derfor ikke skal inflationskorrigeres.

Da begge funktioner dividerer med den samme `sum(t, Dis_NPV[t])`, går annuitetsomregningen ud i skyggeprisens brøk. Det er derfor, den ikke optræder i det reducerede udtryk i afsnit 5.1. Normeringen går delvist ud: forholdet mellem `growth_factor[t_reporting]` og `inf_growth_factor[t_reporting]` efterlader netop `1/inf_factor[t_reporting]`, som står i udtrykket i afsnit 5.1. Tilbage står `growth_factor[t]` inde i nævnerens sum, og det er den forskel, der er bestemmende for resultatet.

Figur 5.3

Skyggeprisens tæller og nævner over tid



Anm.: Panel A viser det rå forløb af ΔEV i mia. kr. og udledningsreduktionen i Mt CO₂e før diskontering. Panel B viser de to tidsvægte, Dis_NPV_t for tælleren og $gf_t \cdot Dis_NPV_t$ for nævneren. Panel C viser de diskonterede bidrag, der indgår i summeringen.

Kilde: Egne beregninger i GrønREFORM (CO₂eTax_shock.gdx).

Panel A viser de rå forløb før diskontering. Velfærdsændringen domineres af et stort negativt udslag omkring 2029-30, hvor den annoncerede afgiftsprofil kapitaliseres i aktiv- og indkomstforventningerne, hvorefter forløbet springer positivt og siden ligger tæt på nul. Udledningsreduktionen er positiv gennem hele forløbet og aftager gradvist.

Panel B viser de to tidsvægte. Tælleren vægtes alene med Dis_NPV_t , da ΔEV allerede er detrendet. Nævnerens vægt er $growth_factor[t] \cdot Dis_NPV_t$ og falder hurtigere,

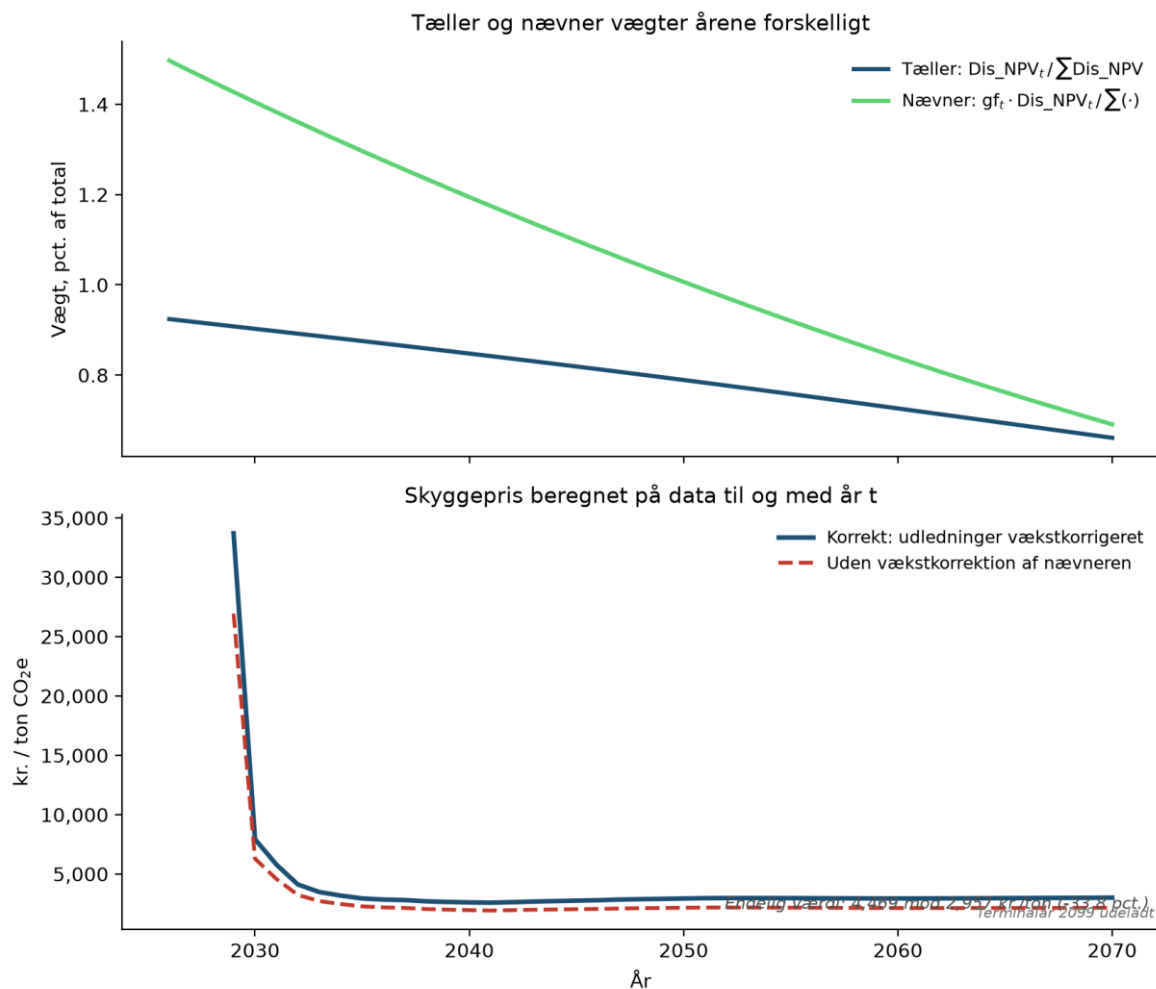
fordi $\text{growth_factor}[t]$ er aftagende. Fjerne år vejer altså relativt mindre i nævneren end i tælleren. Kurverne starter ikke begge i 1, fordi growth_factor i 2026 er mindre end 1. Det er netop den faktor, der divideres ud i normeringen.

Panel C viser produktet af de to, altså de diskonterede bidrag. Det er disse serier, der summeres, og hvis forhold efter annuitetsnormering og enhedsomregning udgør skyggeprisen. Terminalåret 2099 er udeladt af figuren, da annuitetskorrektionen gør bidraget størrelsesordenen større end de øvrige år.

Figur 5.4 viser den praktiske betydning af korrektionstrinnet.

Figur 5.4

Betydningen af vækstkorrektionen af nævneren, kr./ton CO₂e



Anm.: Øverste panel viser de to tidsvægte som andel af deres respektive sum, dvs. hvordan tæller og nævner vægter årene forskelligt. Nederste panel viser skyggeprisen beregnet på data til og med år t, med og uden vækstkorrektion af nævneren.

Kilde: Egne beregninger i GrønREFORM (CO₂eTax_shock.gdx).

Udelades $\text{growth_factor}[t]$ i nævneren, afviger den beregnede skyggepris systematisk fra den korrekte værdi, og afvigelsen vokser med afstanden til basisåret. Det har også en praktisk konsekvens for efterberegninger: vil man plote tæller og nævner mod hinanden manuelt, skal EV divideres med inf_growth_factor og udledningerne ganges med growth_factor .

5.5 GECC og DECC

Skyggeprisen beregnes trinvist. Før første stød initialiseres referenceværdierne i `steps_baseline.gms`, og for hvert efterfølgende trin dannes to sæt forskelle i `steps_output.gms`:

```
output_EV_steps['%indsaet%', 'diff', set_output_EV, set_niveau, t]
    = output_EV[set_output_EV, set_niveau, t] - output_EV_last[set_out-
put_EV, set_niveau, t];
output_EV_steps['%indsaet%', 'accu', set_output_EV, set_niveau, t]
    = output_EV[set_output_EV, set_niveau, t] - output_EV_start[set_out-
put_EV, set_niveau, t];
```

'diff' måler ændringen siden forrige stødtrin, 'accu' ændringen siden udgangspunktet, og det er 'diff', der anvendes i både GECC og DECC. Med kun ét stød er de to identiske, og skyggeprisen er dermed både den marginale og den gennemsnitlige omkostning ved den reduktion, stødet giver. Beregnes flere afgiftsniveauer efter hinanden, adskiller de sig: 'diff' giver den marginale skyggepris for det enkelte spring i afgiften, mens 'accu' giver gennemsnittet over hele reduktionen.

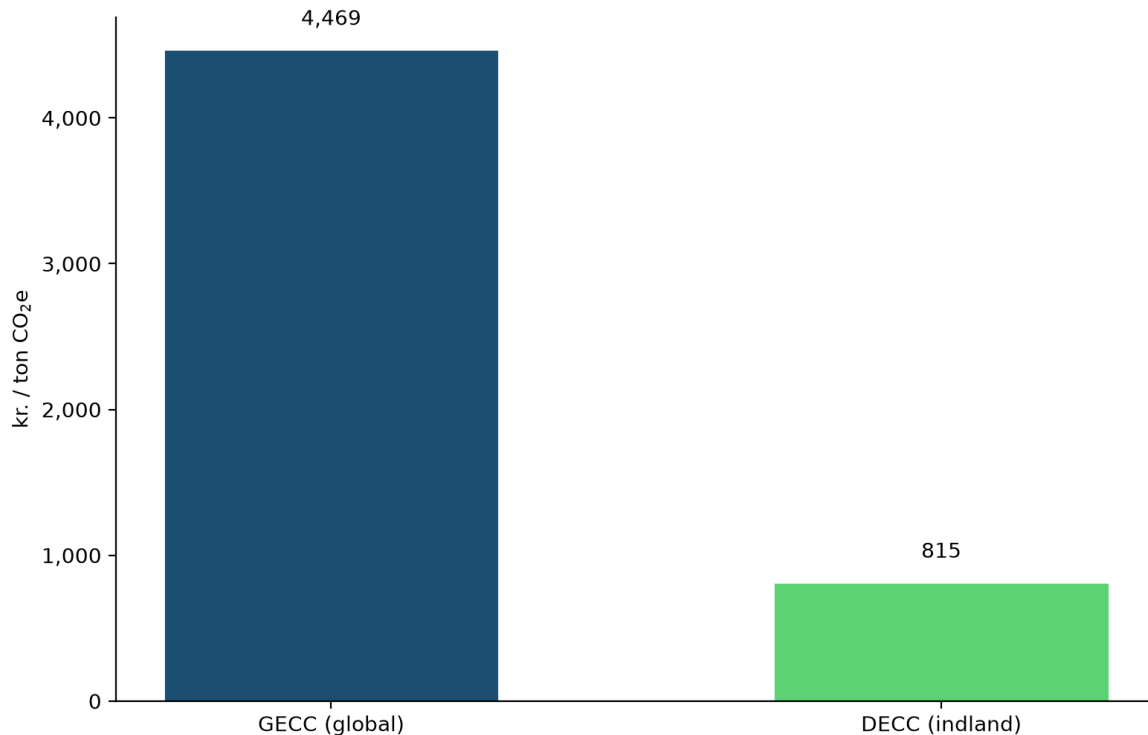
Forskellen mellem de to skyggepriser ligger alene i niveau-indekset i opslaget i afsnit 5.1. GECC (Global Economic Cost Curve) bruger 'Samlet' og opgør dermed velfærdseffekten inklusive udlandet, mens DECC (Domestic) bruger 'Indland' og kun medtager de indenlandske komponenter. Sondringen er væsentlig, fordi en indenlandsk velfærdsgevinst kan være modsvaret af et tab i udlandet, så de to mål kan pege i hver sin retning.

Navnene afspejler, at beregningen normalt gentages for flere afgiftsniveauer, så punkterne tilsammen danner en omkostningskurve. `steps_ECC.gms` gemmer derfor også afgiftssatsen i 2035 under 'RC' som kurvens x-akse og den akkumulerede reduktion under 'Reduction'. Her beregnes ét punkt på kurven.

To tekniske detaljer er værd at kende, hvis man slår tallene op. Betingelsen $\$(reduction > 0.001)$ undertrykker beregningen, når reduktionen er forsvindende lille. Og resultaterne skrives til både '%indsaet%_pre' og '%indsaet%_post' for dette stød altså `output_steps_ECC['CO2eTax_shock_pre', 'GECC']`.

Figur 5.5

Skyggeprisen opgjort globalt (GECC) og indenlandsk (DECC), kr./ton CO₂e



Anm.: Beregnet på stødtrinnet 'diff', jf. afsnit 3.3. GECC bruger niveauet Samlet og medtager dermed udlandet, mens DECC bruger Indland. Niveauet er numerisk følsomt, fordi tælleren er en lille difference mellem store, modsatrettede kanaler, og skal læses som en illustration af beregningsmetoden.

Kilde: Egne beregninger i GrønREFORM (CO₂eTax_shock.gdx).

Begge mål er positive i denne beregning. GECC udgør ca. 4.470 kr./ton, mens DECC udgør ca. 815 kr./ton. Reduktionen indebærer altså en velfærdsomkostning både globalt og set fra Danmark, men omkostningen er væsentligt mindre, når kun de indenlandske komponenter medregnes.

Forskellen skyldes, at afgiftsbyrden og provenuet fordeles forskelligt mellem Danmark og udlandet. Provenuet føres udelukkende tilbage til danske husholdninger via lumpsum-overførslen, mens en del af omkostningen bæres af udlandet: eksportpriserne stiger, jf. figur 2.1, udenlandske ejere bærer deres andel af faldet i virksomhedernes FCFE, og de danske kvotebetalinger til udlandet falder. Set fra Danmark er en del af stødet derfor en overførsel fra udlandet, og DECC ligger derfor under GECC. Set globalt består overførslen ikke, og tilbage står den reelle ressourceomkostning ved omstillingen, som GECC måler. Fordelingen mellem de to niveauer er ikke givet på forhånd: er overførslen fra udlandet tilstrækkelig stor, kan DECC blive negativ, mens GECC forbliver positiv.

Begge tal er store i forhold til afgiftsniveauet på 500 kr./ton og skal fortolkes med varsomhed. Det skyldes ikke en fejl i beregningen, men brøkens konstruktion. Tælleren er en lille difference mellem store, modsatrettede kanaler, hvor det negative pris- og formuebidrag næsten opvejes af den positive lumpsum-tilbageførsel, jf. afsnit 3.4, mens nævneren er en beskeden diskonteret reduktion på ca. 0,1 Mt CO₂e årligt. Når tælleren ligger tæt på nul, bliver forholdet numerisk følsomt, og små ændringer i velfærds målet slår kraftigt igennem i kr./ton.

Niveauet i figur 5.5 skal derfor læses som en illustration af beregningsmetoden og ikke som et robust estimat af reduktionsomkostningen ved et CO₂e-afgiftsstød.

5.6 Dekomponering af skyggeprisen

Skyggeprisen kan dekomponeres på de samme EV-kanaler som velfærdsmålet. Samme nævner bruges for alle komponenter, og dekomponeringen summerer derfor eksakt til GECC. Det er dette output, der gør det muligt at besvare, hvorfor skyggeprisen ligger, hvor den gør — f.eks. om et højt niveau skyldes forvredne forbrugerpriser eller kapitaltab i de ramte brancher.

I `steps_ECC.gms` sker det i én linje, hvor kanalerne mappes fra EV-outputtet:

```
output_steps_ECC['%indsaet%_pre', set_output_steps_ECC]$(reduction gt 0.001)
=
-1000* sum(set_output_EV_xTot $(map_set_output_EV_xTot_2_set_output_steps_ECC(set_output_EV_xTot, set_output_steps_ECC)),
           output_EV_WYA_steps['%indsaet%', 'diff', set_output_EV_xTot, 'Samlet'])/reduction;
```

Kanalerne er Pris, Formue, Lon mm, Lumpsum, Andet, Fritid og kvoter: de samme, som EV-målet dekomponeres på i afsnit 3.4. Fritid er et gyldigt medlem af `set_output_EV_xTot`, men har ingen bidrag i dette stød. Bemærk, at opslaget bruger 'Samlet': det er GECC, der dekomponeres. En tilsvarende opdeling af DECC ville kræve 'Indland'.

6. Afrunding

Skyggeprisen afhænger af både velfærdseffekten og den tilhørende udledningsreduktion

Notatet har gennemgået beregningen af skyggeprisen i GrønREFORM fra den økonomiske velfærdseffekt til den endelige skyggepris.

Tre forhold er særligt vigtige.

For det første skal tæller og nævner beregnes for det samme marginale stød og diskonteres konsistent.

For det andet skal forskellen mellem modellens vækstkorrigerede økonomiske størrelser og de fysiske udledninger håndteres eksplicit. Udledningerne skal vækstkorrigeres, før de diskonteres.

For det tredje skal skyggeprisen fortolkes med de begrænsninger, der følger af EV-målet og af brøkens konstruktion. EV tager ikke højde for fordelingsvirkninger mellem husholdninger og medtager ikke nytten af offentligt forbrug. GECC og DECC kan afvige betydeligt, når en væsentlig del af velfærdseffekten tilfalder udlandet, og de kan i princippet have hvert sit fortegn. Ved standardstødet er tælleren desuden en næsten fuldstændig udligning mellem store, modsatrettede kanaler. Niveauet i kr. pr. ton er derfor numerisk følsomt og skal læses som en illustration af beregningsmetoden, jf. afsnit 5.5.

Den reducerede formel i afsnit 5.1 er et naturligt udgangspunkt for at efterregne modellens skyggepris uden for GAMS.

7. Referencer

Blanchard, O. J. (1985): Debt, Deficits, and Finite Horizons. *Journal of Political Economy*, 93(2), s. 223-247.

Thomas Nyvang Dalgaard (2023a): Dynamisk forbrugsbeslutning i GrønREFORM. Bestemmelsen af privatforbrug og formueudvikling med todelt forbrugsadfærd samt modelkonsistent velfærdsmål. Baggrundsnotat GrønREFORM. 27. marts 2023.

Thomas Nyvang Dalgaard (2023b): Velfærdseffekter ved drivhusgasbeskatning. Undersøgelse af produktions- og markedsforholds betydning i en simpel generel ligevægtsmodel. Baggrundsnotat GrønREFORM. 4. oktober 2023.²

Dorte Grinderslev og Thomas Nyvang Dalgaard (2026): Struktureffekter og skyggepris. Samfundsøkonomisk skyggepris for CO₂-reduktion ved struktureffekter. Notat. 5. maj 2026.

Jens Sand Kirk og Thomas Nyvang Dalgaard (2024): Et risikoscenarie for dansk klimapolitik. Beregninger på GrønREFORM for Nationalbanken. Baggrundsnotat GrønREFORM. 29. november 2024.

Rozenberg, J., Vogt-Schilb, A. og Hallegatte, S. (2020): Instrument choice and stranded assets in the transition to clean capital. *Journal of Environmental Economics and Management*, 100, 102183.

Peter Stephensen (2024): Velfærdsmål i GrønREFORM. Teknisk note GrønREFORM. 2. februar 2024.³

² [Velfærdseffekter ved drivhusgasbeskatning | DREAM](#)

³ [Velfærdsmål i GrønREFORM | DREAM](#)