LIBERTAS 87
APRIL
2025

# Klimapolitik

Klimapolitik: afgifter eller reguleret planøkonomi?
*Otto Brøns-Petersen*

Den klimaøkonomiske forskning: Kan resultaterne fra DICE guide klimapolitikken?
*Line Andersen*

Menneskelig trivsel og fremgang er afhængig af fossile brændstoffer
*Karl Iver Dahl-Madsen*

Energi som klimateknologi
*Martin Jul*

Lad os give kernekraften en renæssance
*Morten Sørensen*

Til klimasocialisterne i alle partier
*Martin Ågerup*

**Uden for tema**
Lysproducenternes henvendelse til Deputeretkammeret
*Frédéric Bastiat*

**Den synlige hånd**
Grundlag for en rationel klimapolitik
*Torben Mark Pedersen*

Tidsskriftet LIBERTAS udgives af selskabet Libertas

# LIBERTAS

**Tidsskriftet Libertas**
ISSN 0903-9341. © Libertas

Tidsskriftet Libertas, som udgives af selskabet Libertas, er et uafhængigt tidsskrift til fremme af studiet af fri markedsøkonomi og personlig frihed.

Tidsskriftet Libertas postomdeles til medlemmer.

Tidsskriftet er indekseret i Dansk Artikelindeks.

LIBERTAS udgives med støtte fra Kulturministeriet

Offentliggjort materiale – signeret eller usigneret – udtrykker ikke nødvendigvis redaktionens, udgiverens eller medlemmernes holdninger.

For indholdet hæfter alene forfatterne og redaktionen.

**Redaktion**
Torben Mark Pedersen (ansv.)
Johan J. R. Espersen
Otto Brøns-Petersen
Simon Gardner Mogensen
Hasna Eggers
Peter Kurrild-Klitgaard
Jens Lund Andersen

**Redaktionen kan kontaktes på:**
torbenmarkp@hotmail.com

# Indhold
# Tema: Klimapolitik

Temaindledning 3

Klimapolitik: Afgifter eller reguleret planøkonomi 5
*Otto Brøns-Petersen*

Den klimaøkonomiske forskning: Kan resultaterne fra DICE guide klimapolitikken? 12
*Line Andersen*

Menneskelig trivsel og fremgang er afhængig af fossile brændstoffer 24
*Karl Iver Dahl-Madsen*

Energi som klimateknologi 37
*Martin Jul*

Lad os give kernekraften en renæssance 50
*Morten Sørensen*

Til klimasocialisterne i alle partier 57
*Martin Ågerup*

**Uden for tema**

Lysproducenternes henvendelse til Deputeretkammeret 62
*Frédéric Bastiat*

**Den synlige hånd**

Grundlag for en rationel klimapolitik 68
*Torben Mark Pedersen*

# Temaindledning

Klimapolitikken er blevet en kampplads for den antikapitalistiske venstrefløj, og for kulturmarxister, der anskuer hele verden gennem en ideologisk prisme, der opdeler alt og alle i undertrykkere og undertrykte, er kampen for "climate justice" uadskillelig fra kampen for "Free Palestine", LGBTQ-rettigheder, BLM, imod patriarkatet, "white supremacy" og ulighed af enhver art.

Klimakampen har vist sig at være den mest succesrige af alle antikapitalistiske kampagner i forhold til at opnå en folkelig mobilisering. Også blandt danske borgerlige partier. Og klimapolitikken er blevet anvendt som dække for gennemførelsen af alverdens former for socialistiske politikker.

Det er formålet med dette temanummer at præsentere et liberalt alternativ til klimasocialismen. Eller bare et rationelt alternativ. Det er ofte det samme, og temanummeret indledes med en artikel af **Otto Brøns-Petersen**, der gør rede for, hvorfor den økonomisk optimale måde at reducere udledningen af klimagasser består i at pålægge al udledning en ensartet $CO_2$-afgift.

**Line Andersen** gennemgår den klimaøkonomiske forskning i modeller og rejser spørgsmålet, om de er anvendelige til at guide klimapolitikken?

**Karl Iver Dahl-Madsen** skriver om, at vi stadig er afhængige af fossile brændsler, og at vi vil fortsætte med at være det i en forudseelig fremtid. Og at det i øvrigt ikke er noget, vi skal beklage, for velstand og energiforbug følges ad. Der argumenteres for, at de økonomiske fordele ved fortsat at anvende fossile brændsler langt overstiger de negative effekter på langt sigt, at klimamodeller overvurderer de langsigtede klimaskader, fordi de overser, hvor billigt det er at reducere skadevirkningerne, og at omkostningerne ved at reducere $CO_2$-udslip undervurderes, fordi vi både i Danmark og i andre lande dobbeltregulerer, hvilket indebærer store velfærdsomkostninger.

**Martin Jul** skriver om energi som teknologi, og om hvordan nye teknologier kan åbne for nye muligheder ved som decentraliserende faktorer at tippe magtbalancen tilbage til borgerne og skabe nye økonomiske muligheder for selv de fattigste.

Kernekraft har været forbudt herhjemme siden 1985, men **Morten Sørensen** skriver om, at det vil være nødvendigt at inddrage kernekraft i mikset af energiteknologier, hvis man både vil have en $CO_2$-neutral elproduktion og en sikker energiforsyning året rundt.

I den afsluttende artikel i temaet giver **Martin Ågerup** en opsang til "klimasocialisterne i alle partier" - herunder de politikere i Venstre og Konservative, der bakker op om Parisaftalens politisk fastsatte reduktionsmål og forskellige former for dobbeltregulering såsom afgiftsfritagelse for elbiler.

I april i år indledte Præsident Trump en global handelskrig ved at hæve satsen på importtold, og han har argumenteret med, at det skulle bringe produktionsvirksomheder tilbage til USA. Det har motiveret til oversættelsen af den franske journalist og forfatter, **Frédéric Bastiat** satiriske artikel fra 1845, der foregiver at være en henvendelse fra lysproducenter til medlemmerne af Deputeretkammeret, hvori de kræver beskyttelse mod unfair konkurrence fra solen.

**Den synlige hånd** handler denne gang om, hvad der vil være en rationel klimapolitik for Danmark, givet at den danske udledning af klimagasser vil have en nærmest umålelig effekt på de globale gennemsnitstemperaturer i år 2100, uanset hvad vi gør. Den er skrevet af **Torben Mark Pedersen**, og der argumeneres for, at fordi gevinsterne for Danmark ved at reducere $CO_2$-udledningerne slet ikke står mål med omkostningerne, så vil det være rationelt for Danmark ikke at indføre en generel $CO_2$-afgift svarende til det, der ville være optimalt, hvis der blev indført en global $CO_2$-afgift men alene en afgift, der svarer til den begrænsede effekt på det globale klima, som en dansk reduktion

af $CO_2$-udledninger vil medføre.

God læselyst

På redaktionens vegne
Torben Mark Pedersen

Forrige nummer af *LIBERTAS* havde bl.a. som tema genfødslen af den østrigske økonomiske skole i USA fra 1974. Murray Rothbard spillede en hovedrolle i den proces, og året inden, i 1973, havde Rothbard udgivet sit libertarianske manifest, *For a new liberty*. Jonas Ejlersen har oversat dette klassiske værk af Rothbard, der nu med over 50 års forsinkelse er udkommet på dansk med titlen *Mod en ny frihed. Det libertarianske manifest*.

I den anledning har LIBERTAS arrangeret en **boglancering**, der finder sted tirsdag d. 17. juni kl. 17, se opslaget på side 65-66 i dette nummer for nærmere oplysninger

# Klimapolitik: afgifter eller reguleret planøkonomi?

Otto Brøns-Petersen

Den globale opvarmning, der forårsages af udledningen af drivhusgasser, er en eksternalitet. Det er en global eksternalitet, fordi den påvirker det globale klima, og det er en positiv eksternalitet for indbyggere i meget kolde lande, der vil opnå en økonomisk gevinst ved en stigende gennemsnitstemperatur, men en negativ eksternalitet for det flertal af jordens befolkning, der lever i varmere klimaer. Den økonomisk optimale måde at begrænse $CO_2$-udledningerne består i at pålægge al udledning af drivhusgasser en ensartet afgift svarende til den eksterne omkostning. Direkte reguleringer, der forbyder eller påbyder at anvende bestemte teknologier, vil uundgåeligt indebære højere samfundsøkonomiske omkostninger.

En avanceret økonomi kræver priser for at kunne fungere. Det er den eneste måde, vi indbyrdes kan koordinere vores individuelle beslutninger og sikre, at knappe ressourcer anvendes så effektivt som muligt.

Verden består af milliarder af mennesker, som hver især har planer, de ønsker at føre ud i livet. De har ressourcer – f.eks. deres arbejdskraft – som er knappe. Værdien af de knappe ressourcer kan forøges voldsomt, hvis vi handler indbyrdes i stedet for at være selvforsynende. Når vi specialiserer os i det, vi er relativt bedst til, og bytter indbyrdes, bliver resultatet for alle meget større. Det er grundlæggende den indsigt, moderne nationaløkonomi bygger på, og som ikke mindst Adam Smith (1776) beskrev. Udfordringen med arbejdsdeling er, at det kræver koordination. Når vi bytter indbyrdes, skal vi vide, hvad andre ønsker sig af vores ressourcer, og de skal vide, hvordan de bedst opfylder vores behov. Problemet forstørres markant, når specialiseringen indebærer meget lange kæder af bytter, som involverer mange mennesker, der hver yder et lille bidrag frem mod den endelige forbrugsvare.

Kalkulationsdebatten, som blev startet af Mises (1920), viste, at arbejdsdelingen og koordinationen kræver priser for at fungere. I en markedsøkonomi sker koordinationen helt spontant og decentralt, uden at nogen enkelt aktør har et samlet overblik eller styrer efter en plan. Det kan kun lade sig gøre ved hjælp af priser, som påpeget af Hayek (1945). Men også forsøg på at etablere en model for planøkonomi indebar anvendelsen af priser for at muliggøre koordination – en erkendelse gjort af ikke mindst Lange (1938).

I en markedsøkonomi har priser tre centrale funktioner. For det første giver de et signal om, hvordan andre værdsætter de ressourcer, den enkelte råder over. Hvis jeg beslutter mig for at spise et æg, skal jeg være villig til at betale prisen (selv hvis jeg har produceret ægget selv, mister jeg en indkomst svarende til prisen, hvis jeg spiser det i stedet for at sælge det). For det andet skaber priser et incitament til at allokere knappe ressourcer til deres mest værdsatte anvendelse. Når en virksomhed forsøger at maksimere sin profit, udfører den – som påpeget af Mises – en beregning, som netop sikrer allokeringen til den mest værdsatte anvendelse,

selv om det er en ren bivirkning af virksomhedens egeninteresse. Profitten er forskellen på salgsprovenuet og udgifterne. Salgsprovenuet er den værdi, som virksomhedens produktion har for kunderne. Udgifterne er den værdi, som virksomhedens input ville have haft for andre. Virksomheden har kun overskud, hvis dens brug af de knappe input overstiger, hvad inputtene havde været værd i andre anvendelser. Det er simpelt hen, hvad et overskud vil sige. For det tredje skaber priserne indkomst. Indkomstdannelsen er i en markedsøkonomi direkte forbundet med den enkeltes bidrag til at sikre effektiv ressourceudnyttelse. Derfor er det også vanskeligt at skille ressourceallokering og indkomstdannelse ad. Hvis den enkelte ikke får lov at beholde sin indkomst fra en transaktion, risikerer man at fjerne incitamentet til effektiv ressourceudnyttelse.

Prisdannelse i en markedsøkonomi udspringer spontant af privat ejendomsret. Det er fordi, hver enkelt aktør har den eksklusive ret til at udnytte eller bytte en ressource væk, at der opstår priser. Det er en indsigt, som ikke mindst ligger til grund for Ronald Coases teori om markedet (ikke mindst Coase (1960)). Hvis ressourcerne blev byttet direkte mod hinanden, ville priserne være bytteforholdet mellem to typer af varer eller ressourcer. Men i en pengeøkonomi vil priserne i stedet være målt i forhold til penge, og penge som transaktionsmiddel tillader meget mere komplekse kæder af transaktioner, uden at aktørerne behøver at engagere sig i dem alle sammen. Jeg kan bytte mig til et æg ved at sælge min arbejdskraft for penge og bytte pengene for æg. Men pengene ender med at aflønne alle dem, der direkte og indirekte (f.eks. ved at fremstille maskiner) har været med til at frembringe ægget. På samme måde er min løn, når jeg sælger min arbejdskraft, betaling for alle de forbrugsgoder, som min arbejdskraft i sidste ende bidrager til at skabe. Pointen er, at selv om transaktionerne bliver uendelig lettere af at anvende penge, så afspejler de stadig ressourcers knaphed og værdi på markedet, hvis de blev brugt til noget andet. Pointen er også, at det er ejendomsretten, som giver anledning til prisdannelsen. Så længe jeg f.eks. har den eksklusive ret til min arbejdskraft, kan jeg sælge den, hvis vel at mærke køberen så har den eksklusive ret til det, jeg skaber. Hvis ikke jeg havde retten, ville jeg ikke kunne sælge den, og hvis ikke køberen kunne beholde værdien, den skaber, ville der ikke være noget at købe. Det er den gensidige ejendomsret, som muliggør transaktionen, og byttet som helt naturligt frembringer en pris. Den er simpelt hen vilkåret, vi bytter til. Selv om min arbejdskraft ender med at indgå i utallige komplekse kæder af transaktioner, er hver enkelt transaktion et bytte mellem to parter, som udveksler ejendomsretstitler.

## Priser uden ejendomsret

Ejendomsret, markeder og priser er altså de grundpiller, som en markedsøkonomi hviler på. Det skaber en spontan orden, uden at nogen planlægger eller endog tilstræber den. Der opstår imidlertid et problem, hvis der er knappe ressourcer, som ikke er omfattet af eksklusiv ejendomsret. En planøkonomi med statslig ejendomsret over produktionsmidlerne skaber sine egne problemer. Der er også et problem, hvis der ikke er eksklusiv ejendomsret på markedet.

Hvis jeg ejer en ressource, men ikke kan håndhæve ejendomsretten fuldt ud, kan jeg heller ikke bytte den fulde værdi væk. Andre kan tage for sig af ressourcen, uden at skulle betale. Det medfører, at den bliver overudnyttet i forhold til markedstransaktioner med eksklusiv ejendomsret. Et berømt eksempel på overudnyttelse af en knap ressource er den såkaldte fælledens tragedie, Hardin (1968), Brøns-Petersen (2018). Det refererer til de fælleder – fælles græsarealer – som fandtes i bl.a. Danmark engang. Her satte bønderne f.eks. kvæg på græs sammen, men fordi ejendomsretten ikke var eksklusiv, førte det til overgræsning. Den enkelte bonde tog ikke hensyn til, at de andre bønder fik mindre græsning. Et tilsvarende eksempel er overfiskeri i en sø, som alle kan fiske i. Hvis søen var ejet af en enkelt ejer, ville der være et incitament til ikke at fange mere, end at fiskebestanden kunne regenereres.

Der er flere måder at løse et sådant problem med manglende, håndhævelig ejendomsret.

En tilsyneladende simpel løsning blev givet af Pigou (1932). I stedet for en markedspris kan

staten indføre en afgift svarende til, hvad markedsprisen ville have været på et normalt marked. På et normalt marked ville der ikke være en såkaldt eksternalitet – eller ekstern omkostning. Ved fiskeri i en sø, er den eksterne omkostning den skade, som den enkeltes fangst skaber for andre ved at nedbringe bestanden. I princippet skal Pigous afgift, også kaldet en Pigou-skat, svare til forskellen mellem den private og den sociale omkostning svarende til eksternaliteten (som også kan være positiv, således at Pigou-skatten skal være et tilskud).

Coase (1960) påpegede imidlertid en række grundlæggende problemer ved Pigous tilgang. Grundlæggende, fandt Coase, kan eksternalitetsproblemet føres tilbage til transaktionsomkostninger mellem parterne. Ellers ville det altid være en fordel for begge parter at forhandle en løsning på plads, som begrænser negative eksternaliteter til et efficient omfang (et vice versa ved positive)[1]. Med dette fokus er det relevant at se på institutionelle rammer, som minimerer transaktionsomkostningerne. En eksklusiv, håndhævelig ejendomsret er jo netop et eksempel på en sådan institution – og det er kun, når den ikke er mulig, at vi har et eksternalitetsproblem. Pigous løsning bygger på den implicitte forudsætning, at staten med beskatningen råder over en transaktionsomkostningsfri institution, men det er langt fra givet.

## Drivhusgasproblemet som global eksternalitet

Den globale opvarmning fra drivhusgasser kan anses som en negativ eksternalitet – i hvert fald efter det punkt, hvor opvarmningen har negative nettoeffekter. Der er tale om en global eksternalitet, fordi drivhusgasudledningerne optages i den globale atmosfære, uanset hvorfra udslippet stammer. Derimod er den eksterne omkostning meget forskellig fra sted til sted. Brøns-Petersen og Gjedsted (2020) finder en positiv effekt på BNP af højere lokale gennemsnitstemperatur op til 13 grader celsius og en negativ effekt derefter. Andre har fundet en lignende sammenhæng.

Den globale karakter af global opvarmning indebærer, at en Pigouskat er den mest realistiske, omkostningseffektive regulering. Det er vanskeligt at forestille sig andre institutionelle arrangementer, der kan foranledige f.eks. en forhandlingsløsning mellem udledere og udledningsramte.

Ideelt set burde alle lande opkræve en ensartet afgift på at udlede drivhusgasser svarende til den eksterne omkostning. Afgiften ville aflejre sig i alle priser svarende til drivhusgasudledningen forbundet med den enkelte vare eller økonomiske aktivitet. Ligesom priserne afspejler andre knapheder på arbejdskraft, råmateriale osv., ville de også afspejle den underliggende knaphed på at kunne udlede drivhusgasser[2]. Det ville - lige som andre prisændringer - sætte en omfattende prioritering og spontan global koordinering i gang. Grundlæggende ville der ikke blive udledt drivhusgasser, medmindre det bidrog til større værdiskabelse end skadesomkostningen. Det ville skabe incitament til at anvende alternativer med mindre udledning af drivhusgasser og til at udvikle sådanne alternativer. Tilskyndelsen ville være ens på tværs af alle de utallige marginer, som udledningerne kan reduceres på. Ideelt set ville den knappe kapacitet i atmosfæren blive koordineret og anvendt hensigtsmæssigt på samme måde som alle knappe goder, der er privat ejendom.

1 Et af hans eksempler illustrerer pointen. Antag at en ranchers kvæg en gang i mellem undslipper og spiser af kornet på naboens mark. Hvis det koster mindre at ordne hegnet end kvæget ødelægger, og rancheren er erstatningspligtig, vil han fikse hegnet. Men hvis han ikke er erstatningspligtig, kan det betale sig for naboen at betale for at få fikset hegnet i stedet for at miste korn. I fravær af transaktionsomkostninger vil de nå den efficiente løsning – at hegnet bliver fikset – så længe der er en klar rettighedsfordeling. Det samme gælder, hvis det er dyrere at fikse hegnet end tabet af korn. Selv hvis rancheren er erstatningspligtig, vil han vælge at kompensere naboen frem for at fikse hegnet. Forhandlingsløsningen er altid efficient, medmindre der er omkostninger ved at indgå en aftale.

2 Atmosfæren er ikke i sig selv et knapt gode, men dens kapacitet til at optage drivhusgasser uden at forårsage klimaforandringer er begrænset.

## Alternativet til $CO_2$-pris[3] er planøkonomi

Det er vigtigt at sammenligne koordinering gennem prismekanismen med alternativet. Alternativet kan være en klimapolitik baseret på tilskud til mindre drivhusgasintensiv teknologi eller i direkte regulering, såkaldt "command-and-control". Begge dele er markant mindre omkostningseffektivt og væsentligt mere indgribende end en $CO_2$-afgift.

Et subsidiesystem kan vanskeligt udformes, så det er teknologineutralt. Det indebærer derfor næsten uvægerligt en politisk favorisering af bestemte teknologier. Det er risikabelt, fordi de politiske myndigheder hverken har information eller incitamenter til at udpege de rigtige teknologier. Inden for kort tid er adskillige grønne teknologier gået fra at være hypede til at møde formidable udfordringer. Ofte drejer usikkerheden sig ikke om teknologien i sig selv, men om omkostningerne ved den. Men selv hvis subsidier er teknologineutrale, indebærer de en væsentlig større samfundsøkonomisk omkostning end en afgift. Det skyldes for det første, at subsidier, i modsætning til afgifter, ikke virker på samtlige reduktionsmarginer, se f.eks. Brøns-Petersen (2020), hvor det vises, at sådanne subsidier som tommelfingerregel har dobbelt så høje samfundsøkonomiske omkostninger som en $CO_2$-pris. For det andet kan subsidier medføre såkaldt "rebound". Det vil sige, at mens der udledes færre drivhusgasser per enhed, vil subsidierne til gengæld medføre flere enheder. Denne effekt var meget tydelig, da man i Danmark omlagde bilafgifterne til at begunstige energieffektive, små biler. Det udløste en eksplosion i salget af disse biler.

Direkte regulering er planøkonomi og endda planøkonomi uden brug af priser. Det kan f.eks. være krav om, at bilmotorer i gennemsnit ikke må udlede mere end en bestemt mængde $CO_2$, at der skal iblandes biobrændstoffer i benzin og diesel, at energieffektiviteten i f.eks. bygninger skal stige med et arbitrært tal eller at en bestemt teknologi ikke må bruges. Direkte reguleringer vil næsten altid indebære, at der politisk fastlægges en bestemt mængdemæssig grænse, hvilket nødvendigvis indebærer, at omkostningerne er ubestemte og kan blive i princippet uendeligt høje. Hvis en teknologi ikke må bruges, kan det medføre meget store omkostninger, hvis den nødvendigvis skal erstattes med mere drivhusgasvenlige alternativer. Det blev f.eks. beregnet, at et mål om 1 million grønne biler i 2030 kunne koste 11,2 mia. kr. om året i samfundsøkonomisk tab, mens et decideret forbud mod salg af ikke-grønne biler efter 2030 ville indebære en samfundsøkonomisk omkostning på i gennemsnit 17,8 mia. kr. om året i perioden 2031-50, Brøns-Petersen og Gjedsted (2019a; 2019b).

Samtidig med, at subsidier og direkte regulering indebærer væsentligt større samfundsøkonomiske omkostninger og er meget mere indgribende, øger de også risikoen for, at beslutningsprocessen bliver fordrejet af særinteresser og lobbyisme. Ved en $CO_2$-pris er der en ensartet tilskyndelse til at reducere drivhusgasudledningen. Ved arbitrære subsidier og regulering er systemet fordrejet fra starten af.

Der vil kunne opstå virksomheder, hvis fortsatte eksistens kræver fortsatte indgreb og som derfor vil have en meget stærk tilskyndelse til at lobbye for at fastholde eller udvide deres særlige begunstigelse. Det er derimod langt vanskeligere med rentabel lobbyisme for en generel forhøjelse af en ensartet $CO_2$-pris, som også kommer andre teknologier og virksomheder til gode helt generelt.

Ved en $CO_2$-pris er der naturligvis også en risiko for, at lobbyisme kan føre til uensartede priser for at begunstige specielle hensyn. Det er dog langt mere påfaldende end ved subsidier og regulering, som af natur er arbitrære.

## $CO_2$-pris er også bedst til arbitrære mål

Hverken subsidier eller direkte regulering kan sikre, at udledningerne reduceres til det punkt, hvor reduktionsomkostningen svarer til den eksterne omkostning[4]. Dermed er de ueg-

3 Jeg vælger at tale om $CO_2$, selv om der måske rettelig burde stå "$CO_2$-ækvivalenter" mange steder, fordi der er andre drivhusgasser end $CO_2$. Det har jeg for nemheds skyld set stort på denne gang.

4 Et tilskudssystem kan dog udformes, så tilskuddet afvikles i takt med den eksterne omkostning, hvilket også kan opnå den samme balance, men tilskudssystemet skal i så fald udformes, så det i virkeligheden svarer til en $CO_2$-pris, blot hvor der ydes et fast grundbeløb til hver skatteyder: Hvor

nede til at gennemføre det, der er den egentlige begrundelse for at intervenere i første omgang.

Men selv i de tilfælde, hvor den politiske intervention ikke er motiveret med at opnå den samfundsøkonomisk velbegrundede balance mellem reduktionsomkostninger og skadesomkostninger, er en $CO_2$-pris det mest omkostningseffektive redskab til at opnå en given arbitrær målsætning.

I det internationale aftalesystem er man desværre ikke nået så langt, at samtlige deltagere forpligter sig til at opkræve en $CO_2$-pris svarende til eksternaliteten. I stedet har hvert land (eller for EU-landenes vedkommende: EU samlet) forpligtet sig til en bestemt mængdemæssig reduktion (i EU en reduktion på 55 pct. i 2030 i forhold til 1990). Uanset hvad målet er, er det omkostningseffektivt at bruge prismekanismen til det. I EU-prissættes $CO_2$ blandt andet gennem et kvotesystem, som sætter en øvre grænse for udledningerne – antallet af nye kvoter falder år for år, men kan gemmes til senere[5]. Prisen på kvoter bestemmes af efterspørgslen efter den givne mængde kvoter (dog forstyrret af en såkaldt markedsstabiliseringsreserve). Kvotesystemet sikrer lige som en fast $CO_2$-pris, at der gennemføres de reduktioner, som er billigst, på tværs af sektorer, lande og teknologier, men ikke svarende til den eksterne skadevirkning af $CO_2$ (den aktuelle kvotepris på godt 500 kr./ton ligger dog inden for den skønnede skadesomkostning, jf. Andersen (2025)).

Også til ret arbitrære mål, som ikke i sig selv er meningsfyldte – så som det isolerede danske 70 pct. mål[6] – er det mest hensigtsmæssige *redskab* en ensartet pris på alle udledninger omfattet af målet. Det afhænger altså ikke af, om målet i sig selv er hensigtsmæssigt eller unødigt omkostningsfyldt. En $CO_2$-pris minimerer omkostningen, givet målet. Det er altså ikke en forudsætning for en $CO_2$-pris, at der indføres en ensartet global pris svarende til den eksterne omkostning. Men det er selvsagt en forudsætning for en samfundsøkonomisk optimal prissætning.

## Nulalternativet

Det følger ikke dermed, at enhver $CO_2$-pris er bedre end ingen. Tværtimod kan den samfundsøkonomiske omkostning sagtens komme til at overstige den samfundsøkonomiske gevinst ved mindre klimaforandring. Det gælder ikke mindst for ikke-omkostningseffektiv klimapolitik i form af tilskud og regulering, som for en given klimagevinst nødvendigvis indebærer større samfundsøkonomiske omkostninger end en $CO_2$-pris.

En klimaafgift kan dog også tænkes at være med til at blokere for, at der i stedet indføres ineffektiv regulering. Det gælder navnlig for lande, som har forpligtet sig til at nedbringe deres udledninger. Danmark har f.eks. besluttet at indføre en $CO_2$e-pris i landbruget, og uden denne beslutning ville der formentlig have været indført en vidtgående regulering i stedet (landbruget fylder så meget i det danske udledningsregnskab, at de politisk bestemte klimamål ikke realistisk kunne opfyldes uden at inddrage landbrugets udledninger, se Brøns-Petersen (2023)).

En klimapris kan på den måde ses som en slags forsikringspræmie mod politiske indgreb med langt større forvridningsomkostninger (parallelt til Nordhaus (2013) syn på klimapris som en forsikring mod uventede store klimaforandringer).

Omvendt kan en fælledens tragedie-situation mellem lande tale for, at hvert land bør vælge en meget begrænset indsats – præcist som det gælder for individer i en fælledens tragedie-situation. Som udgangspunkt har det enkelte land kun interesse i at begrænse drivhusgasudledningerne i den udstrækning, omkostningerne ikke overstiger de lokale skader.

Danmark tegner sig f.eks. kun for knap 0,4 pct. af det globale BNP. Hvis det (urealistisk)

en afgift beregnes som tC, beregnes tilskuddet i et sådant tilskudssystem som T-tC, hvor t er en $CO_2$-pris, C er drivhusgasudledningen og T er et fast tilskud.

5 Kvotesystemet omfatter endnu ikke alle udledninger, men dem fra industri, fly og kraftværker. Fra 2027 oprettes et kvotesystem for landtransport og opvarmning. EU har ansvaret for at begrænse udledningerne i den nuværende kvotesektor, mens resten bliver overladt til medlemslandene gennem en såkaldt byrdefordelingsaftale.

6 Målet går ud på at reducere samtlige udledninger fra dansk territorium, inkl. dem omfattet af EU's kvotesystem, med 70 pct. i 2030 i forhold til 1990.

antages, at klimaomkostningerne fordeler sig jævnt på verdens lande efter BNP, vil der altså ved en global skadesomkostning på f.eks. 750 kr./ton $CO_2$e være en lokal skadesomkostning på 3 kr. Reduktioner i Danmark vil endda medføre en vis lækage[7]. Antages f.eks. en lækage på en tredjedel, taler det isoleret set for en CO2-pris på 2 kr./ton i Danmark.

## Hvordan inspireres andre?

Det centrale spørgsmål er derfor, i hvor høj grad tilstanden mellem verdens lande kan karakteriseres ved en ikke-kooperativ ligevægt i et fælledens tragedie-spil. Hverken for individer eller lande er det givet, at der ikke kan samarbejdes i fælledens tragedie-situationer, hvis der er tale om et gentagent spil, hvor de enkelte personer eller lande kan reagere på hinandens adfærd, se f.eks. Ostrom (2015) og Axelrod (2006). Parisaftalen kan muligvis ses som en kooperativ ligevægt. Selv om intet tyder på, at landenes vil nå de formelle mål om en temperaturstigning på 1½-2 grader Celsius i 2100, indebærer de selvstændigt påtagne nationale forpligtelser en begrænsning af temperaturstigningen til 2-3 grader, hvilket omtrent svarer til den klimaøkonomisk optimale stigning, Andersen (2025). Den optimale stigning er det punkt, hvor de marginale klimaskader indhenter de marginale reduktionsomkostninger, hvilket, som det ses, er over det erklærede klimamål fra Parisaftalen.

Det kan altså ikke udelukkes, at der kan opretholdes en kooperativ ligevægt, som sikrer en noget nær optimal temperaturstigning. Optimalitet kræver dog også, at landene implementerer de billigste reduktioner, hvilket – som vi har set – kræver en klimapris.

Det kan tale for, at kooperativt indstillede lande først og fremmest fokuserer på at implementere sine klimamål så omkostningseffektivt som muligt, og at de vælger klimamål med henblik på, hvordan andre reagerer.

*Ubetingede* reduktionsmål vil som udgangspunkt føre til *mindre* reduktioner i andre lande, fordi det reducerer omkostningerne ved andre landes udledninger – deraf lækageeffekten. For et land som Danmark, der er medlem af EU, vil reduktioner ud over vore forpligtelser i EU som udgangspunkt føre til fuld lækage. Især reduktioner inden for kvotesystemet fører på sigt automatisk til fuld lækage, fordi der er en given mængde kvoter. Men også uden for kvotesystemet fører ekstra reduktioner til fuld lækage, fordi EU har et samlet reduktionsmål. Frivillige ekstra reduktioner i ikke-kvotesektoren gør det muligt at nå det samlede EU-mål med færre reduktioner i andre lande, se dog Brøns-Petersen (2022).

Et spilteoretisk grundresultat om mulighederne for en kooperativ ligevægt i et gentagent fangernes dilemma-spil er, at samarbejde kræver strategier, som reagerer på, om andre spillere også samarbejder. Ubetingede reduktioner vil derfor sandsynligvis ikke føre til tilsvarende reaktioner hos andre, snarere tværtimod. Det er da faktisk også et af de få resultater af COP-15-mødet i København – som mest er kendt for, at der ikke kom en bindende aftale om samlet global reduktion – at der rent faktisk blev indgået en aftale om betingede reduktioner, sådan at bl.a. Danmark vil reducere yderligere, hvis også andre lande gør mere.

Derimod er det ikke særlig sandsynligt, at en dansk strategi om a være ubetinget "foregangsland" vil få positive resultater. For det første er isolerede danske klimamål som 70 pct.-målet ikke betingede. For det andet har vi tværtimod eksponeret os for en betydelig lækagerisiko. For det tredje er den danske klimapolitik fortsat ikke omkostningseffektiv og indebærer meget dyre reduktioner, især på transportområdet. Det vil måske imponere andre, at vi er ret villige til at påtage os store omkostninger, men næppe inspirere dem til at gøre det samme.

## Brug prisen uanset hvad

Der er et argument for at prissætte eksternaliteter. Prisen skal i princippet svare til den eksterne omkostning. Det indebærer dog både tekniske problemer at fastsætte eksternaliteten, og beslutningen skal træffes i et politisk system, som selv er behæftet med store eksternalitetsproblemer, Brøns-Petersen (2018). Til gengæld gælder det *uanset* valget af klimamålsætning, at en ensartet $CO_2$-pris uden sammenligning

7 Lækage vil sige, at reduktioner i ét land (eller sektor), udløser udledninger i andre lande (sektorer).

er den mest omkostningseffektive måde at nå det på. Prissystemet er nødvendigt for effektiv koordination i komplekse økonomiske systemer, og de planøkonomiske alternativer løser opgaven meget mindre effektivt.

## Litteratur


Andersen, Line (2025): "Den klimaøkonomiske forskning: Kan resultaterne fra DICE guide klimapolitikken?" *LIBERTAS* nr. 87, 12-23.

Axelrod, Robert M. (2006): *The Evolution of Cooperation*. Rev. ed. New York, NY: Basic Books.

Brøns-Petersen, Otto (2018): "Markedsfejl og statsfejl". *LIBERTAS* nr. 67, 8-17. *Cepos arbejdspapir*. https://cepos.dk/media/1460/arbejdspapir_59_markedsfejl-og-statsfejl-endelig.pdf.

Brøns-Petersen, Otto (2020): "Omkostningseffektiv udmøntning af de politiske klimamål". *Cepos analysenotat*.

Brøns-Petersen, Otto (2022): "Tvivlsomt om 70 pct. klimamålet opfylder Danmarks nye EU-krav eller nedbringer EU's udledning af drivhusgas". *Cepos analysenotat*, november.

Brøns-Petersen, Otto (2023): "Sådan bør landbrugets drivhusgasser håndteres". *Cepos analysenotat*, august.

Brøns-Petersen, Otto, og Søren Havn Gjedsted (2019a): "Hvad vil regeringens plan for grønne biler koste?" *CEPOS Analysenotat*.

Brøns-Petersen, Otto, og Søren Havn Gjedsted (2019b): "Radikale Venstres forslag om grønne biler giver stort samfundsøkonomisk tab og beskedent bidrag til klimamål." .

Brøns-Petersen, Otto, og Søren Havn Gjedsted (2020): "Climate Change and Institutional Change: What Is the Relative Importance for Economic Performance?" *Environmental Economics and Policy Studies*, November

Coase, R. H. (1960): "The Problem of Social Cost". *The Journal of Law and Economics* 3:1, 44.

Hardin, Garrett (1968): "The Tragedy of the Commons". *Science* 162 (3859): 1243–48.

Hayek, F. A. (1945): "The Use of Knowledge in Society". *American Economic Review* 1945.

Lange, Oskar, Benjamin E. Lippincott, og F. Taylor (1938): *On the Economic Theory of Socialism*. Government Control of the Economic Order, v. 2. Minneapolis, Minn: University of Minnesota Press.

Mises, Ludwig Von. (1920): *Economic Calculation in the Socialist Commonwealth*.

Nordhaus, William. 2013. *The Climate Casino: Risk, Uncertainty, and Economics for a Warming World*. Yale University Press.

Ostrom, Elinor (2015): *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. Canto Classics. Cambridge: Cambridge University Press.

Pigou, A. C. (2002): *The economics of welfare*. Classics in Economic Series. New Brunswick, NJ: Transaction Pub.

Smith, Adam (1776): *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*.

# Den klimaøkonomiske forskning: Kan resultaterne fra DICE guide klimapolitikken?

Line Andersen*

Det indledende arbejde med at estimere en samfundsmæssig optimal $CO_2$e-pris startede i 1970'erne, og i 1992 blev den første klimaøkonomiske model, Dynamic Integrated Climate-Economy (DICE), introduceret af William D. Nordhaus. Modellen har blandt andet til formål at estimere en optimal $CO_2$e-pris. Modeller som DICE har mødt en del kritik, blandt andet for ikke at beskrive klimasystemet og risikoen for såkaldte vippepunkter tilstrækkeligt. Modellerne er dog løbende blevet revideret, og DICE-2023 er den seneste version, hvor blandt andet klimasystemet og modellering af vippepunkter er blevet opdateret. Med DICE-2023 estimeres den optimale $CO_2$e-pris til 450-1.100 kr./ton $CO_2$e. På trods af usikkerheder i modellens resultater kan modeller som DICE være nyttige til at guide klimapolitikken, da resultaterne giver en indikation af, om klimapolitikken står mål med de globale skadevirkninger.

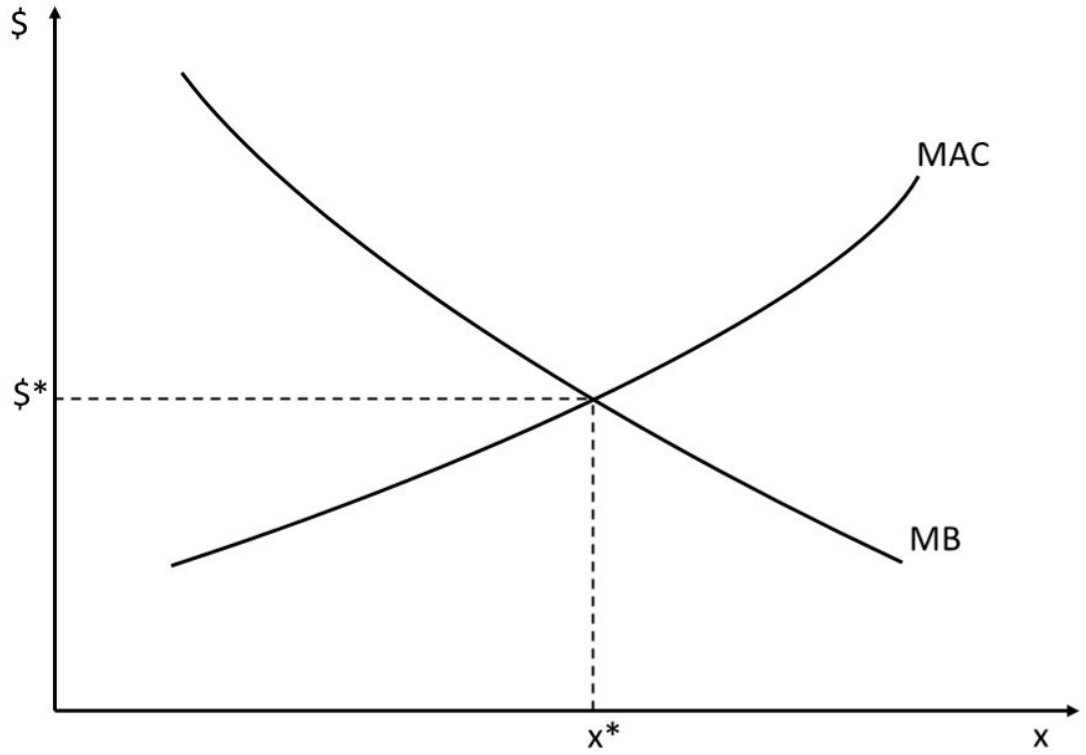
Hvordan en omkostningseffektiv klimapolitik opnås, findes der et kort og simpelt svar på: Det kræver en ensartet $CO_2$e-pris på tværs af geografi, sektorer og anvendelse svarende til den globale skadevirkning på marginalen. Denne indsigt bygger på, at en negativ eksternalitet leder til suboptimale velfærdsniveauer, fordi den enkelte forurener ikke i tilstrækkelig grad tager højde for de skadevirkninger, som udledning af drivhusgasser medfører. En $CO_2$e-pris svarende til skadevirkningen på marginalen kan dermed i teorien bruges til at øge den samlede velfærd i samfundet, da den eksterne skadevirkning internaliseres i forurenerens beslutning. Hvorfor en $CO_2$e-pris vil være mest effektiv er beskrevet i Brøns-Petersen (2025).

Konklusionen har rødder helt tilbage til Pigou (1920). Figur 1 illustrerer den grundlæggende logik bag. Niveauet for reduktion af drivhusgasser er på x-aksen, mens prisen på udledninger er på y-aksen. MAC er de marginale reduktionsomkostninger ved drivhusgasudledninger, mens MB er de marginale gevinster ved drivhusgasreduktioner. Det optimale niveau for udledningskontrol findes, hvor MAC=MB. Her er den optimale $CO_2$e-pris, i en markedsøkonomi uden andre markedsfejl, betegnet $* i figur 1.

Hvad niveauet for en sådan $CO_2$e-pris i praksis bør være, er derimod langt mindre simpelt at give et svar på. Arbejdet med at estimere en $CO_2$e-pris begyndte allerede tilbage i 1970'erne. På det tidspunkt var der blandt forskere inden for naturvidenskaben et stigende fokus på sammenhængen mellem afbrænding af fossile brændstoffer og global opvarmning, som kunne medføre en række skader. I den for-

*Økonom hos CEPOS, cand. oecon. agro fra Københavns Universitet 2023

Figur 1. Det socialt optimale niveau for drivhusgasudledningskontrol




Kilde: Egen illustration baseret på Hanley, N., Shogren, J. F., & White, B. (2007)

bindelse påbegyndte William D. Nordhaus sit omfattende arbejde med at modellere samspillet mellem økonomien og klimaforandringer. Dette arbejde har vist sig så betydningsfuldt, at det i 2018 førte til, at Nordhaus hædredes med Nobelprisen i økonomi, Nobel Prize Outreach AB (2018).

I 1990'erne introducerede Nordhaus som den første en integrated assessment model (IAM), der kobler naturvidenskabelige og økonomiske indsigter. En IAM beskriver det komplekse globale samspil mellem økonomien og klimaet. Således blev DICE-modellen (Dynamic Integrated Climate-Economy) introduceret i Nordhaus (1992). Sidenhen er en bred vifte af IAMs anvendt til at forstå samspillet mellem samfundet og eksempelvis klimaets udvikling.

## Den grundlæggende logik i Integrated Assessment Models

Den grundlæggende logik i IAMs er, at drivhusgasudledninger fører til højere koncentration af drivhusgasser i atmosfæren, som igen medfører global opvarmning, hvilket resulterer i økonomiske skader. IAMs har rødder i Robert Solows vækstmodel[1]. En klimaøkonomisk IAM muliggør, at klimaforandringer og den samlede økonomi kan analyseres ud fra et cost-benefit perspektiv, Nobel Prize Outreach AB (2018).

Der findes en række IAMs, herunder DICE, FUND (The Climate Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution) og PAGE (Policy Analysis of Greenhouse Effect) m.fl. IAMs kan opdeles i to klasser: politikoptimerings- og politikevalueringsmodeller. DICE er primært designet til politikoptimering, men kan også anvendes som politikevalueringsmodel, Barrage og Nordhaus (2024).

DICE-modellen integrerer økonomien og klimasystemet. Verdensøkonomien er repræsenteret gennem en klassisk Ramsey-model, hvor væksten i BNP per capita drives af eks-

1 Solows vækstmodel beskriver såvel den langsigtede vækst i en økonomi som tilpasningen til det lange sigt. Den langsigtede vækst i BNP per capita er bestemt af en udefra givet produktivitetsvækst.

terne teknologiske fremskridt, der løbende øger totalfaktorproduktiviteten. Klimasystemet er modelleret med det formål, at den i en forenklet form søger at efterligne resultaterne fra store, detaljerede klimamodeller, Sørensen (2018). Det betyder, at IAMs forsøger at beskrive sammenhængen mellem udledninger og klimaforandringer, uden at skulle inkludere alle detaljer fra de store klimamodeller, Nordhaus (2013). Uden denne simplificering, ville det være stort set umuligt at bruge modellerne til politikanalyse ved at beregne optimale og alternative scenarier. Ikke desto mindre understreger Nordhaus, at man bør undgå simplificeringer, der fører til uhensigtsmæssige konklusioner, Nobel Prize Outreach AB (2018).

DICE-modellen indeholder to væsentlige omkostningsfunktioner. Den første er reduktionsomkostningsfunktionen, hvor de marginale omkostninger ved at reducere $CO_2$e-udledningen per produceret enhed stiger, jo større indsatsen er. Den anden er skadeomkostningsfunktionen, som angiver omfanget af skader, omregnet til andel af det globale output, der går tabt, som følge af de skader, klimaforandringer forårsager, Sørensen (2018).

Med en IAM, som DICE, undersøges, hvad den cost-benefit-optimale temperaturstigning vil være. Det gøres ved at beregne, hvilken temperaturmålsætning der minimerer den diskonterede sum af reduktionsinvesteringer og skader fra klimaforandringer. Det svarer til at vælge en politik, der maksimerer nettofordelene, Nordhaus (2013).

*Økonomiske skader som følge af klimaforandringer*

Økonomiske skader som følge af klimaforandringer dækker over både markedsmæssige og ikke-markedsmæssige klimaskader og omregnes til andelen af globalt output. Markedsmæssige klimaskader dækker over en række sektorer, herunder eksempelvis landbrug, skovbrug og fiskeri. Her undersøges ændringer i udbytte fra afgrøder samt ændringer i fiskebestanden som følge af klimaforandringer. Derudover estimeres det, hvordan kystzoner påvirkes af stigninger i havniveauet og skader fra stigninger i hyppigheden af højintensive orkaner mm., Dellink m.fl. (2019). Ikke-markedsmæssige klimaskader dækker blandt andet over områder som sundhed og biodiversitet. Eksempelvis dækker Dellink m.fl. (2019) effekter, som ændringer i dødelighed og sygelighed ved klimarelaterede sygdomme.

Ifølge Hassler m.fl. (2024) er der to nyere metastudier, der opsamler resultater fra studier, der aggregerer klimaøkonomiske skader. Det er af Howard og Sterner (2017) og af Nordhaus og Moffat (2017)[2]. Skadesfunktionen fra Nordhaus og Moffat (2017) er senere blevet opdateret i Barrage og Nordhaus (2024).

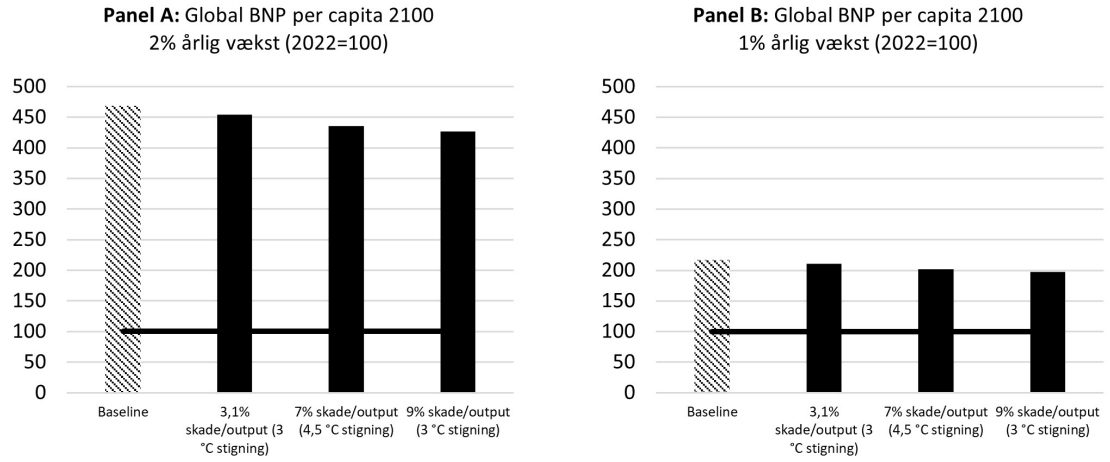
Der er et stort overlap mellem de studier, der anvendes i de to metastudier. Alligevel er der betydelig forskel på det estimerede niveau af klimaskader ved temperaturstigninger. Howard og Sterner (2017) introducerer en række specifikationer til at undersøge sammenhængen mellem temperaturstigninger og klimaskader. Barrage og Nordhaus (2024) vurderer, at et rimeligt mellemestimat for Howard og Sterners (2017) foretrukne estimater er, at en temperaturstigning på 3 °C medfører skadesomkostninger svarende til 9 pct. af globalt output[3]. Til sammenligning anvendes i Barrage og Nordhaus (2024) en skadesfunktion, der estimerer, at en temperaturstigning på hhv. 3 °C og 4,5 °C medfører skadevirkninger svarende til 3,1 pct. og 7,0 pct. af globalt output.

Howard og Sterner (2022) har undersøgt, hvad der driver forskellene mellem Howard og Sterner (2017) og Nordhaus og Moffat (2017). Howard og Sterner (2022) finder, at forskellene stammer fra forskelle i metodiske og subjektive beslutninger. Hvilken skadesfunktion, der er

2 Nordhaus og Moffat (2017) kalder dog selv deres studie for et Non-Systematic Research Summary, da de stiller strenge krav til definitionen af et metastudie. Studiet omtales dog alligevel som et metastudie, jf. Hassler m.fl. (2024).

3 Howard og Sterner (2017) skriver (globalt) BNP. Nordhaus og Moffat (2017) bemærker, at resultater relateret til skadevirkninger som følge af klimaforandringer ofte beskrives som "effekt på globalt BNP". Dette er dog misvisende, da begrebet for skader adskiller sig fra et standard BNP-mål. Det skyldes, at de fleste skadesestimater også omfatter ikke-markedsmæssig produktion og at nogle outputestimater bruger forbrugsækvivalenten af nytteværdi som outputestimat. Derfor henvises der her til globalt output.

Figur 2. Velstandsniveauet i år 2100 under forskellige vækstscenarier og klimaskader




Kilde: Egne beregninger baseret på World Bank og med mindre bearbejdning af Our World in Data (2023), Howard og Sterner (2017) samt Barrage og Nordhaus (2024).

mest retvisende, ligger uden for denne artikels rammer.

Selvom skadesomkostningerne estimeres til at være tre gange højere i Howard og Sterner (2017) end i Barrage og Nordhaus (2024), illustrerer figur 2, at det, der har størst betydning for velstandsniveauet i år 2100, er vækstraten per capita fremfor niveauet for skadesomkostninger i hhv. Howard og Sterner (2017) og Barrage og Nordhaus (2024) (panel A vs. panel B).

De stribede søjler (baseline) i figur 2 illustrerer, hvad velstandsniveauet i år 2100 ville være under de angivne vækstforudsætninger, hvis klimaforandringer ikke havde indflydelse på velstandsniveauet. Selvom det ikke er realistisk, tjener søjlen det formål at illustrere, i hvilket omfang klimaforandringer ventes at påvirke velstandsniveauet. Den horisontale linje indikerer velstandsniveauet i dag (2022-BNP per capita). Figur 2 illustrerer, at velstandsniveauet i år 2100 vil være markant højere end i dag, også med klimaforandringer (Panel A og B) og selv meget lave vækstrater (panel B).

*Reduktionsomkostninger for at begrænse temperaturstigninger*

Hvert ton $CO_2e$, der skal reduceres, kommer med en omkostning (MAC i figur 1). Omkostningerne består i, at samfundet skal begrænse drivhusgasintensive aktiviteter, producere varer og tjenester med lav eller ingen klimabelastning samt fjerne allerede udledte drivhusgasser fra atmosfæren, Nordhaus (2013).

Opgørelsen af reduktionsomkostninger bygger blandt andet på skøn for omkostningerne ved et sæt teknologier, som sol- eller vindenergi, sikker atomkraft eller en endnu ikke opdaget kilde, der fuldt kan erstatte alle fossile brændstoffer – en såkaldt 'backstop-teknologi'. Omkostningerne ved backstop-teknologien antages at være høj på kort sigt, men faldende over tid som følge af teknologisk udvikling, Barrage og Nordhaus (2024). I Barrage og Nordhaus (2024) antages det, at omkostningerne til backstop-teknologien falder med 1 pct. om året fra 2020 til 2050 og 0,1 pct. om året derefter. I DICE modelleres reduktionsomkostningerne, så de marginale reduktionsomkostninger ved en kontrolrate[4] på 100 pct. er lig med backstop prisen (ibid.).

*Social Cost of Carbon*

Når man har stier for økonomiske skader samt reduktionsomkostninger ved at begrænse temperaturstigninger, er det muligt at beregne the Social Cost of Carbon (SCC) som er et udtryk for den diskonterede værdi af en ændring i forbrug forårsaget af udledning af et ekstra ton $CO_2e$. I fraværet af øvrige markedsfejl vil SCC svare til Pigouskatten: den optimale pris

4 Med kontrolraten menes andel af emissioner undgået.

på drivhusgasudledninger (MAC=MB i figur 1). Derfor er SCC et nøglebegreb inden for klimaøkonomi, da den beskriver den cost-benefit optimale $CO_2$e-pris ud fra et globalt velfærdsperspektiv. Alternativt kan SCC også beregnes for politisk besluttede scenarier, som eksempelvis en målsætning om, at den globale temperaturstigning ikke må overstige 2 °C.

Estimater for SCC er som regel stigende over tid. Ligesom prisen på andre udtømmelige naturressourcer, som begrænset plads i atmosfæren er, skal SCC vokse med renten, for at nutidsværdien er konstant over tid. Dermed opnås en optimal allokering af udledninger over tid.

Resultaterne fra DICE-modellen, herunder cost-benefit optimale temperaturstigninger og estimater for SCC, er under antagelse om en effektiv implementering af en $CO_2$e-afgift og fuld deltagelse fra alle lande. Ifølge Nordhaus (2018b) vil realistiske antagelser om politikker og deltagelse derimod øge omkostningen ved grøn omstilling betydeligt. Eksempelvis illustrerer Nordhaus (2013), at ved lavere deltagelsesrater vil det omkostningsminimerende temperaturmål være højere end under fuld deltagelse.

## Kritik og udvikling af Integrated Assessment Models

Siden den første DICE-model blev introduceret i 1992 har modellen gennengået en lang række revisioner, Nordhaus (2017). På tidspunktet for tildelingen af Nobelprisen til Nordhaus i 2018 var den nyeste kalibrering af DICE-modellen DICE-2016R2. I standardkalibreringen var SCC estimeret til $30 per ton $CO_2$e for udledninger i 2015 (2010-priser), svarende til omtrent 200 kr. i 2024-priser. I denne standardkalibrering ville det være optimalt at acceptere en stigning i den globale gennemsnitstemperatur på 4,1 °C frem mod år 2100, Nordhaus (2018a)[5].

Der har igennem tiden været rejst en del kritik af DICE-modellen. Pindyck (2013;2017) har været en skarp kritiker af IAMs, som DICE-modellen, ved grundlæggende at argumentere for, at IAMs er ubrugelige som værktøjer til politisk analyse. Kritikken går blandt andet på, at diskonteringsrenten er vilkårlig, da økonomer ikke er enige om niveauet for denne, men at den har meget stor indflydelse på modellens estimater for SCC, at der er usikkerhed om klimasensitiviteten, dvs. hvor meget temperaturen stiger som følge af en fordobling af koncentrationen af $CO_2$e i atmosfæren, at skadesfunktionen skulle være arbitrært udledt, da der ikke findes teori og data, den kan udledes fra, og at IAMs ikke kan sige noget om sandsynligheden eller den forventede effekt af eksempelvis meget høje temperaturstigninger. Samlet set kritiserer Pindyck, at IAM-baserede analyser oversælger validiteten af modellerne, som kan betyde, at beslutningstagere misledes.

*Hvilken diskonteringsrente bør anvendes ved evaluering af klimapolitik?*

Den anvendte diskonteringsrente har stor indflydelse på SCC og har givet anledning til betydelige diskussioner i litteraturen.

Diskonteringsrenten anvendes til at sammenligne nutidige og fremtidige værdier. En lav diskonteringsrente medfører, at fremtidige værdier vægtes tættere på nutidige værdier end det gøres ved en højere diskonteringsrente.

I DICE-modellen anvendes som udgangspunkt en diskonteringsrente, der svarer til det observerede gennemsnitlige afkast af kapital. I DICE-2016 anvendes en diskonteringsrente på omtrent 5 pct. på kort sigt, Nordhaus (2018a).

I kontrast hertil argumenterer eksempelvis Stern (2006)[6] for, at det er uetisk at tillægge fremtidige generationers velfærd en lavere vægt end deres egen velfærd. Derfor antager Stern (2006) meget lave diskonteringsrenter i sin analyse af klimaspørgsmålet.

Ifølge Becker m.fl. (2011) er valget om diskonteringensrenten ikke et filosofisk spørgsmål om, hvad den korrekte etiske vægt er at placere på fremtidige generationer, ligesom det heller ikke er et spørgsmål om, at man "bør" diskontere fremtidige generationers indkomst, fordi de vil være rigere end i dag - det handler derimod om alternativomkostninger. Derfor argumenterer Becker m.fl. (2011) for, at den

5 Artiklen blev udgivet som arbejdspapir, med samme resultat, i 2016. Se Nordhaus (2016).

6 Stern-rapporten, der blev udgivet for den britiske regering, har vist sig at spille en betydelig rolle i den klimaøkonomiske debat.

anvendte diskonteringsfaktor som udgangspunkt bør svare til markedsrenten. Det skyldes, at investeringer eksempelvis i at begrænse global opvarmning, konkurrerer med andre investeringsalternativer, som kan bruges til at efterlade arv til kommende generationer. Da andre investeringer afkaster en markedsrente, bør også klimainvesteringer kunne bære en tilsvarende forrentning – ligegyldig om disse klimainvesteringer kun er gennemført i kommende generationers interesse. Ved opsparing bør man altså vælge den investering, der kan forrente det højeste afkast. Fremtidige generationer bliver ikke bedre stillet af, at der i dag investeres i lav-afkasts projekter.

Så længe markedsafkastet repræsenterer alternativomkostningen ved investeringen, bør klimainvesteringer diskonteres med markedsrenten. Men klimainvesteringer kan formentlig ikke fuldt ud substitueres med øvrige kapitalinvesteringer, der forrentes med markedsrenten. Et varmere klima kan formentlig ikke fuldt opvejes af investeringer i kapital i øvrigt. Der er derfor argumenter for at anvende en anden diskonteringsrente til klimainvesteringer end markedsrenten. Det kan være en indikation af, at de tidligere DICE-modeller har anvendt en for høj diskonteringsrente, hvis der er begrænset substitution, hvorimod den ikke kan anfægtes på et rent etisk grundlag.

*Modellering af klimasystemet og skadesfunktionen*

Nordhaus (2014) beskriver, ligesom Pindyck (2013; 2017), at der er usikkerhed forbundet med klimasensitiviteten, som indgår i modelleringen i DICE.

Nordhaus m.fl. har forsøgt at modellere klimasystemet i DICE således, at temperatureffekten af en højere koncentration af $CO_2$e i atmosfæren nogenlunde svarer til den i de store klimamodeller, der anvendes i klimavidenskaben, Sørensen (2020). Dietz m.fl. (2021a) viser, ved at sammenligne med FAIR (Finite Amplitude Impulse Response)-modellen[7], at DICE-2016 ikke lykkes med det. Eksempelvis slår en højere $CO_2$e-koncentration meget langsommere igennem på temperaturen i DICE end i nyere klimamodeller. Derudover tager DICE-2016 heller ikke højde for, at højere temperaturer mindsker havenes og biosfærens evne til at optage $CO_2$e fra atmosfæren, hvilket skaber såkaldte positive feedback-effekter. Dietz m.fl. (2021a) finder, at disse skævheder fører til at SCC undervurderes. Derfor anbefaler Dietz m.fl. (2021a), at klimamodulerne i økonomiske klimamodeller, som DICE, opdateres til blandt andet at inkorporere positive feedback-effekter, som FAIR gør.

Howard og Sterner (2017) anerkender Pindycks (2013) synspunkt om, at det er særdeles vanskeligt at vurdere skaderne fra hidtil usete klimaforandringer, hvilket gør dem fundamentalt ukendte. Ikke desto mindre argumenterer Howard og Sterner (2017) for, at det er værdifuldt at forsøge at kvantificere disse skader, trods betydelige udfordringer.

*Katastrofale hændelser med lav sandsynlighed*

DICE-modellen er også blevet kritiseret for ikke at tage hensyn til de store usikkerheder om virkningerne af drivhusgasudledninger, herunder risikoen for vippepunkter[8]. Overskrides et vippepunkt i jordens klimasystem, kan klimaforandringerne forstærkes og dermed accelerere opvarmning og forværre konsekvenserne ved klimaforandringer, Richardson (2021).

Weitzman (2009; 2014) argumenterer for, at usikkerhed om risikoen for lav-sandsynligheds katastrofale hændelser fører til såkaldte 'tykke' haler i tæthedsfunktion. Det implicerer, at der er relativt højere risiko for sjældne hændelser end i en 'tyndhalet' tæthedsfunktion. Derfor mener Weitzman (2009; 2014) ikke, at standardøkonomisk analyse kan anvendes og at katastrofale hændelser med lav sandsynlighed derfor bør styre klimapolitikken.

Selvom Nordhaus (2009) mener, at Weitzman rejser en relevant kritik om valg af sandsynlighedsfordelinger under usikkerhed, mener Nordhaus (2009) ikke, at det giver anledning til, at standardøkonomisk analyse ikke kan anvendes. Da der kun er sparsom evidens fra klimahændelser, undersøger Nordhaus (2012) historiske økonomiske katastrofer, der

7 FAIR-modellen er bygget til at reproducere, hvordan komplekse modeller for jordens systemer opfører sig. FAIR er blevet brugt af i vid udstrækning af IPCC, Dietz m.fl. (2021a).

8 Også kendt som 'tipping points'

kan betragtes som analoge til økonomiske konsekvenser af klimahændelser. Nordhaus (2012) finder dog ikke empirisk bevis for forekomsten af tykke haler.

Nordhaus (2009) fremhæver, at der findes mange potentielle, katastrofale hændelser med lav risiko, der ikke er begrænset til klimaområdet. Her fremhæves bioteknologi, strangelets, løsslupne computersystemer, spredning af atomvåben, uregerligt ukrudt og insekter, nanoteknologi, nye tropiske sygdomme, rumvæsener, asteroider, slavebinding af avancerede robotter osv.

Martin og Pindyck (2015) finder, at hvis samfundet står over for flere forskellige potentielle katastrofale hændelser, bør der tages højde for både antallet og deres indbyrdes afhængighed, når politik, der har til formål at undgå eller reducere sandsynligheden for sådanne hændelser, formuleres. Det kan betyde, at det ikke er optimal politik at sætte ind mod alle risici, ligesom det kan tale for ikke at sætte ind i et omfang som en isoleret cost-benefit-analyse tilsiger. Det kan tale for ikke, at lade katastrofale klimahændelser med lav sandsynlighed styre klimapolitikken.

Det er dog klart, at hvis der ikke tages højde for potentielle vippepunkter, vil DICE undervurdere den nødvendige klimaindsats. At kunne modellere vippepunkter forudsætter, at man kender sandsynligheden for at udløse et vippepunkt ved en given temperaturstigning samt, hvordan forskellige vippepunkter interagerer med hinanden. Det er der stor videnskabelig usikkerhed forbundet med. Lemoine og Traeger (2016) finder med DICE-2007, at inklusion af tre forskellige vippepunkter næsten fordobler SCC. Dietz m.fl. (2021b) finder, at SCC øges med 25 pct., når en række vippepunkter modelleres i en meta-analytisk IAM, der sammenfatter den litteratur, der undersøger enkelte vippepunkter i en given IAM. Mere viden om vippepunkter ser derfor ud til at øge SCC.

*DICE-2023*

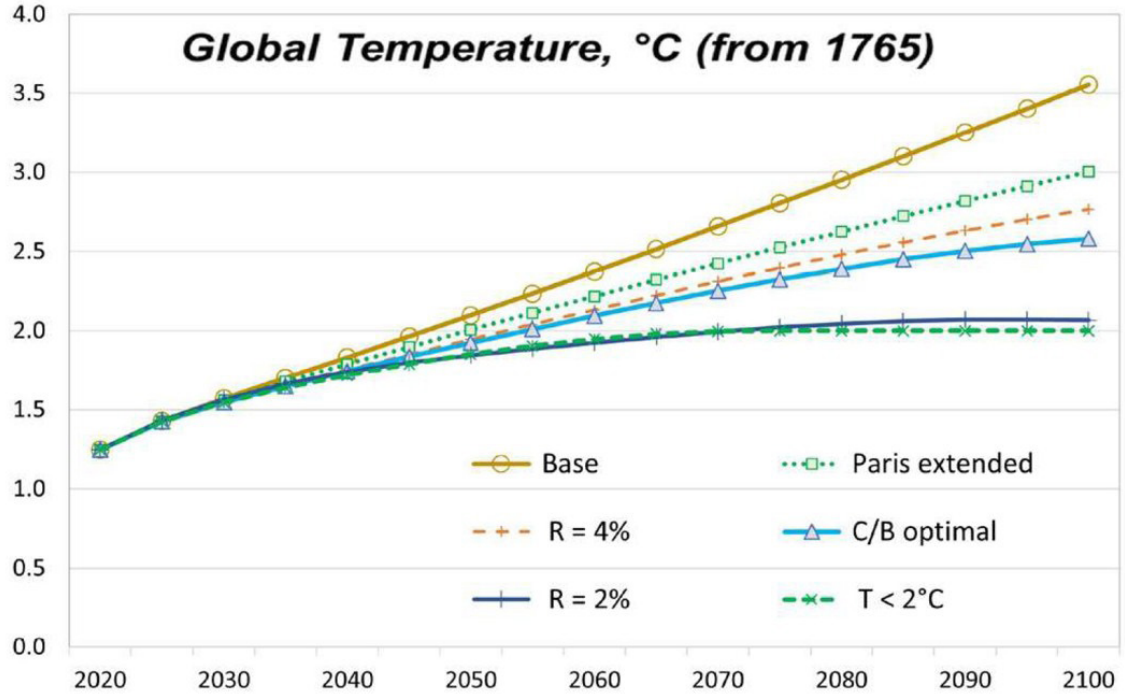
I Barrage og Nordhaus (2024) introduceres den seneste DICE-model: DICE-2023. Modellen har undergået en række større revisioner, der imødekommer noget af den kritik, der har været af modellen. Ændringerne betyder eksempelvis at temperaturstigningen ved det cost-benefit optimale scenarie er noget lavere end i tidligere opgørelser med DICE-modellen.

Ifølge Barrage og Nordhaus (2023) er der fire store ændringer i DICE-2023. Den mest betydningsfulde revision er opdaterede kulstof- og klimakredsløb. I DICE-2023 integreres DFAIR, som er DICE versionen af FAIR-modellen, som anbefalet af Dietz m.fl. (2021a). Barrage og Nordhaus (2023) beskriver, at DFAIR løser problemet med for stor træghed i global opvarmning som følge af drivhusgasudledninger ved tidligere udgaver af DICE. Samlet set vurderes DFAIR at fungere tilfredsstillende. Modulet giver dog en mindre underforudsigelse af atmosfæriske koncentrationer på kort sigt, samt nogle mindre forskelle fra de fulde jordsystemmodeller. Barrage og Nordhaus (2023) vurderer dog at indflydelsen er minimal og opfordrer til yderlige forskning for øvrige forbedringer.

En anden metodisk ændring i DICE-2023 er behandlingen af diskontering. Tidligere har diskonteringsrenten i DICE været bestemt af det observerede gennemsnitlige afkast af kapital uden eksplicit at tage højde for, om klimainvesteringer kan substitueres med øvrige kapitalinvesteringer. I DICE-2023 justeres diskonteringsrenten på klimainvesteringer for at afspejle, at klimainvesteringer kan have en anden risikoprofil end konventionelle investeringer. Det gøres ved at introducere et klimabeta på 0,5 fra Dietz m.fl. (2018). Derudover indarbejdes et skøn for forsigtighedseffekten på grund af usikkerhed om den fremtidige vækst. På baggrund af revisionerne anvendes i DICE-2023 en diskonteringsrente på 4,5 pct./år på kort sigt mod 5 pct./år i DICE-2016, og betydeligt lavere på længere sigt.

En tredje større ændring i DICE-2023 er en række opdateringer af skadesfunktionen. For det første udvides den estimerede skadesfunktion i Nordhaus og Moffat (2017) med nyere studier af de globale skadevirkninger af klimaforandringer baseret på et review af Piontek (2021). Derudover tilføjes en komponent til at tage højde for vippepunkter baseret på resultaterne i Dietz m.fl. (2021b). En tredje ændring består i, at forfatterne tilføjer en skønnet

Figur 3. Global temperaturstigning under forskellige scenarier




Kilde: Figur 3 i Barrage og Nordhaus (2024)

komponent for at afspejle ikke-monetariserede virkninger. Dette skøn skal afspejle manglende sektorer og virkninger af klimaforandringer, der endnu ikke er pålideligt kvantificeret i litteraturen, samt usikkerhed og nyere forskning, der endnu ikke er afspejlet i forfatternes syntese af de samlede skadesestimater. Den opdaterede skadesfunktion estimerer skadevirkninger ved globale temperaturstigninger på 3 °C til 3,1 pct. af globalt output. Det er højere end det tilsvarende estimat på 1,6 pct. i DICE-2016.

En fjerde større ændring i DICE-2023 er, at det i modellen nu er muligt at reducere andre drivhusgasser end industriel $CO_2$ i modellen. Det betyder, at modellen kan håndtere, at $CO_2$e fra arealanvendelse og andre udledninger også kan reduceres. Dermed kan 95 pct. af udledningerne håndteres i DICE-2023. I DICE-2016 var den tilsvarende andel 80 pct.

Således har Barrage og Nordhaus (2024) imødekommet en række af de kritikpunkter, der har været rettet mod DICE-modellen.

## Indsigter fra den klimaøkonomiske videnskab

Barrage og Nordhaus (2024) præsenterer resultater fra DICE-2023 for en række scenarier.

*Scenarier i Barrage og Nordhaus (2024)*

I det cost-benefit-optimale scenarie (C/B optimal) maksimerer klimapolitikken den økonomiske velfærd i henhold til principperne for cost-benefit-analyse, med fuld deltagelse af alle nationer fra 2025. I et temperaturbegrænset scenarie, T < 2 °C (/T < 1,5 °C), gennemføres de cost-benefit-optimale politikker med en yderligere begrænsning om, at den globale temperatur ikke overstiger 2 °C (/T < 1,5 °C). I et alternativt scenarie (alternativ skadesfunktion), anvendes en skadesfunktion fra Howard og Sterner (2017) i DICE-2023. Her er skadesfunktionen, hvad Barrage og Nordhaus (2024) vurderer, er et rimeligt mellemestimat for Howard og Sterners (2017) foretrukne estimater. Det antages, at en temperaturstigning på 3 °C medfører skadesomkostninger, svarende til 9 pct. af globalt output. I scenariet for Parisaftalen udvidet (Paris extended) antages det, at landene opfylder deres mål i 2030 i henhold til deres reviderede løfter fra sommeren 2022, og der forventes en stigning på lidt mindre end 0,5 pct.-point om året i kontrolraten fra

Tabel 1. SCC, Social Cost of Carbon, under forskellige scenarier (DKK/ton, 2024 DKK)

| Scenarie (DKK/ton, 2024 DKK) | 2020 | 2025 | 2050 |
|---|---|---|---|
| Cost-benefit optimal | 400 | 450 | 950 |
| T < 2 °C | 600 | 700 | 1.650 |
| T < 1,5 °C | 27.400 | 32.250 | 127.500 |
| Alternativ skadesfunktion | 950 | 1.100 | 2.150 |
| Paris-aftalen udvidet | 450 | 550 | 1.200 |
| Basis | 500 | 600 | 1.350 |
| R=5% | 250 | 300 | 550 |
| R=4% | 400 | 450 | 800 |
| R=3% | 650 | 800 | 1.350 |
| R=2% | 1.350 | 1.600 | 2.350 |
| R=1% | 3.750 | 4.400 | 5.350 |

Note: SCC er omregnet ved først at konvertere til danske kr. i det givne års priser. Derefter er SCC fremskrevet med nettoprisindekset. SCC er afrundet til nærmeste 50 kr.

Kilde: Tabel 2 i Barrage og Nordhaus (2024)

2030-2100[9]. Basisscenariet (Basis) er estimater af nuværende klimapolitikker, og tager udgangspunkt i, at tendenserne i de nuværende politikker fra 2023 forlænges på ubestemt tid. R=X% indikerer scenarier med forskellige diskonteringsrenter.

Figur 3 illustrerer globale temperaturstigninger under forskellige scenarier relativt til den førindustrielle periode i Barrage og Nordhaus (2024).

Af figur 3 fremgår det, at den forventede temperaturstigning i det cost-benefit-optimale scenarie forventes at være 2,6 °C i år 2100. Tilsvarende estimeres den optimale temperaturstigning med skadesfunktionen fra Howard og Sterner (2017) til 1,9 °C i år 2100. Disse resultater står i kontrast til resultaterne fra DICE-2016, hvor det ville være optimalt at acceptere en stigning i den globale gennemsnitstemperatur på 4,1 °C frem mod år 2100, Nordhaus (2018a).

*Social Cost of Carbon*

For hvert scenarie i Barrage og Nordhaus (2024) præsenteres ligeledes estimater for SCC, som fremgår af tabel 1.

9 Fremskrivninger efter 2030 er ikke baseret på landenes forpligtelser, men er derimod forfatternes formodninger.

Det fremgår af tabel 1, at SCC for udledninger i 2025 i det cost-benefit-optimale scenarie er omtrent 450 kr./ton $CO_2$e. Med den alternative skadesfunktion er den tilsvarende SCC estimeret til 1.100 kr./ton $CO_2$e. At nå Parisaftalens mål om en maksimal temperaturstigning på 1,5 °C vil betyde, at SCC er mere end 30.000 kr./ton $CO_2$e for udledninger i 2025. At nå dette mål vil kræve et katastrofalt tab af output. Barrage og Nordhaus (2024) beskriver da også, at målet er urealistisk inden for rammerne af de teknologier, der inkluderes. Hvis målet om højst 1,5 °C skal nås, skal udledningerne falde til næsten nul i løbet af de næste fem år. Det vil medføre en dyb depression, hvor produktionen skal falde med omkring 75 pct. eller en usandsynlig kraftig stigning i udledningsreduktionerne med mindst 50 pct. inden for et årti. Ifølge Barrage og Nordhaus (2024) kan scenariet bedst betragtes som uigennemførligt.

I hverken det cost-benefit optimale scenarie i Barrage og Nordhaus (2024) eller scenariet baseret på skadesfunktionen i Howard og Sterner (2017) estimeres nettonul udledninger globalt i 2050. I det cost-benefit optimale scenarie i Barrage og Nordhaus (2024) estimeres det, at der udledes 37,1 Gt $CO_2$ i 2050. Tilsvarende for scenariet baseret på Howard og Sterner (2017) estimeres det, at der udledes 20,9 Gt $CO_2$ i

2050, Barrage og Nordhaus (2023).

Scenarierne for R=X% illustrerer, hvor følsom SCC er over for diskonteringsrenten, hvor en diskonteringsrente på 1 pct. implicerer en SCC på 4.400 kr./ton $CO_2$e for udledninger i 2025. Det er 15 gange større end den tilsvarende SCC med en diskonteringsrente på 5 pct.

## DICE kan bruges til at guide klimapolitikken

Det er svært at forestille sig, at uenigheden i den klimaøkonomiske videnskab og kritikken af DICE er forsvundet med opdateringen i DICE-2023. Ikke desto mindre har DICE-2023 gennemgået betydelige revisioner og herunder imødekommet en del af den kritik, der har været af modellen. Det handler blandt andet om, at modellering af klimasystemet og vippepunkter er blevet opdateret i DICE-2023 på baggrund af anbefalinger i litteraturen.

DICE forsøger så vidt muligt at balancere omkostninger og gevinster i klimapolitikken og kan anvendes som et redskab til at guide beslutninger på området. Hvorvidt den optimale $CO_2$e-pris er 450 kr./ton $CO_2$e, som estimeret i det cost-benefit-optimale scenarie i DICE-2023, eller om den derimod er 1.100 kr./ton $CO_2$e, som estimeret med den alternative skadesfunktion baseret på Howard og Sterners (2017) skadesfunktion er ikke entydigt bestemt. Ikke desto mindre giver intervallet 450-1.100 kr./ton $CO_2$e en indikation af, hvilken intensitet, der kan retfærdiggøres i klimapolitikken ud fra et cost-benefit perspektiv. Dermed kan resultaterne fra DICE bruges til at vurdere, om et politisk klimamål afspejler de globale skadesomkostninger.

Selvom DICE-2023 har gennemgået betydelige opdateringer i forhold til tidligere versioner, er der stadig usikkerhed forbundet med modellens resultater. Dette skyldes både usikkerheder i modellens input, der skal forudsige fremtidig udvikling – en opgave, som altid vil være forbundet med usikkerhed – samt usikkerheder omkring selve implementeringen.

Klimapolitikken kan også betragtes som en forsikring, hvilket vil tale for en strammere klimapolitik end, hvad standardkalibreringen af DICE-2023 lægger op til. Hvis man ønsker, at klimapolitikken skal fungere som et slags forsikringselement mod fremtidens klima, bør man stadig være opmærksom på alternativomkostninger. Som Becker m.fl. (2011) fremhæver, så konkurrerer klimainvesteringer med alternative investeringer, der kan bruges til at efterlade arv til kommende generationer. Fremtidige generationer er bedst stillet gennem investeringer, der forrenter det højeste afkast.

Selvom den optimale $CO_2$e-pris ikke kan fastlægges præcist, bør klimapolitikken sigte mod at afveje omkostninger og gevinster. Ellers er der risiko for, at løsningen bliver mere skadelig end problemet. Til denne afvejning kan IAM-modeller som DICE være nyttige, selv med deres begrænsninger.

## Litteratur

Barrage, Lint, og William D. Nordhaus (2023): "Supplemental Materials: Statistical and Methods. Appendices to the DICE-2023 Model".

Barrage, Lint, og William D. Nordhaus (2024): "Policies, projections, and the social cost of carbon: Results from the DICE-2023 model," *Proceedings of the National Academy of Sciences - PNAS* 121(13).

Becker, Gary S., Kevin Murphy, og Robert Topel (2011): "On the Economics of Climate Policy," *The B.E. Journal of Economic Analysis & Policy* 10 (2).

Brøns-Petersen, Otto (2025): "Klimapolitik: afgifter eller reguleret planøkonomi," *LIBERTAS* nr 87, 5-11.

Dellink, Rob, Elisa Lanzi, og Jean Chateau (2019): "The sectoral and regional economic consequences of climate change to 2060," *Environmental and Ressource Economics* 72, 309–363.

Dietz, Simon, Christian Gollier, og Louise Kessler (2018): "The climate beta," *Journal of Environmental Economics and Management* 87, 258–74.

Dietz, Simon, Frederick van der Ploeg, Armon Rezai, og Frank Venmans (2021a): "Are Economists Getting Climate Dynamics Right and Does It Matter?" *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists* 8(5), 895–921.

Dietz, Simon, James Rising, Thomas Stoerk, og Gernot Wagner (2021b): "Economic impacts of tipping points in the climate system," *Proceedings of the National Academy of Sciences - PNAS* 118(34), 1–9.

Hanley, Nick, Jason F. Shogren, og Ben White (2007): "Chapter 3. Market failure" i *Environmental economics: in theory and practice.* 2. udgave. Palgrave Macmillan.

Hassler, John, Per Krusell, og Conny Olovsson (2024): "The macroeconomics of climate change: Starting points, tentative results, and a way forward," *Working Paper.* Peterson Institute for International Economics.

Howard, Peter H., og Thomas Sterner (2017): "Few and Not So Far Between: A Meta-analysis of Climate Damage Estimates," *Environmental and Resource Economics* 68, 197–225.

Howard, Peter H., og Thomas Sterner (2022): "Between Two Worlds: Methodological and Subjective Differences in Climate Impact Meta-Analyses," *Working Paper*.

Lemoine, Derek, og Christian P. Traeger (2016): "Economics of tipping the climate dominoes," *Nature Climate Change 6*, 514-519.

Martin, Ian W. R., og Robert S. Pindyck (2015): "Averting Catastrophes: The Strange Economics of Scylla and Charybdis," *The American Economic Review* 105(10), 2947–85.

Nobel Prize Outreach AB (2018): "Advanced information," NobelPrize.org. https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/2018/advanced-information/.

Nordhaus, William D. (1992): "The 'Dice' Model: Background and Structure of a Dynamic Integrated Climate-Economy Model of the Economics of Global Warming," *Cowles Foundation Discussion Papers,* nr. 1252. https://elischolar.library.yale.edu/cowles-discussion-paper-series/1252

Nordhaus, William D. (2009): "An Analysis of the Dismal Theorem," *Cowles Foundation Discussion Paper*, nr. 1686.

Nordhaus, William D. (2012): "Economic Policy in the Face of Severe Tail Events," *Journal of Public Economic Theory* 14(2), 197–219.

Nordhaus, William D. (2013): *The climate casino: risk, uncertainty, and economics for a warming world*. New Haven: Yale University.

Nordhaus, William D. (2014): "Estimates of the Social Cost of Carbon: Concepts and Results from the DICE-2013R Model and Alternative Approaches," *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists* 1(1).

Nordhaus, William D. (2016): "Projections and Uncertainties about Climate Change in an Era of Minimal Climate Policies," *NBER Working Paper Series,* nr. 22933.

Nordhaus, William D. (2017): "Evolution of Assessments of the Economics of Global Warming: Changes in the DICE Model, 1992-2017," *NBER Working Paper Series*, nr. 23319.

Nordhaus, William D. (2018a): "Projections and Uncertainties about Climate Change in an Era of Minimal Climate Policies," *American Economic Journal: Economic Policy* 10(3), 333-360.

Nordhaus, William D. (2018b): "Climate change: The Ultimate Challenge for Economics," Prize Lecture.

Nordhaus, William D., og Andrew Moffat (2017): "A Survey of Global Impacts of Climate Change: Replication, Survey Methods, and a Statistical Analysis," *NBER Working Paper*, nr. 23646.

Pigou, Arthur Cecil (1920): *The Economics of Welfare.* Macmillan.

Pindyck, Robert S. (2013): "Climate Change Policy: What Do the Models Tell Us?," *Journal of Economic Literature* 51(3), 860–72.

Pindyck, Robert S. (2017): "The Use and Misuse of Models for Climate Policy," *Review of Environmental Economics and Policy* 11(1), 100–114.

Piontek, Franziska, Laurent Drouet, Johannes Emmerling, Tom Kompas, Aurélie Méjean, Christian Otto, James Rising, Bjoern Soergel, Nicolas Taconet, og Massimo Tavoni (2021): "Integrated perspective on translating biophysical to economic impacts of climate change," *Nature Climate Change* 11(7), 563–572.

Richardson, Katherine (2021): "tipping point," Lex.dk. Den Store Danske. https://denstoredanske.lex.dk/tipping_point.

Sørensen, Peter B. (2020): "Nobelprisen i økonomi 2018: Økonomisk vækst og klimaforandringer," *Samfundsøkonomen* 2020(2), 124-135.

Stern, Nicholas (2006): *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge University Press.

Weitzman, Martin L. (2009): "In modeling and interpreting the economics of catastrophic climate change," *The Review of Economics and Statistics* 91(1), 1–19.

Weitzman, Martin L. (2014): "Fat Tails and the Social Cost of Carbon," *American Economic Review* 104(5), 544–46.

World Bank, og med mindre bearbejdning af Our World in Data (2023): "GDP per capita – World Bank – In constant 2017 international $

# Menneskelig trivsel og fremgang er afhængig af fossile brændstoffer

Karl Iver Dahl-Madsen*

Den materielle levestandard for menneskeheden har aldrig været højere. Vi kan forvente, at denne udvikling vil fortsætte så langt ud i fremtiden, som vi kan se, hvilket vil gøre alle mennesker i verden materielt rigere, end selv folk i de rigeste lande er nu. Samtidig vil vi give mere plads til naturen og sikre et sundt miljø ved brug af vores stadigt stigende viden og rigdom. Denne storstilede og positive menneskelige udvikling er ikke i nævneværdig grad påvirket af, at verden er blevet 1,3 grader varmere og af en vandstandsstigning på 30 cm. Tværtimod ville denne meget positive udvikling have været umulig uden rigelig adgang til billig, stabil og alsidig energi som kul, olie og gas. Fordelene ved at bruge fossile brændstoffer overstiger mange gange eksternaliteterne i form af klimaændringer, hvilke blot vil gøre os marginalt mindre rige end ellers om 100 år.

Det er en kendsgerning, at vi mennesker er blevet meget rige og meget kloge, fordi vi har brugt fossile brændstoffer. De har skabt fundamentet for det moderne samfund, sundhedsvæsen, fødevareforsyning og uddannelse. Hvorfor skulle vi stoppe dette store gode for menneskeheden, før ressourcerne naturligt bliver udtømt eller overflødiggjort af bedre alternativer?

Min baggrund for disse synspunkter er faglig og personlig. Jeg underviste i vandmiljølære på Asian Institute of Technology i Thailand fra 1997–99, og det var dér, jeg for alvor blev konfronteret med forskellen mellem rige landes abstrakte bekymringer og udviklingslandes helt konkrete behov. Det slog mig, hvor mange af de problemer, vi kalder 'klimakrise', i virkeligheden er luksusproblemer sammenlignet med fattigdom, sygdom og manglende adgang til energi. Og ihvorvel klimaændringer er et reelt problem, er det ikke i nærheden af fortjene den store opmærksomhed og de mange penge, der bliver hældt i området.

## Fossil fremtid

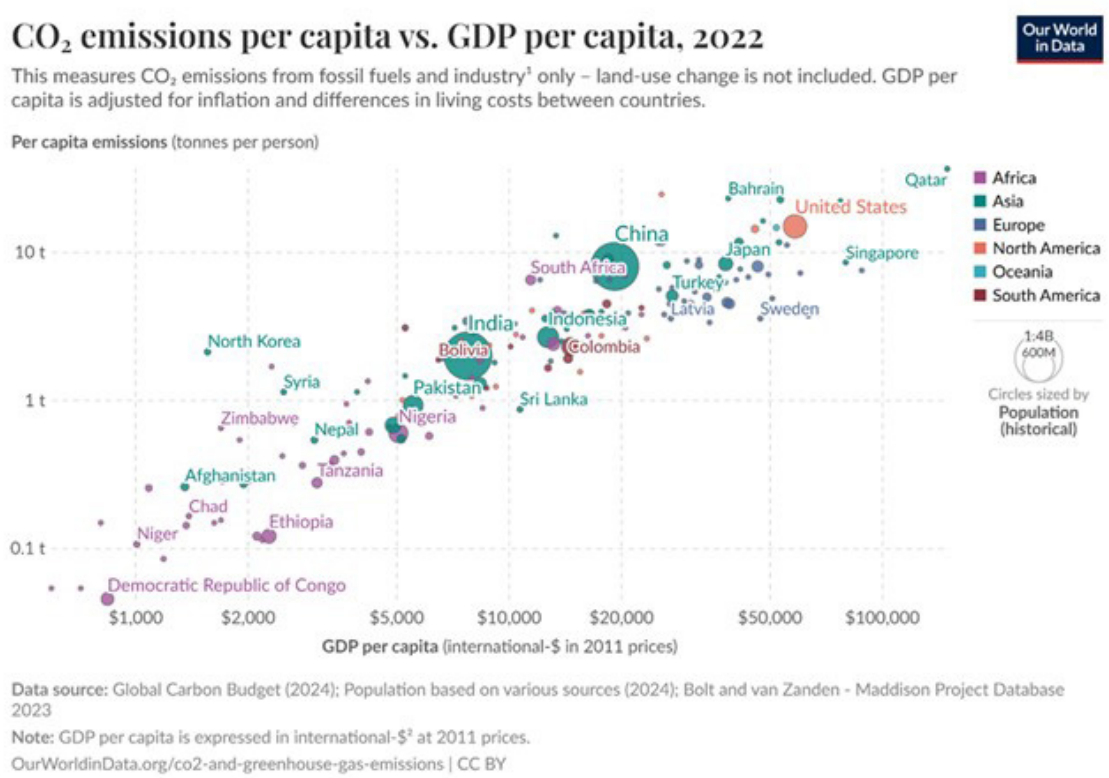
En af inspirationerne til denne artikel er Alex Epsteins bøger. Den nyeste er: *Fossil Future*, Epstein (2022), hvor han argumenterer for at bruge flere fossile brændstoffer, ikke færre.

Epstein kommer med mange interessante og korrekte betragtninger:

1. Et kommandoøkonomisk netto-nul inden 2050 vil få store negative økonomiske konsekvenser for verden. Hvis vi tillader os at blive afhængige af planøkonomi og poli-

*Karl Iver Dahl-Madsen er kemiingeniør (1970) og rådgiver med speciale i miljø og mad. Han er formand for foreningen klimarealisme, og udgiver sin egen blog om vækst uden grænser.

Figur 1. Relation mellem BNP per capita og $CO_2$ udledning per capita




tisk udvælgelse af vindere som energiøer, Power-to-X, Carbon Capture & Sequestration, elbiler og andre eksperimentelle prestigeprojekter, vil de samfundsmæssige omkostningerne mange gange overstige omkostningerne ved klimaændringerne.

2. Fordelen ved at bruge kul, olie og gas kulstof overstiger selv i dag og i mange år fremover i høj grad omkostningerne.
3. Når vi bruger fossile brændstoffer, øger vi vores modstandsdygtighed over for katastrofer. Vi har set, at antallet af dødsfald som følge af naturkatastrofer er faldet med mere end 95 pct. Fordi vi har fået adgang til billig energi og bedre information.
4. Atomkraft er stadig meget dyrere end fossile brændstoffer og vil fortsætte med at være det i lang tid endnu. Atomkraft er fremragende til at lave elektricitet, men elektricitet dækker kun 20 pct. af energibehovet i verden. Vi har også brug for energi til mange andre formål som opvarmning, industri og transport. Og vi har brug for fossile brændstoffer som råmaterialer til plast og kemikalier.

## Fossile-brændstoffer og elektricitet gør os rigere

Fossile brændstoffer og adgang til billig elektricitet har været nøglen til økonomisk vækst og menneskelig fremgang. Der er en veldokumenteret og stærk sammenhæng mellem energiforbrug, $CO_2$-udledning og BNP pr. indbygger. Intet land i historien er blevet rigt uden at øge sit energiforbrug markant – og det er næsten altid sket via brug af fossile brændsler. Se figur 1 fra OurWorldinData:

Empiriske data viser, at lande med lavt energiforbrug og lav $CO_2$-udledning samtidig har lavt sundhedsniveau, lav produktivitet og begrænset adgang til uddannelse. Det skyldes, at energi ikke blot handler om lys og varme, men om at kunne producere varer, transportere mennesker og bygge infrastruktur.

Derfor er det *urealistisk og uetisk* at forlange, at udviklingslande springer fossile brændsler over og går direkte til sol og vind – uden først at opnå den basale energi-infrastruktur, som alle rige lande har taget for givet. Det betyder ikke, at fossile brændstoffer skal være evige, men at de i en overskuelig fremtid vil forblive

Tabel 1. Menneskelig udvikling over 100 år

| Klima & Trivsel | Enhed | 1920 | 1999 | 2020 |
|---|---|---|---|---|
| **Klimaændringer** | | | | |
| Temperatur | Grader C | 13,5 | 14,2 | 14,5 |
| Vandstand | cm | 0 | 24 | 30 |
| **Udvikling af velstand og velfærd** | | | | |
| Befolkning | Milliarder | 1,9 | 6 | 7,7 |
| Spædbørnsdødelighed | Procent af børn under 5 år (fra 1950) | 22% | 8% | 4% |
| Levetid | År | 35 | 66 | 72 |
| Velstand | BNP/Cap USD (PPP, 2011) | 2 | 9 | 16 |
| Fattigdom | Procent under fattigdomsgrænsen | 70% | 30% | 10% |
| Uddannelse | Læsefærdigheder | 32% | 80% | 88% |
| Råmaterialer | Simons Overflodsindeks (fra 1980) | 100 | 440 | 700 |
| Energi | Procent uden adgang til elektricitet (fra 1990) | 30% | 25% | 10% |
| Landbrugsudbytte | Hvede, ton/ha (fra 1960) | 1 | 2,8 | 3,5 |
| Underernæring | % underernæring i verden (fra 1950) | 65% | 15% | 7% |

nødvendige for menneskelig fremgang.

## Hellere varm og rig end kold og fattig

Jeg forelæste på to thailandske universiteter i vinteren 2023 og delte data, der viser betydelige globale forbedringer i løbet af det sidste århundrede, selv med en stigning i gennemsnitstemperaturen og havniveauet, såsom øget befolkning, reduceret børnedødelighed og fordoblet forventet levealder. BNP pr. indbygger og uddannelsesrater er også steget betydeligt. Disse fremskridt skyldes ikke et varmere klima; i stedet viser de, at vejr og klima har minimal indvirkning på menneskelig udvikling, en pointe der endda anerkendes af IPCC[1]. IPCC (2015), jf. tabel 1.

## Værdien af fossilt kulstof må ikke negligeres

Et meningsfuldt skøn over den økonomiske værdi af de kendte fossile kulstofreserver kan tage udgangspunkt i olieprisen – ikke fordi kulstof sælges i sig selv, men fordi olie er den mest fleksible og eftertragtede form for kulstofbåret energi. Olie bruges i alt fra transport og landbrug til plastproduktion, og efterspørgslen er bemærkelsesværdigt uelastisk: selv ved høje priser skal verden stadig bruge den. Når prisen på råolie overstiger ca. 100–120 USD per tønde, bliver det økonomisk realistisk at fremstille syntetisk olie fra kul via den velkendte Fischer-Tropsch-proces. Det gør 120 USD per tønde til en praktisk grænse for, hvad kulstof i energiform er værd på et frit marked – enten som direkte råolie eller som substitut produceret fra kul.

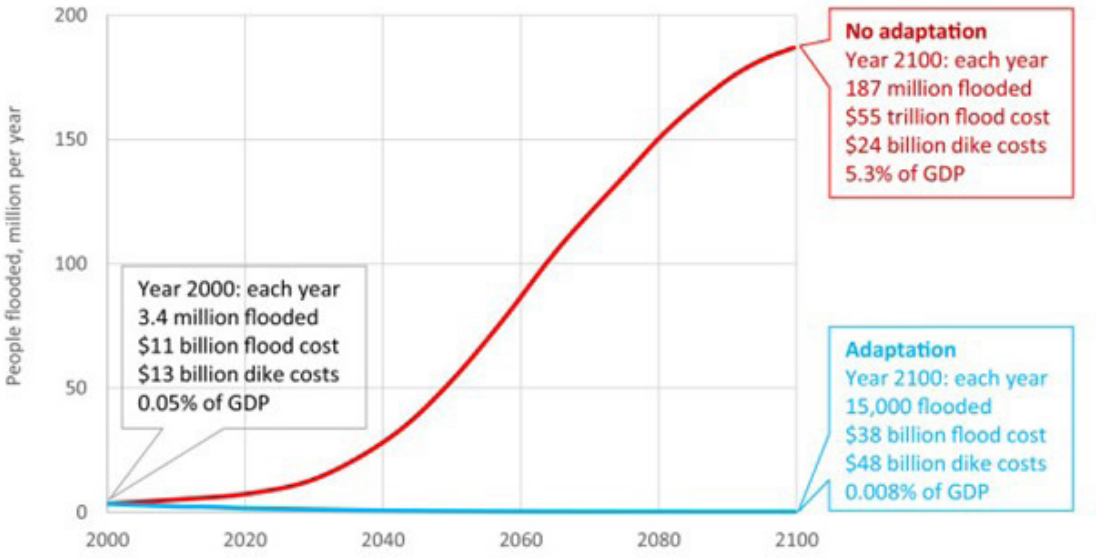
En tønde olie indeholder ca. 159 liter og har en massefylde omkring 0,85 kg/l, hvilket svarer til 135 kg olie. Med et kulstofindhold på omkring 85 vægtprocent indeholder én tønde olie ca. 115 kg kulstof – eller 0,115 ton C. Det betyder, at: 1 ton kulstof svarer til ca. 8,7 tønder olie. Til 120 USD per tønde giver det en energimæssig markedsværdi på ca. 1.043 USD per ton kulstof.

Ganger man denne værdi med IPCC's oprundede skøn på 2.000 gigaton kulstof, Friedlingstein (2025), i kendte reserver, giver det en samlet potentiel bruttoværdi på over 2.000 billioner USD – eller 20 gange verdens samlede årlige BNP, som i dag ligger omkring 100 billioner USD.

Det understreger den helt ekstraordinære økonomiske betydning af de fossile kulstofreserver – og hvor risikabelt det ville være at udelukke dem fra energisystemet uden en ekstremt gennemtænkt og realistisk alternativ strategi.

1 For most economic sectors, the impact of climate change will be small relative to the impacts of other drivers (medium evidence, high agreement). Changes in population, age, income, technology, relative prices, lifestyle, regulation, governance, and many other aspects of socioeconomic development will have an impact on the supply and demand of economic goods and services that is large relative to the impact of climate change. {10.10}

Figur 2. Øget udvikling, reduktion af ulighed, klimaforandringernes konsekvenser og omkostningerne ved klimapolitikker




Kilde: Lomborg: Velfærd i det 21. århundrede

## De sociale omkostninger ved kulstof overdrives ofte

Figur 2 nedenfor illustrerer et overset, men centralt forhold i klimadebatten: De sociale og økonomiske omkostninger ved klimaforandringer overvurderes ofte, fordi man ignorerer mulighederne for tilpasning. I dette tilfælde drejer det sig om oversvømmelser fra stigende havniveau, Lomborg (2020)

Den øverste kurve viser et scenarie *uden tilpasning*, hvor 187 millioner mennesker oversvømmes årligt i år 2100, og de samlede skader udgør 5,3 pct. af BNP. Den nederste kurve viser det alternative scenarie *med tilpasning*, hvor investeringer i kystsikring (diger) reducerer antallet af berørte personer til 15.000 og skaderne til blot 0,008 pct. af BNP.

Pointen er klar: Omkostningseffektiv tilpasning – som f.eks. digebyggeri – kan drastisk reducere skadevirkningerne og er ofte langt billigere end forhastede reduktioner af $CO_2$ gennem afgifter og forbud. Ved at inkludere tilpasning i klimapolitikken får vi et langt mere realistisk og balanceret billede af risici og løsninger.

Hinkel (2014), har undersøgt omkostningerne ved havvandstigning med og uden kystbeskyttelse. Han finder typisk, at en stor del af skaderne kan undgås med relativt lave investeringer (globalt under 0,5 pct. af BNP).

De samfundsøkonomiske omkostningsberegninger udelader desuden ofte de positive effekter af øget $CO_2$, varme og nedbør på landbruget.

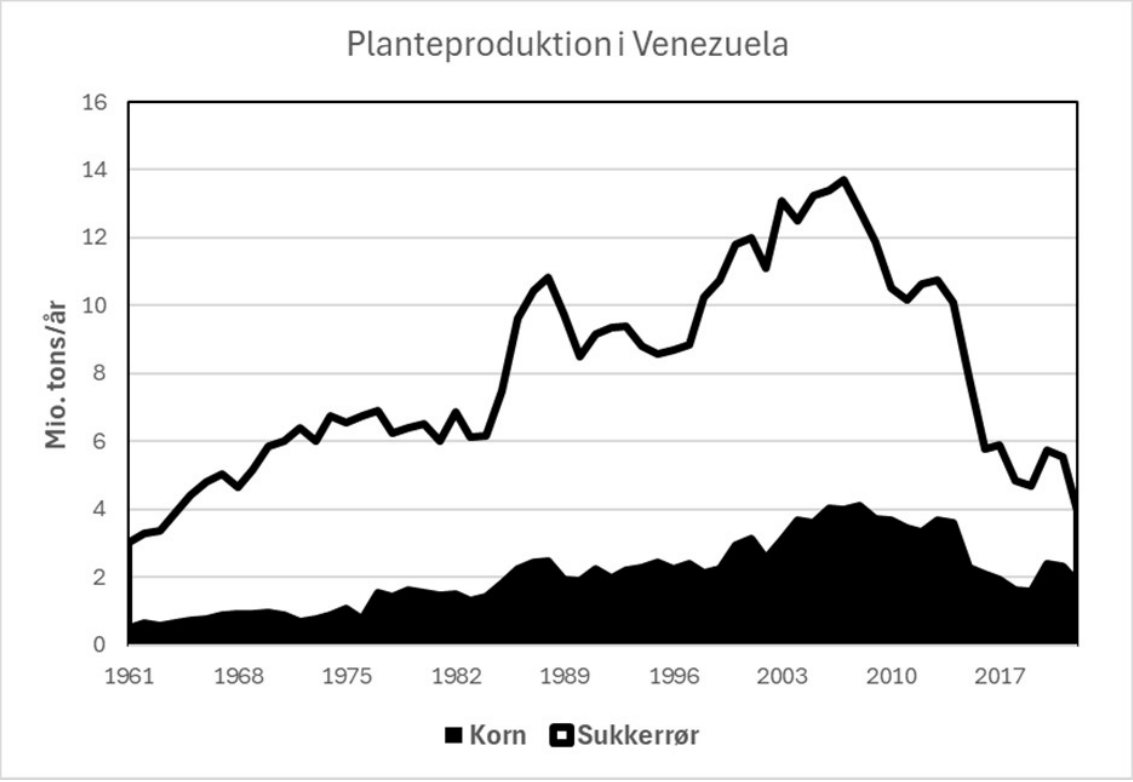
Jeg har arbejdet med fødevareproduktion – især fra havet – i størstedelen af mit liv, og jeg kan sige det klart: klima og vejr betyder meget lidt for produktion af mad på globalt niveau. Det er efterspørgsel, teknologi og kapital, der bestemmer, hvor meget mad vi producerer – ikke vilkårlige vejrfænomener.

Verdens største fødevareproblem er ikke mangel på kapacitet, men fattigdom. Ifølge FAO og Verdensfødevareprogrammet skyldes sult i dag først og fremmest, at folk ikke har råd til mad – ikke at den mangler, FAO (2023)

Hvis vi udbreder kendte teknologier – præcisionslandbrug, moderne forædling, havbrug i åbne farvande – kan vi fordoble den globale fødevareproduktion uden at bruge mere jord, WRI (2019). Tværtimod kan højere produktivitet frigive areal til natur, hvis vi vil.

At påstå, at klimaændringer er hovedproblemet for fødevareforsyningen, er en dårlig undskyldning fra elendige regeringer. Se dette eksempel med FAO-tal for produktionen af majs, ris og sukkerrør i Venezuela, figur 3.

Figur 3. Produktionen af korn (majs og ris) og sukkerrør i Venezuela. Socialisten Hugo Chávez blev præsident i februar 1999, og han blev afløst af Madura i marts 2013.




## Omkostningen til grøn omstilling undervurderes

Ikke nok med at skadevirkning ved klimaændringer overvurderes. På tilsvarende måde undervurderes omkostningerne til den grønne omstilling.

I dette afsnit regner vi på tallene.

For at forstå de økonomiske omkostninger ved både klimaændringer og den grønne omstilling, er der anvendt flere kilder, som giver os et billede af de økonomiske konsekvenser:

- Brøns-Petersen (2015) - Omkostningerne ved at implementere en grøn omstilling i Danmark anslås at være 4 pct. af BNP årligt. Da Danmark er godt tre gange rigere end det globale middel (i PPP) svarer det til 13 pct. af det globale BNP.
- KPMG (2024) anslår, at der alene i kapitalinvesteringer skal bruges EUR 215 mia. inden 2050
- Lomborg (2020) - På globalt plan vurderes omkostningerne ved at opnå 1,5 °C-målet at være 2,5 pct. af globalt BNP årligt frem til 2100.
- McKinsey (2020) - Den globale omstilling til netto-nul-emissioner anslås at kræve 3 trillioner USD årligt frem til 2050, svarende til 2,4 pct. af globalt BNP.

*Ønsketænkning*

De politiske diskussioner i Danmark er baseret på ønsketænkning og forudsætter, at verden kan omstilles til netto-nul i 2050 for et beløb, der er mindre end omkostningerne ved klimaændringer.

Det kan vi ikke. Vi vil selv med meget optimistiske forudsætninger om omkostningseffektivitet og markedsbaserede løsninger bruge ca. 5 gange så meget til omstillingen, som klimaændringerne vil koste.

Forudsætningen er her, at omkostningerne udgør 2 pct. af globalt BNP (lidt lavere end Lomborg & McKinsey), og at de vokser fem gange frem til år 2100, at temperaturen stiger til 3 grader i år 2100 med stigende skadevirkning op til 1,7 pct. af BNP, Lomborg (2020). Med en diskonteringsrente på 3 pct. giver det en forskel i nutidsværdi på en faktor 5.

*Det bliver meget dyrere*

Omstillingen vil reelt blive voldsomt meget dyrere, fordi den i høj grad er kommandoregu-leret, og derfor er det mere realistisk at regne med, at det kommer til at koste mindst 10 pct. af det globale BP at gennemføre omstillingen og i så fald vil omkostningen i nutidsværdi være cirka 30 gange større end omkostninger-ne ved klimaændringerne.

*Omstillingen kan ikke gennemføres*

Alt dette under forudsætning af, at omstil-ling overhovedet er teknisk gennemførlig med vind og sol. I praksis vil omstillingen sandsyn-ligvis ikke kunne gennemføres for penge, vi er villige til at betale.

Som et eksempel kan nævnes, at det er be-regnet, at fuld batteridækning af Danmarks elforsyning fra vind & sol vil kræve en inves-tering på 3 gange Danmarks BNP, Hansen (2025).

## En klimarealistisk fremskrivning

Desværre må det konstateres, at man ikke ukritisk kan stole på FN's Klimapanel (IPCC), når det gælder fremskrivninger af fremtidige $CO_2$-udledninger og den temperaturstigning, de måtte forårsage. Der er en klar tendens til at IPCC overvurderer både udledningerne og klimaets følsomhed over for dem.

Roger Pielke Jr. har påpeget, at IPCC i ud-bredt grad anvender det ekstreme RCP8.5-sce-narie, som bygger på en stærkt usandsynlig mangedobling af kulforbruget inden år 2100 – et forløb, der i dag er helt ude af trit med den faktiske globale energitrend, Pielke (2021). Samme kritik fremføres af Hausfather (2020).

Samtidig har Lewis (2018) fremlagt obser-vationelt baserede analyser, der viser, at kli-maets følsomhed over for $CO_2$ sandsynligvis er lavere end IPCC's modelbaserede estimater på 2,5-4 grader, IPCC (2021). Deres seneste arbejde peger på en overgangsklimafølsomhed omkring 1,66 °C – langt under de ofte citerede 3 °C.

IPCC anerkender selv kritikken af, at de-res modeller regner for varmt. IPCC (2014) og IPCC (2021). I begge kilder påpeges det, at klimamodellerne har haft en tendens til at overestimere temperaturstigningerne, især i forhold til den faktiske opvarmning observeret over de sidste årtier. En væsentlig faktor bag denne tendens kan være, at modellerne har undervurderet de naturlige klimavariationer, der har påvirket temperaturerne i den seneste periode.

En sammenfatning af den saglige kritik af FN's Klimapanel findes i publikationen May (2024): *IPCC's fastfrosne klimasyn*. Her skelnes der mellem to funktioner, IPCC varetager: Når det gælder dokumentationen af den faktiske udvikling frem til i dag, leverer IPCC generelt et grundigt arbejde. Men når det gælder frem-skrivninger af fremtidens klima, er billedet et andet.

Her er det tydeligt, at IPCC i stigende grad påvirkes af et politisk og institutionelt pres i retning af at fremhæve de mest alarmistiske scenarier. Det gælder både valg af modeller og udvælgelsen af antagelser om udledninger og klimafølsomhed.

I det følgende vil jeg derfor præsentere en klimarealistisk fremskrivning baseret på ob-serverbare data, enkle fysiske sammenhænge og realistiske antagelser. Ambitionen er ikke at bagatellisere klimaforandringer, men at forstå dem nøgternt – og handle derefter.

*Hvad sker der med udledningerne af $CO_2$?*

Ifølge rapporten, Friedlingstein (2025), er det kumulative kulstofudslip fra fossile brænd-stoffer og cementproduktion siden 1850 op-gjort til 445 ± 20 GtC. Hertil kommer omkring 230 ± 60 GtC fra arealanvendelsesændringer (især skovrydning), hvilket bringer det sam-lede antropogene kulstofudslip op på omkring 675 GtC siden 1850.

Fordelingen af dette udslip i 2023 ser ifølge rapporten således ud:

Atmosfæren har optaget cirka 280 ± 5 GtC (42%), hvilket svarer til stigningen i atmosfæ-risk $CO_2$-koncentration.

Verdenshavene har absorberet omkring 180 ± 20 GtC (27%).

Biosfæren (vegetation og jord) har optaget cirka 215 ± 60 GtC (31%).

Dette kulstofregnskab overholder loven om massens konstans: kulstof forsvinder ikke eller opstår ud af den blå luft, det omfordeles mel-lem jordens tre vigtigste organiske kulstofre-

servoirer.

Det er værd at bemærke, at biosfærens nettooptag af $CO_2$ blandt andet skyldes øget plantevækst – Jorden er ganske enkelt blevet grønnere, hvilket bekræftes af satellitdata og vegetationsindeks, Zhu (2016). Denne effekt er kendt som "$CO_2$-gødskningseffekten" og har bidraget til højere landbrugsudbytter og mere biomasse.

Hvad angår havene, så er det dokumenteret, at de har optaget en betragtelig del af den udledte $CO_2$. Dette har ændret havets syre-base-balance en smule, og dermed gjort havene lidt mindre basiske.

I 2024 så fordelingen af kulstofstrømmene ud som illustreret i figur 4.

Som det fremgår af figur 4, udgør menneskenes årlige $CO_2$-udledninger en relativt lille del af den samlede udveksling af kulstof mellem atmosfære, hav og biosfære, men de har alligevel en markant og ophobende effekt over tid.

De naturlige kulstofstrømme – fotosyntese, respiration, havoptag og havudgasning – udveksler hvert år omkring 130 GtC mellem atmosfæren og land, og omkring 80 GtC mellem atmosfæren og havene. Til sammenligning udleder menneskeheden i øjeblikket ca. 9,7 GtC årligt fra fossile brændstoffer og ca. 1,1 GtC fra arealanvendelse – altså omkring 10,8 GtC per år, svarende til kun ca. 5 % af de samlede naturlige strømme.

Men her kommer det centrale: Den menneskelige udledning er en ubalanceret nettotilførsel. Naturens egne strømme er i nogenlunde balance – hvad der optages, udledes også igen. Menneskets udledning er derimod ensrettet og uden modvægt. Derfor akkumuleres den i atmosfæren.

En økonom ville forstå det sådan: Tænk på atmosfæren som en kassebeholdning. Hver dag går der penge ind og ud – det er naturens normale kredsløb. Men pludselig begynder nogen (f.eks. din mormor) at indbetale et fast ekstra beløb hvert år. Det beløb er måske kun 5 pct. af den samlede gennemstrømning – men da du kun bruger halvdelen af din mormors penge, vokser beholdningen støt. Det er præcis, hvad

Figur 4. Den nyeste opgørelse (fra marts 2025) af det globale kulstofkredsløb

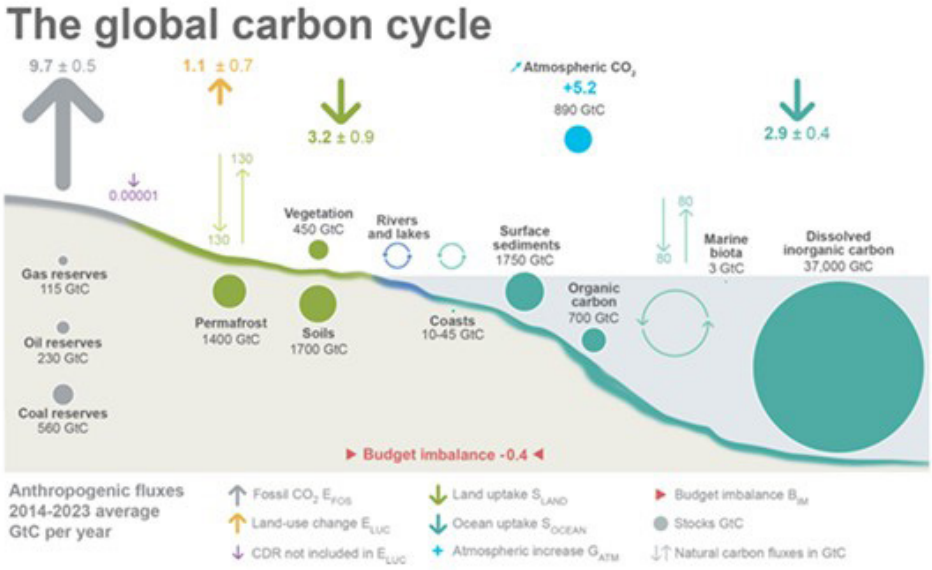



**Figure 2.** Schematic representation of the overall perturbation of the global carbon cycle caused by anthropogenic activities, averaged globally for the decade 2014–2023. See legend for the corresponding arrows. Flux estimates and their 1 standard deviation uncertainty are as reported in Table 7. The CDR estimate is for the year 2023 only. The uncertainty in the atmospheric $CO_2$ growth rate is very small ($\pm 0.02\,GtC\,yr^{-1}$) and is neglected for the figure. The anthropogenic perturbation occurs on top of an active carbon cycle, with fluxes and stocks represented in the background and taken from Canadell et al. (2021) for all numbers, except for the carbon stocks in coasts, which is from a literature review of coastal marine sediments (Price and Warren, 2016). Fluxes are in gigatonnes of carbon per year ($GtC\,yr^{-1}$) and reservoirs in gigatonnes of carbon (GtC). This figure was produced by Nigel Hawtin.

der sker med $CO_2$ i atmosfæren: en lille ubalance, gentaget hvert år, fører til en kontinuerlig stigning.

Det er derfor, $CO_2$-koncentrationen i atmosfæren i dag er steget fra omkring 280 ppm i førindustriel tid til over 420 ppm i dag – en stigning på ca. 50 pct. – selvom vores årlige udledning stadig kun udgør en lille brøkdel af den samlede udveksling.

*En klimarealistisk model*

For at give en nøgtern og observationelt forankret vurdering af $CO_2$-udviklingen, foreslås her en klimarealistisk model, som bygger på Roy Spencers enkle kulstofkredsløbsmodel, Spencer (2019), Lewis (2018) mere realistiske klimafølsomhedsanalyse og Joachim Denglers udvidede lineære kulstofmodel, Dengler (2024).

Kernen i denne tilgang er, at hele udledningen ikke ophobes i atmosfæren, men delvis absorberes af hav og biosfære. Ifølge Spencer (2019) er $CO_2$-optaget en funktion af forskellen mellem den faktiske atmosfæriske koncentration og en temperaturafhængig ligevægt.

Det hele kan formuleres matematisk: Ændringen i den atmosfæriske $CO_2$-koncentration per tidsenhed er lig med de menneskelige årlige $CO_2$-udledninger, *E(t)*, fratrukket en faktor, der består i hastighedskonstanten, *k*, ganget på den atmosfæriske $CO_2$-koncentrations afvigelse fra den naturlige ligevægtskoncentration, *(C- $C_0$)*:

$$dC/dt=E(t)- k(C - C_0 )$$

Hvor

C: den atmosfæriske $CO_2$-koncentration

E(t): menneskelige årlige $CO_2$-udledninger

$C_0$ = 280 ppm: den naturlige ligevægtskoncentration (svagt temperaturafhængig, Le Quéré (2018), Lorius (1990)).

k = 0,03 $år^{-1}$: hastighedskonstanten for optag i hav og biosfære

Spencer (2019) angiver $C_0$ til 0,0233 $år^{-1}$ og en ligevægtskoncentration på 295,1 ppm. Dengler (2024), hvis model forudsætter at udledningen af kulstof fra ændret arealanvendelse er konstant efter 1950, anvender en $C_0$ på 0,0184 $år^{-1}$ og en ligevægtskoncentration på 184 ppm.

I min model er k = 0,03 $år^{-1}$ opnået ved kalibrering = en tilpasning, så afvigelserne mellem model og observationer minimeres.

Denne formel viser, hvordan den atmosfæriske $CO_2$-koncentration ændrer sig over tid som resultat af balancen mellem menneskelig udledning og naturens tilbøjelighed til at genoprette ligevægt. Parameteren k = 0,03 angiver, at ca. 3 pct. af overskydende $CO_2$ fjernes hvert år. Det svarer til en halveringstid på omtrent 23 år, hvis udledningerne ophører. Modellen stemmer godt overens med observationer over de seneste årtier og er i tråd med Denglers (2024) dokumentation af en nær lineær sammenhæng mellem $CO_2$ og nettooptag i biosfære og oceaner.

På temperaturfronten anvendes som udgangspunkt Lewis (2018)'s empiriske estimat for klimafølsomheden, og med henvisning til observationerne kalibreres tallet til 2,3°C per fordobling af $CO_2$.

Denglers udvidede model viser desuden, at temperaturvariationer kun bidrager marginalt til langsigtede $CO_2$-ændringer. Den kraftige sammenhæng mellem $CO_2$ og temperatur over de seneste 70 år skyldes først og fremmest udledninger – ikke temperaturstyrede tilbagekoblingsmekanismer. Dette fremgår ligeledes af Lorius (1990), som estimerer en stigning i $CO_2$-koncentration på omkring 6-7 ppm pr. grad og Le Quéré (2018), som anslår, at vil der kunne frigives omkring 2-3 ppm $CO_2$ fra havene pr. grad.

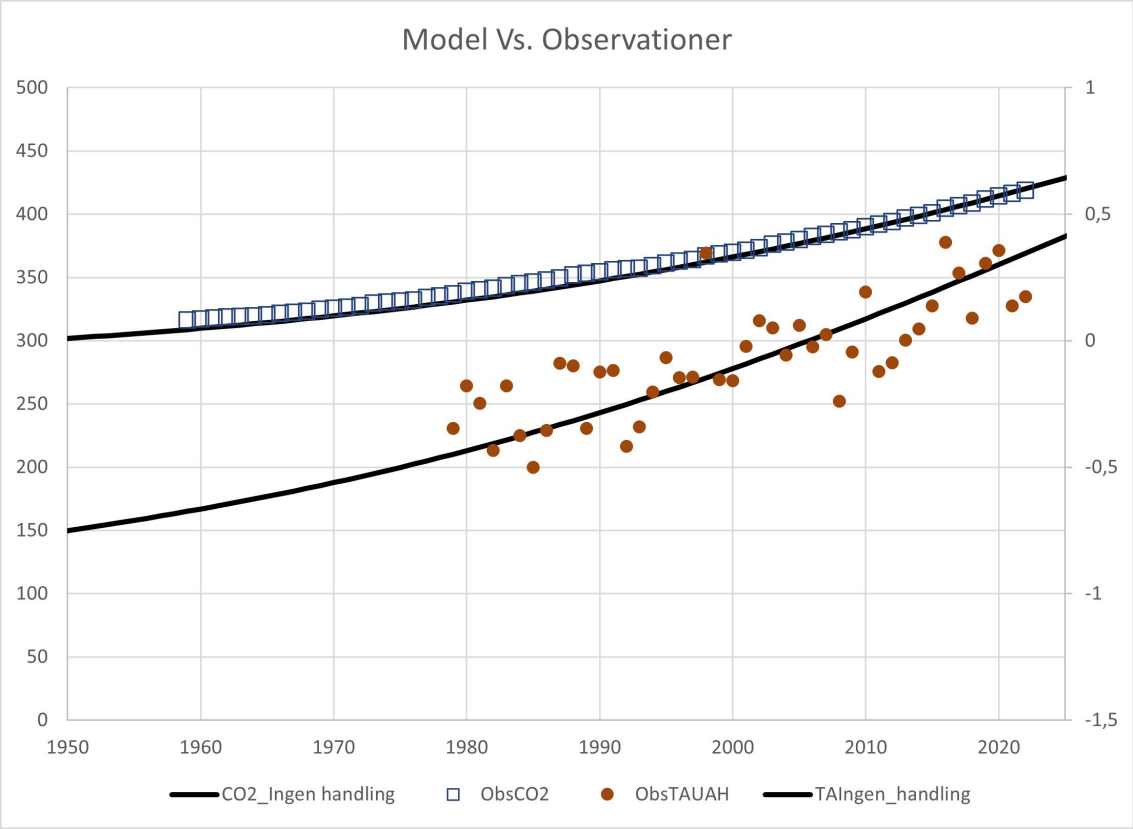
Modellen passer desuden med Friedlingstein (2025) mht. at ca. 50 pct. af den udledte CO2 tilbageføres til hav og biosfære.

Figur 5 viser modelvalideringen. Figuren viser, at modellen er ok, men ikke perfekt. Den er dog betydeligt bedre end de fleste af IPCC's modeller

En mulig kritik af denne model kunne være, at den bagvedliggende mekanisme – optaget af $CO_2$ i hav og biosfære – med tiden ville kunne mættes. Altså at optagelseskapaciteten er begrænset, og at den lineære model ikke gælder ved høje $CO_2$-niveauer. Det er et legitimt spørgsmål, som kalder på empirisk afklaring.

Men indtil nu – efter mere end 50 års acce-

Figur 5. Modelforudsigelser vs. faktiske observationer




lererende $CO_2$-udledning – er der ingen tegn på, at optagelsesmekanismerne er ved at blive mættede. Spencer (2019) viser faktisk et svagt stigende optag pr. år. Det gælder op til det nuværende niveau på over 420 ppm. Der er heller ikke i IPCC (2021) belæg for, at optaget vil ændre karakter inde for et realistisk område af $CO_2$ forøgelse.

Man kan sammenligne det med en stor svamp: Den suger fortsat fugt op, så længe der er overskud – og der er endnu ikke tegn på, at den er tæt på mætning.

Samlet giver denne model et mere realistisk billede: En moderat stigning i $CO_2$, et fortsat effektivt optag i biosfære og oceaner, og en temperaturstigning, der ikke giver anledning til alarm.

*Peak fossile brændstoffer*

At forudsige, hvornår verdens fossile brændsler reelt vil løbe tør, er usikkert – ikke mindst fordi reserver både opdages og opgøres forskelligt over tid. Men det er alligevel vigtigt at forstå, hvad det betyder, hvis vi nærmer os et globalt "peak fossil"-punkt.

Begrebet "peak fossil" bygger på den klassiske teori om *peak oil*, som blev introduceret af den geofysiske ingeniør M. King Hubbert i 1956. Han forudsagde, at olieproduktionen i ethvert givet område ville følge en kurve, hvor udvindingen stiger, topper og derefter falder – en såkaldt Hubbert-kurve. Den matematiske form af Hubberts model kan beskrives som en logistisk funktion.

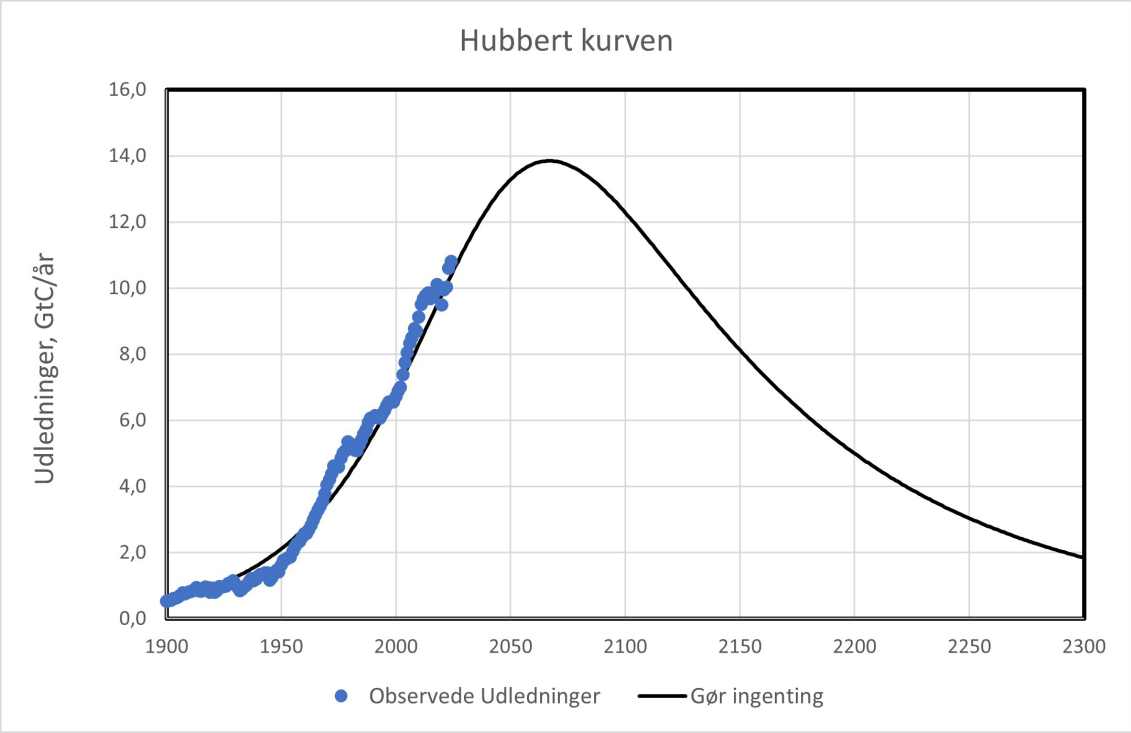
Når man anvender IPCC's opgørelse af kendte fossile kulstofreserver oprundet til 2.000 GtC og tilpasser modellen til den observationer ses denne udvikling.

Hubbertkurven i figur 6 viser det 'NoAction'-scenarie, hvor udledningerne topper og derefter falder naturligt i takt med, at fossile ressourcer udtømmes og erstattes. En klassisk Hubbert-dynamik: hurtig vækst, toppunkt og gradvis nedgang uden politisk indblanding

Hvis man finder mere, vil udledningen blive højere, men stadig til en stor netto fordel for menneskeheden.

Denne model er blevet anvendt til både

Figur 6. Hubbert kurven over udledning i takt med forbrug af fossile brændsler




olie, gas og kul. Den siger ikke, at vi "løber tør", men at udvindingen naturligt vil falde, når de lettest tilgængelige reserver er brugt, og energiomkostningen for ny udvinding overstiger afkastet.

I klimadebatten tales der ofte om at udfase fossile brændsler for at beskytte klimaet. Men hvad der sjældent nævnes, er.,at verdenssamfundet under alle omstændigheder er på vej mod en top i udvinding – drevet af teknologi, substitution og ressourceøkonomi. Markedet gør allerede meget af arbejdet, stille og roligt.

To scenarier tegner sig: Enten fortsætter vi ad den markedsdrevne vej og lader fossile brændsler blive gradvist udfaset gennem innovation, effektivisering og konkurrence. Eller også forsøger vi at gennemtvinge et "netto-nul"-scenarie i 2050 med massive og hurtige forbud, afgifter og indgreb. Det sidste vil sandsynligvis være økonomisk og politisk katastrofalt, især for udviklingslande.

*3 scenarier*

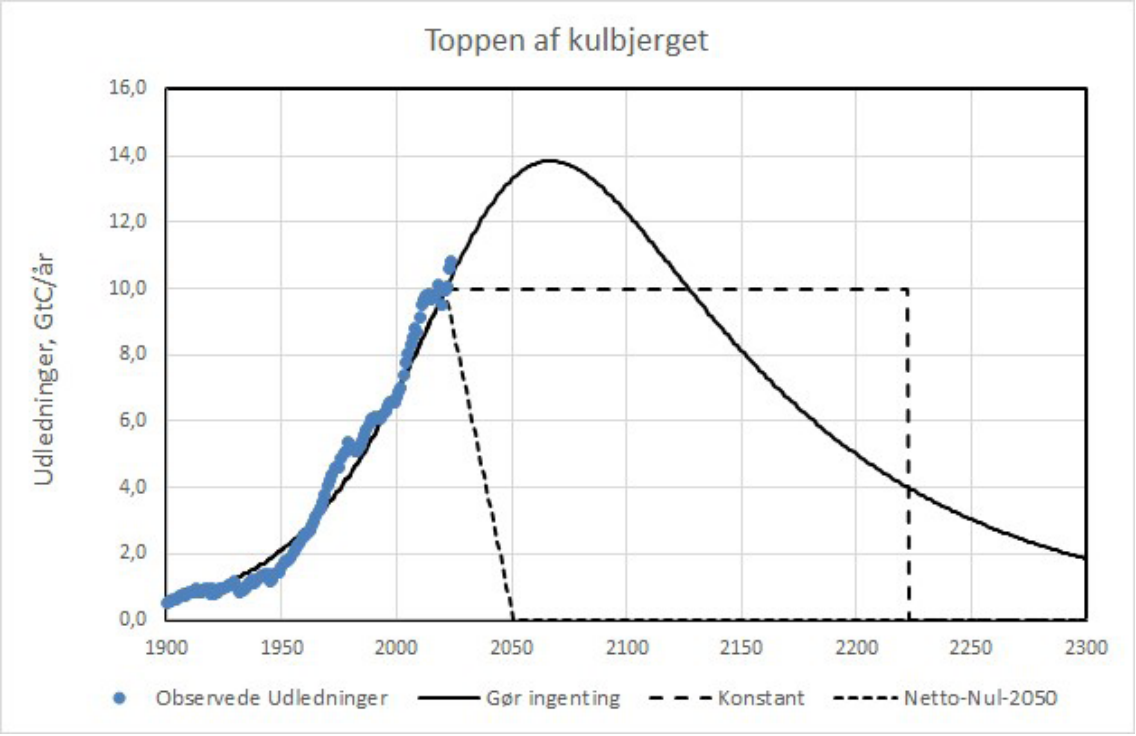
For at illustrere modellens konsekvenser og dens anvendelighed opstilles tre overordnede scenarier for fremtidige $CO_2$-udledninger. Disse er valgt for at dække spændet mellem et passivt og et stærkt politisk styret forløb:

*Ingen handling*. I dette scenarie antages det, at der ikke gennemføres målrettet politik for at begrænse udledningerne. Udviklingen er drevet af teknologisk udvikling, markedsmekanismer og demografiske trends alene. Det svarer nogenlunde til IPCC's tidligere "business as usual" (RCP8.5), men er revideret i lyset af realistiske energi- og befolkningsfremskrivninger.

*Konstante emissioner*. Dette scenarie forudsætter, at de årlige menneskelige $CO_2$-udledninger forbliver på det nuværende niveau – ca. 10 GtC/år – indtil lagrene er tømt. Det repræsenterer en situation med stilstand i klimaregulerende politik og teknologiudvikling. Formålet er at vise, hvordan kulstofbalancen og temperaturen ville udvikle sig uden ændringer, men heller ikke med vækst i udledninger.

*Netto-nul i 2050*. Her antages det, at udledningerne reduceres gradvist og lineært frem mod 2050, hvor de når netto-nul. Dette svarer til Paris-aftalens mål og IPCC's SSP1-1.9-scenarie. Det er dog et teknisk og politisk meget ambitiøst scenarie, som indebærer massive strukturelle ændringer i det globale energisystem. Der er bred enighed blandt uafhængige eksperter om, at dette er urealistisk, hvilket

Figur 7. Tre mulige scenarier for fremtidige $CO_2$-udledninger.




f.eks. IEA (2019) har påpeget, da det kræver hidtil usete omstillinger i løbet af få årtier.

Formålet med disse tre scenarier er ikke at spå om fremtiden, men at vise spændvidden i mulige forløb og vurdere, hvor følsom klimaudviklingen er over for ændringer i udledningsmønsteret – givet en realistisk, empirisk funderet model. Scenarierne er illustreret i figur 6: en markedsdrevet top og et efterfølgende fald (sort kurve), konstante udledninger (stiplede linje), og en politisk dikteret netto-nul-bane i 2050 (prikket linje).

Modellen forudsiger en moderat stigning i $CO_2$-niveauet og en begrænset temperaturstigning, hvilket udfordrer IPCC's påstand om $CO_2$'s lange atmosfæriske tilbageholdelse. Fremtidige klimapåvirkninger på det globale BNP synes marginale, især i betragtning af andre indflydelsesrige faktorer som teknologiske fremskridt.

Figur 8 viser resultaterne for beregninger af $CO_2$-koncentrationen i atmosfæren (venstre figur) og for temperaturstigningen (højre figur) under de tre scenarier: Ingen handling, Konstante udledninger og Netto-nul 2050. I alle tilfælde topper både $CO_2$ og temperatur, men tidshorisonten og maksimum afhænger af politikken.

Denne realistiske model forudser en temperaturstigning på under 3 °C. For at sætte dette i perspektiv, kan vi se på den økonomiske skadesfunktion baseret på William Nordhaus' arbejde, Nordhaus (2018), og videreformidlet af Bjørn Lomborg. Figur 8 nedenfor viser det bedste estimat (sort kurve) for den globale BNP-påvirkning som funktion af temperaturstigning.

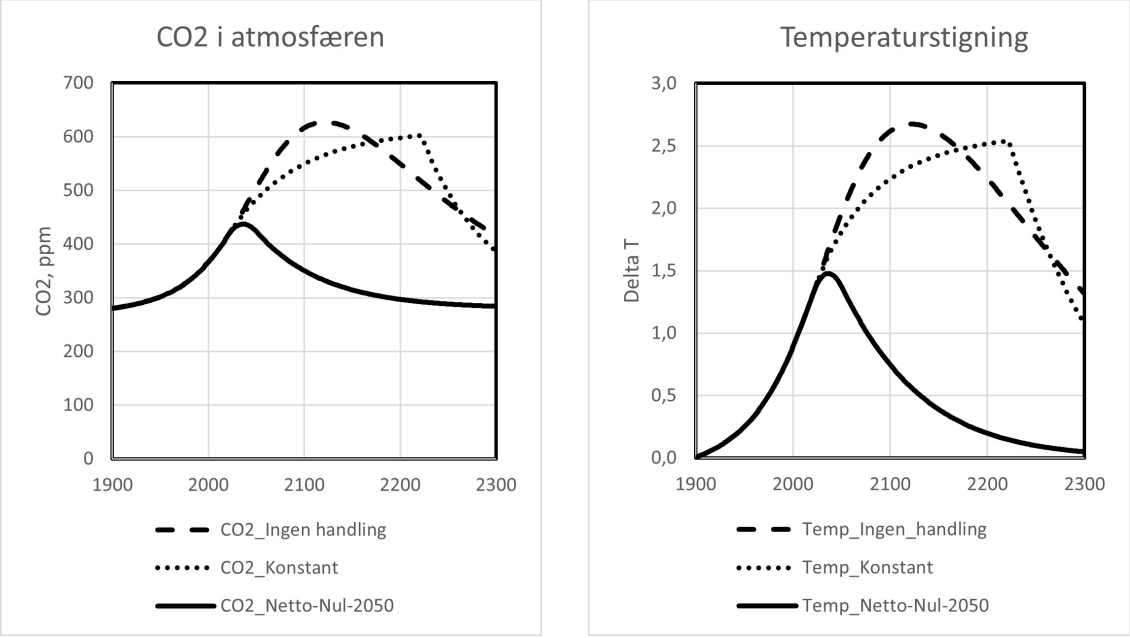
Som det fremgår af figur 9, vil selv en temperaturstigning på op til 3 °C kun have en relativt beskeden negativ effekt på global økonomisk vækst – under 2 pct. af BNP. Det skal ses i forhold til en forventet vækst på flere hundrede procent i samme periode.

Konklusionen er derfor klar: klimaændringer i denne størrelsesorden er håndterbare.

## Klimapolitik og konklusion

Det er vist, at omkostningerne ved en kommanderet netto-nul-politik vil være mange gange højere end klimaskaderne, særligt hvis man inddrager tabt velstand, energikriser og social uro. Det skyldes, at de fleste af de teknologier, der skal muliggøre hurtig dekarbonisering, endnu ikke er modne eller økonomisk

Figur 8. Udviklingen i $CO_2$-koncentration (venstre) og temperaturstigning (højre) under de tre scenarier.




konkurrencedygtige.

Det vi har gang i, er skarpt formuleret af den erfarne energiingeniør, Bryan Leyland, Telegraph, maj 2023:

De nuværende politikker om blot at tvinge vind og sol ind på markedet og håbe på et mirakel, er blevet mindeværdigt og korrekt sammenlignet med 'at hoppe ud af et fly uden faldskærm og håbe på, at faldskærmen vil blive opfundet, leveret og spændt fast i luften i tide til at redde dig, før du rammer jorden.

Derfor er den bedste politik ikke at gennemtvinge hurtige og dyre løsninger, men at lade problemet løse sig selv – som det sker med andre teknologiske fremskridt. Atomkraft, forbedret kernekraftteknologi (fx thorium- eller højtemperaturreaktorer), små modulære atomreaktorer (SMR) og nye typer fusionsenergi – alle teknologier med stort potentiale og stigende realisme kan på sigt blive billigere og dermed naturligt udkonkurrere kul og olie. Samtidig er menneskeheden i stand til at tilpasse sig et varmere klima gennem aircondition, klimatilpasset infrastruktur og kystsikring – som vi har gjort i århundreder.

En global $CO_2$-afgift ville i princippet være den mest effektive og markedsbaserede løsning, som også økonomer som Nordhaus har foreslået. Men i praksis er den politiske gennemførlighed nær nul, især globalt. Risikoen er, at nationale/regionale klimatiltag fører til økonomisk ineffektivitet, klimahandelskrig, ubalance og socialt pres – uden at ændre den globale udledning nævneværdigt.

Konklusionen er derfor enkel: I stedet for at frygte klimaforandringer bør vi fokusere på menneskelig opfindsomhed, markedsdrevet innovation og gradvis omstilling. Det har virket før – og det virker stadig.

## Litteratur

Brøns-Petersen, Otto (2015): "Hvad vil det koste at blive fossilfri?", *CEPOS Analysenotat*.

Dengler, J. (2024): Improvements and Extension of the Linear Carbon Sink Model, MDPI, *Atmosphere* 2024, 15(7), 743

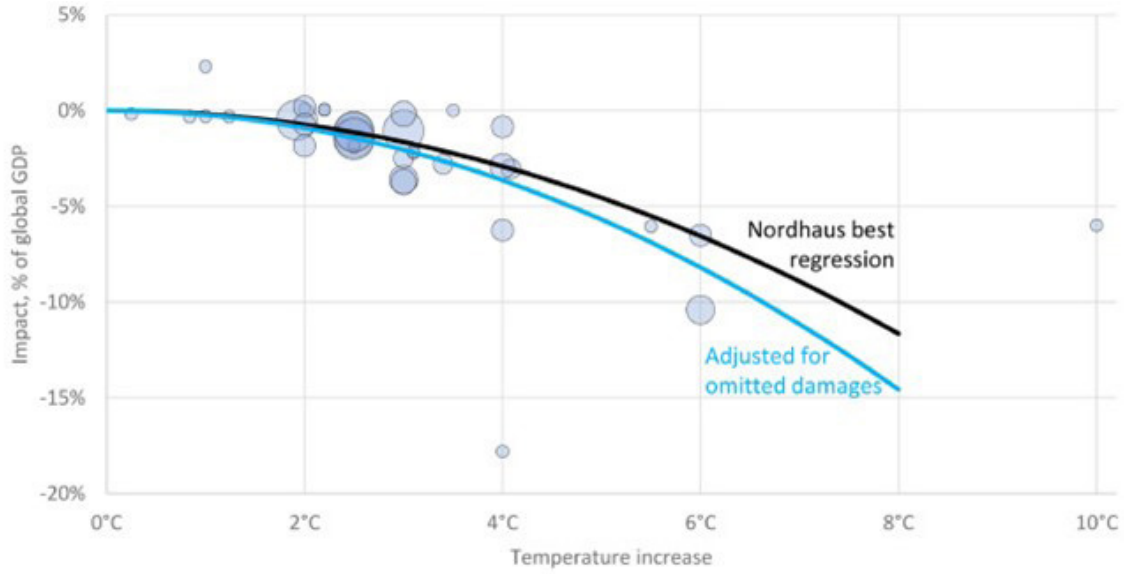
Epstein, Alex (2022): Fossil Future: Why Global Human Flourishing Requires More Oil, Coal, and Natural Gas--Not Less

FAO (2023): *The State of Food Security and Nutrition in the World 2023*, FAO

Friedlingstein et al. (2025): Global Carbon Budget 2024, *ESSD* Volume 17, issue 3, 17, 965–1039, 2025

Hansen, Søren (2025): *Fakta og myter om grøn om-*

Figur 9. Estimat over BNP-påvirkning af temperaturstigninger




*stilling*. Forlaget Kolbein. Under udgivelse

Hausfather, Z. & Peters, G. P. (2020): Emissions – the 'business as usual' story is misleading. *Nature* Comment, 29 January 2020

Hinkel, J. et al. (2014): "Coastal flood damage and adaptation costs under 21st century sea-level rise", *PNAS*, Vol. 111 | No. 9

IEA (International Energy Agency) (2021): *Net Zero by 2050*

IPCC, 2014, Climate Change (2014): Synthesis Report. *Contribution of Working Groups I and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press

IPCC AR6 (2021) Sixth Assessment Report 2021: The Physical Science Basis. *Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*

Le Quéré, C. (2018): Global carbon budget 2018. *ESSD*, 10 (4) 2141-2194

Lewis, N. & Curry, J. (2018): The Impact of Recent Forcing and Ocean Heat Uptake Data on Estimates of Climate Sensitivity, *Journal of Climate* Volume 31: Issue 15

Lomborg, Bjørn (2020): Welfare in the 21st century: Increasing development, reducing inequality, the impact of climate change, and the cost of climate policies, *ScienceDirect*, Volume 156, July 2020, 119981

Lorius, C. (1990): The ice-core record: Climate sensitivity and future greenhouse warming, *Nature* 347(6292), 139-145.

May, Andy of Crok, Marcel (2024): *IPCC's fastfrosne klimasyn*, Forlaget Kolbein, Udgivet 2024

McKinsey & Company (2020): *Climate Risk and Response: Physical Hazards and Socioeconomic Impacts*. McKinsey & Company

Nordhaus, William (2018): Climate change: The Ultimate Challenge for Economics, *Nobel Lecture*,

Pielke, Roger og Ritchie, Justin (2021): How Climate Scenarios Lost Touch With Reality, *Issues in Science & Technology*, Vol. XXXVII, No. 4, Summer 2021

Spencer, Roy (2019): A Simple Model of the Atmospheric $CO_2$ Budget, spencer.com

WRI, World Resources Institute (2019): *CREATING A SUSTAINABLE FOOD FUTURE - A Menu of Solutions to Feed Nearly 10 Billion People by 2050*

Zhu, Z. et al. (2016): Greening of the Earth and its drivers, Nature Climate Change

# Energi som klimateknologi

Martin Jul

Bag den megen snak om klimapolitik gemmer sig en spændende historie om ingeniørkunst, iværksætteri og decentralisering, for den grønne omstilling er ikke grøn men teknisk. Den handler om skiftet fra energi som råvare til energi som et teknologiprodukt. Skiftet er drevet af en simpel markedslogik som reaktion på hastig innovation og dalende priser for de nye energiteknologier. Den gradvise "grønne omstilling" af elnettet til $CO_2$-neutral energi og mindre luftforurening er blot en afledt effekt. Nye teknologier kan åbne for nye muligheder som decentraliserende faktorer, der tipper magtbalancen tilbage til borgerne og skaber nye økonomiske muligheder for selv de fattigste.

Pakistan er et godt eksempel på skiftet til energi som modulært teknologiprodukt i små stykstørrelser. Hvor Danmark elforbrug er ca. 5,9 megawatt-timer (MWh) årligt pr. indbygger, producerer Pakistan til hver af sine ca. 240 millioner indbyggere blot 0,6 MWh (IEA landestatistik, 2023-tal for Danmark, 2022-tal for Pakistan).

Den statslige elforsyning i Pakistan er kendt for sin utilstrækkelighed med hyppige strømudfald. Pengemangel, gældssaneringer og almindelig korruption og svindel gør det svært for staten at levere. Produktionskapaciteten er op til 46 gigawatt (GW), og varierer bl.a. sæsonmæssigt efter vandmængden til vandkraft.

I 2024 skete der pludselig noget nyt. I løbet af første halvår blev der importeret omkring 13 GW solcellepaneler fra Kina (nominel kapacitet). Pakistans borgere og erhvervsdrivende havde fået nok af de hyppige strømsvigt, og opsatte små, decentrale solanlæg uden om det statslige forsyningsnet for at sikre stabil strøm til deres virksomheder og boliger. Bloomberg New Energy Forum (BNEF) estimerer, at der i andet halvår blev installeret yderligere 10-15 GW solenergipaneler. Borgerne har således taget over for staten, og elforsyningen er på vej til at blive privatiseret af græsrødderne. Det får økonomien til at gro, Azhar og Warren (2024).

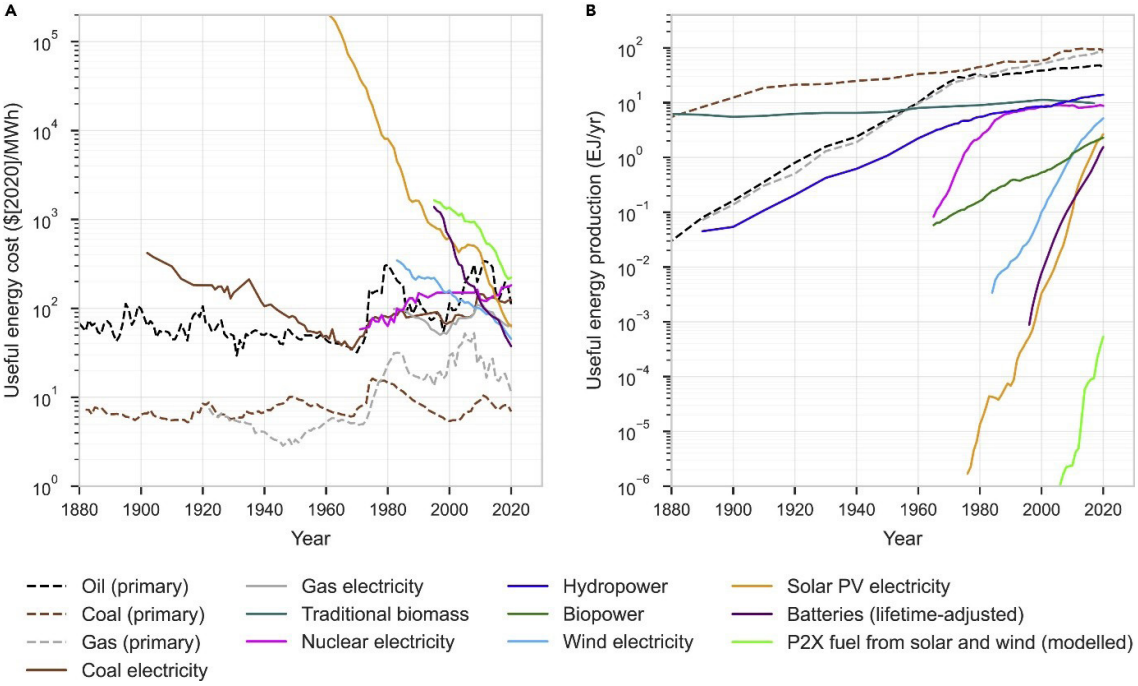
Spørgsmålet er hvorfor det sker, og hvorfor nu? Svaret finder vi ved at kigge på energiteknologierne og de markedsmæssige forhold.

## Energiskiftet fra råvare til teknologiprodukt

Teknologen Azeem Azhar pointerer ofte i det fremragende nyhedsbrev, *Exponential View*, at energiproduktionen er ved at skifte fra råvarer til et teknologiprodukt. Vi går fra geografisk koncentrerede, endelige energikilder, til globalt tilgængelige og vedvarende - men variable - kilder. Det mest slående er, at skiftet til en teknologidrevet produktion har udløst massiv vækst i produktionen og prisfald på 70-90% pr. årti, Azhar (2021).

Problemet for råvarerne er, at prisen for råvareenergierne siden 1880'erne har været nogenlunde konstante og at vækstraterne for produktionen er lavere end teknologiprodukternes som vist i figur 1. Olie, gas og kul, som moderne jæger-samlere i industriskala udvinder i naturen, og som de seneste tre århundreder har muliggjort industrialiseringen og

Figur 1 Historisk udvikling i elpriser og produktionsvolumen fra kul, gas, vand, sol, vind mv. El fra fossile kilder ligger fladt, de nye teknologier har eksponentielle prisfald og produktionsstigninger. Bemærk logaritmisk skala: rette linier udtrykker en eksponentiel udvikling.




Kilde: Way et al. (2022).

nutidens fantastiske rigdom, har nu samme skrøbelige markedsposition som de hænder og heste, de engang erstattede.

Sol, vind og batterier i kombination er nu billigere end fossile brændstoffer for ny kapacitet i USA, Lazard (2024) og Europa, Fraunhofer ISE (2024). I Danmark konkluderede Energistyrelsen i 2022, at vedvarende energi er konkurrencedygtigt uden støtte, Energistyrelsen (2022).

Ud over prisfordelen kan sol, vind og batterier leveres i mindre enheder. Det åbner for en massiv decentralisering væk fra få, offentlige kraftværker til et stort antal mindre, privatejede produktionsenheder. Energien skalerer ned og ud og er ikke længere forbeholdt magteliten. Som eksemplet fra Pakistan viser, undergraver teknologien uduelighed og korruption i den centrale statsmagt og giver store muligheder til selv små, private aktører.

Skiftet fra råvare til teknologi reducerer relevansen af sted. Kampen om hvem, der kontrollerer oliebrønden, er mindre vigtig, hvis der produceres energi alle steder. F.eks. kan området ved Den persiske Golf, der i 2015 havde 12 af verdens 15 største oliefelter og 65% af verdens kendte flydende oliereserver, blive mindre geopolitisk interessant, Smil (2017).

Vi er nu på en udviklingskurve, hvor væksten i energibehovet driver installationen af ny kapacitet. De nye, billigere teknologier, der samtidig er $CO_2$-neutrale, dominerer i de fleste markeder, og de falder fortsat i pris. De vil således gradvist erstatte store dele af det kapitalapparat, der i dag leverer de fossile energier. Groft sagt har godt ingeniørarbejde og iværksætteri nu skabt en situation, hvor simpel profitsøgning spiser $CO_2$-udledningen, helt uden brug for politik.

## Energi i Europa

Lad os se nærmere på hvordan de forskellige teknologier og deres hastige udvikling komplementerer hinanden til at skabe denne nye virkelighed.

## Energi er velstand

Hvis Adam Smith havde levet i dag, havde han måske skrevet ny bog om *the Energy of Nations*. Velstand og energi er nemlig uløseligt forbundet: Der findes ingen rige lande, der er energifattige. Sammenhængen er simpel: mere

energi, mere rigdom. Energistyrelsen opgør det som *energiintensitet*, og det kostede i 2023 ca. 268 gigajoule (GJ) energi brutto pr. million kroner bruttonationalprodukt (BNP) i Danmark. 268 GJ svarer til knapt 75 megawatt-timer (MWh).

## Energihistorien

Vaclav Smils anbefalelsesværdige *Energy and Civilization*, Smil (2017), beskriver den fascinerende udvikling af energien, og hvordan det har formet menneskene og samfundenes historie og rigdom.

Omregnet til livegne og heste lever vi i dag energimæssigt så rigt, som adelsfolk og konger for blot få hundrede år siden. De historiske energikilder var ret små: mennesket selv yder omkring 75 watt i korte spidsbelastninger, heste 300-1000 watt afhængig af størrelse og seletøj, og avancerede vandmøller fra nyere tid op til 10.000 watt. Teknologi har givet enorme fremskridt. Et seksspand for ploven i den tunge muld leverede under 5.000 watt, en traktor 100 år senere gjorde arbejdet med en 250.000 watt dieselmotor. Damptogene kørte 100 km/t på en 1 MW motor i 1900, hundrede år senere fløj folk 900 km/t i en Boeing 747 med 120 MW motorkraft, Smil (2017).

*Per capita* brugte fortidens jæger-samlere 5-7 GJ årligt (det samme som folk i slumkvarterne i Afrika og Asien i nutiden). Det tidlige Romerrige brugte omkring 18 GJ. Det industrialiserede England i 1880 lå over 100 GJ, mere end Japan i 1990. De rige europæiske lande, herunder Danmark, lå i 2000 over 150 GJ og USA over 300 GJ (Smil, 2017).

## Energimikset og udledningerne

Energiforbruget stiger globalt med ca. 4,3% om året, IEA (2025*, Electricity*). I EU er det stagneret, og strømforbruget per indbygger ligger på niveau med år 2002, EU (2024). Energipriserne i EU er nu ca. 2-3 gange højere end i USA og Kina. I 2024 stammede 24% af elproduktionen i EU fra atomenergi. Sol udgjorde ca. 11%, vind 17%, vandkraft 13%, bioenergi 6% og fossile brændstoffer ca. 29%. Andelen af sol, vind, vand og atomkraft er voksende, de fossile kilder er for nedadgående, Rosslowe og Petrovich (2025, 11). I Danmark er hele 68% af elproduktionen fra vind og sol, IEA (2025, *Electricity*).

$CO_2$-udledningen globalt var i 2022 omkring 33 milliarder ton. 31% var fra Kina, 27% fra andre lande i Asien, 14% fra USA og blot 7% fra EU-landene. Afrika, hvor EU uddeler støttemilliarder til grøn omstilling, udledte 4%. Væksten i udledningerne er hovedsageligt i Asien, EU (2024).

## Elmarkedet

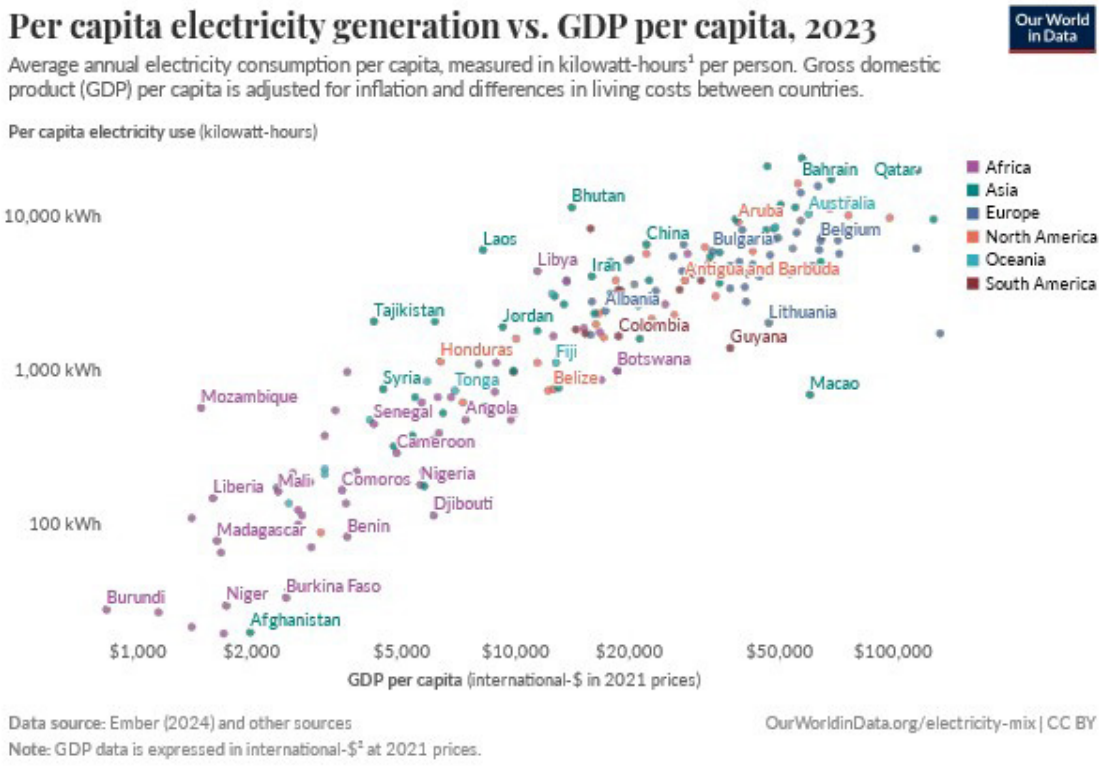
Priserne på energi observeres på markedet som spotpriser for el i korte kontrakter fra 15 minutters intervaller til næste dag, og op til længere kontrakter som store aktørers *power purchasing agreements* (PPAer) med typiske varigheder på op 10-20 år. Hvis aktørerne ikke rettidigt har afdækket risikoen og taget højde for konkurrencepresset fra nye teknologier, kan de lange kontrakter således komme til at koste dyrt.

Prisen på el *en gros* i Europa er typisk på 80-100 euro pr. MWh i EU (ca. 600-750 kr. pr. MWh). Der er dog en væsentlig regional variation. I forbindelse med fænomener som "*dunkelflaute*" (overskyede og vindstille vejrforhold), eller når et atomkraftværk har pludseligt driftsstop, kan spotpriserne somme tider stige til over 1000 EUR pr. MWh.

Under gode vind og solforhold kan spotprisen falde under nul. I starten af april 2025 faldt spotpriserne på Nord Pool-børsen flere gange under minus 100 EUR/MWh, Nordpool (2025). Negative priser skaber mulighed for, at producenterne kan tjene penge på at reducere produktionen hvis det er teknisk muligt, eksempelvis ved at bremse møllerne eller frakoble solcellerne for at sikre stabilitet i nettet.

Det er vigtigt at forstå, at el handles til marginalprisen. Nettet skelner ikke mellem, hvor strømmen kommer fra, så det er den dyreste energikilde i brug, der sætter prisen på al strømmen. Det skaber en markedsdynamik hvor billige energikilder kan være ganske profitable, så længe de ikke kan levere al efterspørgslen og markedsprisen sættes af dyrere energikilder. Når produktionen er højere end efterspørgslen, typisk når der er gunstige sol- og vindforhold og en stor andel af sol og vind i energimikset, kan priserne blive negative.

Figur 2. Elektricitetsproduktion og GDP per capita. Der er ingen rige, energifattige lande. Bemærk log-log skala, sammenhængen er eksponentiel.




Kilde: Our World in Data. CC-BY 4.0

## Elnettet

Ud over producenter og forbrugere, er de såkaldte transmissionssystemoperatører (TSOer) vigtige spillere på markedet. De flytter energien rundt. Denne infrastruktur er en vigtig forudsætning for et velfungerende elmarked. TSOerne er underlagt striks regulering og er i mange tilfælde offentligt ejede.

Elnettet i Europa er koblet sammen og udgør ét stort marked, men det er endnu ikke likvidt nok til at flytte energien rundt til, hvor der er mest brug for den. Priserne varierer over selv små afstande. Det gælder både indenrigs og udenrigs. Elbørsen Nord Pool giver god indsigt i prisvariationen. Et typisk eksempel på en gråvejrsdag (*day ahead* priser til levering 14. april 2025) viste priser på 1-3 EUR/MWh i Nordnorge og Nordsverige, 4 i Finland, 38-50 i Sydnorge og Sydsverige, men 97-98 EUR/MWh i Danmark og Tyskland, 104 i Polen, 88-94 i Belgien og Nederlandene og kun 36 EUR/MWh i Frankrig.

Noget af variationen skyldes omkostningen ved at flytte strømmen over store afstande: dels i form af et vist transmissionstab over store afstande og dels omkostningen til etablering og drift af den nødvendige kapacitet.

Af pladsmæssige årsager vil vi ikke behandle det nærmere her, blot konstatere at situationen gør lokal produktion mere attraktiv, og dermed bliver et lokalt energimiks, der leverer strøm under alle vejrforhold, ligeledes mere attraktivt.

## Varierende produktion og efterspørgsel

Efterspørgslen har stor sæsonvariation pga. faktorer som dagens længde og opvarmningsbehov. Ligeledes er der døgnvariation: strømforbruget stiger om aftenen og falder, når folk går i seng.

Udbuddet varierer ligeledes, da energikilderne har forskellige tekniske profiler. De variable kilder som vind og sol følger naturen. Varierbare kilder kan hurtigt tilpasse produktionen: vandkraft og gas ganske hurtigt, kul er langsommere, hvor værkernes koldstart og va-

riation tælles i timer. Såkaldt "*base load*", som atomkraft, leverer store mængder konstant energi hele døgnet, men giver store skift, når et værk i gigawatt-størrelse lukker for vedligehold i 1-2 måneder.

For at løse optimeringsproblemet mellem de mange aktører og teknologier og balancere udbud og efterspørgsel døgnet rundt, året rundt er der således brug for en portefølje af forskellige energikilder og lagringsteknologier, et effektivt marked og et veludbygget transmissionsnet.

Variationerne giver entreprenører mulighed for at købe billigt og sælge dyrt, hvis blot de har en omkostningseffektiv mekanisme til at flytte energien i tid og sted. Det kan være batterier til tidslig arbitrage og forsyningssikkerhed, eller "*power-to-x*", hvor billig strøm konverteres til brændstof, der både kan lagres og transporteres. Det kan også være produktion, der kan varieres op og ned efter strømpriserne.

For iværksætterne er det ikke kun at flytte energien i tid, der kan være interessant. Der er også et marked for finansielle produkter, der flytter risikoen om forsyningssikkerhed og prisvariationer rundt mellem aktørerne.

## Regulering af markedet

En vigtig forudsætning for, at energimarkedet fungerer, er, at der er et effektivt marked. Det kræver både et finansielt marked med de nødvendige instrumenter og en infrastruktur til at flytte energien rundt. Det store, samlede europæiske elnet er således fundamentalt, og tillader udnyttelse af komparative fordele, hvor f.eks. Danmark kan udnytte sin gode vindbeliggenhed, Frankrig sin atomkrafteksper tise og sydligere lande deres solpotentiale.

*Tekniske handelshindringer*

Det samlede elnet med markedspriser er udsat for politiske angreb. Hvis f.eks. en region eller et land har en forfejlet energipolitik, så stiger priserne også i nabolandene når markedet kompenserer ved at købe strømmen derfra. Dette kan give anledning til energinationalisme. Det ser man f.eks. med Norge og Sveriges ellers så billige vandkraftproduktion, der kunne agere profitabelt batteri for et større område, men som lokale politikere ønsker at afskære fra markedet gennem en teknisk handelshindring, nemlig modstand mod internationale el-forbindelser.

*Negative priser*

Elmarkedet er ikke fleksibelt nok til nemt at tilpasse udbud og efterspørgsel på kort sigt, da variable kilder fordrer mere fleksibilitet end tidligere. Dette kommer til udtryk gennem negative strømpriser.

Negative priser skyldes tre faktorer: tekniske, kontraktuelle og regulatoriske.

Da teknikken har lang levetid, sker tilpasningen langsomt. Det gælder både værker og elnettet. Transmissionskapaciteten er ofte utilstrækkelig når produktionen er høj, og offentligt ejerskab komplicerer beslutningen om hvordan det skal udvikles og finansieres. Kontrakterne har ofte 10-20 års varighed, og tilpasses derfor også ganske langsomt.

Tilpasningen af reguleringen, som også har stor betydning for kontrakterne, er afhængig af skiftende politisk vilje og luner gennem regulering af afgifter og prisaftaler. Den hyppige kritik om, at klimapolitikken gør strømmen dyrere, er nært forbundet med dette. Tarifaftaler, som tidligere også blev brugt i Danmark, gav politisk favoriserede leverandører (f.eks. vind og sol), lange kontrakter med ret til at levere til en fast, høj pris over markedsprisen og fortrinsret til at levere al deres strøm til nettet før andre leverandører, uanset efterspørgslen.

De tyske politikere har indrettet det således, at over 2/3 af landets 96 GW solenergi (med 19% årlig vækst) ikke har noget incitament til at reducere produktionen, når nettet er mættet. Det medførte negative spotpriser i 5% af timerne i 2024, IEA (2025, *Electricity*).

I dag er subsidier gennem *contract for difference*-aftaler (CfDer) blevet mere populære i EU-landene. Det er lange kontrakter, der forsikrer favoriserede leverandører mod udsving i priserne og er lidt mere markedsdrevne, da de kan udbydes på auktion.

Energistyrelsens hjemmeside oplyser, at danske solcelleanlæg kunne få garanti på fast mindsteafregningspris på 60 øre pr. kWh de første 10 år og 40 øre 10 år herefter. 60 øre/kWh svarer til omkring 80 EUR/MWh.

De kreative politiske indgreb går begge

veje og udmønter sig både i tilskud og konfiskation. F.eks. indførte EU i 2022 prisloft med 90% punktbeskatning af markedsindtægter for strøm solgt til over 180 EUR pr. MWh. Det er dog afskaffet igen. (EU, 2022). Regulering gør også forbrugerpriserne næsten 3 gange højere end *en gros*-priserne. Danmarks Statistik angiver, at prisen inklusive transport og nettariffer, afgifter og moms var 2,77 kr. pr. kWh i første halvår 2024, svarende til 371 EUR pr. MWh. (DST, 2024).

Denne skævvridning gør, at afgiftsfritaget privat egenproduktion, typisk på små, private sol- og batterianlæg, ofte er rentabelt, selv om enhedsprisen for produktionen er højere end ved anlæg i hektarskala. Den politiske dimension vil vi dog ikke beskæftige os med i denne artikel.

## Prismodel for energiproduktionen

For at følge væksten i energiforbruget bygges der løbende ny kapacitet. Til anlægsformål bruger man begrebet LCOE, *levelized cost of electricity*, der er den forventede nettonutidspris for produktionen over hele anlæggets levetid inkl. finansiering, anlæg, drift, forbrug, afgifter, dekommissionering osv. Politisk regulering har således indflydelse på rentabiliteten.

Eksisterende infrastruktur kan stadig være konkurrencedygtige med nybyg i restlevetiden så længe de marginale udgifter til brændsel, drift og vedligehold er lave nok. I lande med lave energiafgifter og adgang til billigt kul eller gas vil disse kilder kunne levere konkurrencedygtig energi fremover. Det gælder også levetidsforlængelse for atomkraftværker, da de store anlægsomkostninger allerede er afskrevet og brændsel er relativt billigt.

## Teknologierne

*Olie, gas og kul*

29% af elproduktionen i EU i 2024 stammede fra fossile kilder, og sammen med andre anvendelser som benzin og diesel til transport er det stadig en væsentlig energikilde, og der er et massivt, globalt kapitalapparat forbundet hermed. Trods store teknologiske fremskridt, højere udnyttelsesgrad og massiv udbygning af produktionsvolumen gennem de seneste 150 år er de fossile brændstoffer ikke blevet væsentligt billigere, Smil (2017). Kul har de seneste 150 år haft nogenlunde konstant inflationskorrigeret pris med fluktuationer inden for en faktor tre, Farmer og Lafond (2016), Way et al. (2022).

Udvindingsteknologien er blevet bedre gennem årene. I nyere tid f.eks. *fracking*, hvor man øger produktionsvolumen fra f.eks. skiffergasfelter ved at presse væske ned i boringen under højt tryk, der slår hul i skifferlagene så der frigøres mere gas til udvinding.

Gas med *combined-cycle* gasturbiner (CCGT) er den billigste af de fossile energiformer i Europa. Siden 2020, hvor priser på både sol- og vindenergi faldt under CCGT, har ingen af de fossile energikilder været konkurrencedygtige for nye anlæg, Azhar (2021). Fossile kilder har den ulempe, at de skal betale for brændsel. Brændselsmæssigt er brunkul (lignit) og kul de billigste fossile energikilder med henholdsvis 2,3 og 11,6 EUR pr. MWh og gas omkring 38 EUR pr. MWh (2024-priser). Til gengæld er anlæg og drift af kulkraftværkerne væsentligt dyrere end gasværker, Fraunhofer ISE (2024, tabel 5 og 8). Denne konkurrence mellem de forskellige fossile kilder har været årsag til omstillingen fra kul til gas, som har fundet sted i løbet af de seneste 50 år.

Uanset politisk standpunkt har fossile brændstoffer en eksistensberettigelse til bl.a. kemisk produktion, der ikke kan substitueres af teknologibaserede energikilder. Dette udgør i størrelsesordenen 10% af produktionen (7% i USA i 2018, US Energy Information Administration (2018).

Fossile kilder (særligt gas) egner sig modsat mange alternativer til variabel produktion, der kan tilpasses efterspørgslen. Det betyder, at eksisterende fossile anlæg (og vandkraft) i en årrække fremover vil få en rolle som forsikring for forsyningssikkerheden under spidsbelastninger. Da de således er konkurrencedygtige i færre timer af døgnet, betyder det, at deres faste omkostninger skal forrentes over en mindre produktion. Dette er årsagen til, at konkurrencen fra sol og vind gør strømmen dyrere, hvis man kigger planøkonomisk på systemet som et hele.

Fraunhofer estimerer, at LCOE for de billigste gasturbiner i Tyskland i 2024 var omkring

109-181 EUR/MWh og 154-326 EUR/MWh, hvis de kun anvendes til spidsbelastninger, Fraunhofer ISE (2024).

*Vindenergi*

El-prisen fra land- og havvind (LCOE) faldt henholdsvis 70% og 63% i perioden 2010-2023 (IRENA, 2024).

Som tommelfingerregel vokser vindmøllers produktion proportionalt med vingelængden i anden potens (det udspændte areal). Møllerne er dog blevet så store, at skaleringsreglerne isoleret set taler imod større møller. Andre forhold driver størrelserne op. Hvor der er plads til mange møller, kan små, gamle møller med 40-100 meters navhøjde på 1,5-2 MW være konkurrencedygtige, men når pladsen er begrænset, installeres ofte større, væsentligt dyrere møller for at maksimere elproduktionen på stedet. For havvind er installation og infrastruktur så dyrt, at kunderne foretrækker så få og så store møller som muligt, selv om prisen for selve møllerne bliver uforholdsmæssigt højere.

Det giver mølleproducenterne den ulempe, at de skal bygge færre af hver af de nye modeller samtidig med at størrelsen stiller større krav til produktionsanlæg, transport og installation. Det giver omvendte skalafordele og virker således hæmmende for den videre udvikling.

Vindenergi er variabel, og møllerne producerer ikke deres maksimale mængde strøm hele tiden. Omregningen fra maksimal til faktisk årlig produktion udtrykkes ved en såkaldt *kapacitetsfaktor*. Nyere møller har typisk en *kapacitetsfaktor* på 35-50% og Vestas hævder at deres nye havvindsmodel V236 når op på 60%. Det betyder, at en møllepark af disse med en nominel kapacitet på 100 MW forventes at producere omkring 60 MW i gennemsnit over et år.

Vinden er ulige fordelt på Jorden og varierer efter bl.a. breddegrad, topografi og andre lokale forhold. Kystnære områder og lande som Danmark har generelt højere middelvind og dermed bedre produktionspotentiale, medens områder nær ækvator generelt har væsentligt mindre vind.

Vindenergi som megaprojekt er attraktivt fra et anlægssynspunkt, da det bygges af samlebåndsproducerede moduler. Forventet prisoverløb er blot 13% og blot 7% af projekterne har et prisoverløb på mere end 50% (blandt disse er middeloverløbet 97%), Flyvbjerg og Gardner (2022). Det afspejler sig også i markedet, hvor der i EU-landene i perioden 2000-2022 blev installeret over 200 GW ny vindkraft, en forøgelse på 1655% (EU, 2024, p. 101).

Fraunhofer ISE (2024) estimerer, at LCOE for vindenergi i Tyskland i 2024 var omkring 43-92 EUR/MWh for landvind og 55-103 EUR/MWh for havvind.

*Solenergi*

Prisen for solcelleenergi faldt med 90% fra 2010-2023 (IRENA, 2024). Solceller har de sidste 20 år været den hurtigst voksende energikilde, og solenergiproduktionen er fordoblet hvert tredje år siden 2012, Graham, Fulghum og Altieri (2025). Udviklingen har været så hurtig, at det Internationale Energiagentur (IEA) konsekvent underestimerer væksten: i 2010erne underestimerede deres årlige femårsprognoser typisk væksten med 235%. Væksten har overgået selv de mest entusiastiske prognoser fra Greenpeace, Economist (2024). Som Azhar formulerer det, koster solpaneler nu mindre end krydsfiner. Det er installationsomkostningerne, herunder knaphed af kvalificeret arbejdskraft, der dominerer anlægsprisen.

Solenergi er også variabel. Ud over at svinge mellem dag og nat er der en faktor 4 forskel på de bedste og dårligste placeringer i verden. En faktor er sæsonvariation – i Danmark er produktionen for en celle omkring 6,32 gange større om sommeren end om vinteren, i Pakistan er sæsonvariationen kun ca. 1,37. Danmark er det 204.-bedste land i verden at placere solceller, med en kapacitetsfaktor omkring 10% medens de populære solcellelande som Kina, Saudi-Arabien og ovennævnte Pakistan har kapacitetsfaktorer på op til 20-25%, Verdensbanken, ESMAP )2020, landenes fakta-ark).

Solenergi skalerer ned og ud og kan installeres decentralt i små enheder af private: det er de samme celler, der anvendes i små opladere på et par watt til mobiltelefoner som i de største anlæg. Teknologien er simpel at producere og nem at vedligeholde.

De små, samlebåndsproducerede moduler gør solenergi som megaprojekt særdeles attraktivt. Forventet prisoverløb er blot 1%, og blot 2% af projekterne har et prisoverløb på mere end 50% (med et middeloverløb blandt disse på 50%), Flyvbjerg og Gardner (2022).

Det afspejler sig også i markedet, hvor der i EU-landende i perioden 2000-2022 installeret kapacitet steg fra 0,175 GW til over 206 GW solpaneler (nominel kapacitet). Knapt halvdelen af dette blev installeret i løbet af de tre sidste år (EU, 2024, p. 107).

Fraunhofer estimerer, at LCOE for solenergi i Tyskland i 2024 var omkring 41-144 EUR/MWh afhængig af solindstrålingen på stedet, og skala, da småanlæg som f.eks. de populære private "balkonkraftværker" er dyrere pr. energienhed end industrielle installationer, Fraunhofer ISE (2024).

*Batterier*

Prisen for litium-ion batterier faldt ca. 90% fra 2010 til 2023 (IEA, 2024). Udviklingen blev drevet af en 140 gange forøgelse af elbilsalget i 2010erne og en 665 gange større batterieftersporgsel, da bilerne fik større batterier, Azhar (2021).

Udviklingen er drevet af tre segmenter. Det domineres i øjeblikket af batterier til elbiler (det meste), der voksede 40% i 2023, og de seneste år har batterier til energilagring til elnettet, de såkaldte "*Battery Electric Storage Systems*" (BESS) vundet frem med en vækst på over 100% i 2023. Endelig er der et vigtigt segment med milliarder af små batterier til telefoner og computere mv., IEA (2024).

Batterier til elbiler er en vigtig teknisk nøgle til den "grønne omstilling", da transport (og dermed olie), udgør en stor del af $CO_2$-udledningen. Det næste skridt op i skala er BESS-kategorien, hvor væksten i vind- og solenergi, skaber behov for lagring i stor skala.

De mest populære batterityper er litium-ion og en variant med mindre knappe råvarer, litium-jern-fosfat (LFP) batterier. De seneste år er de noget større og tungere natriumbaserede batterier blevet udviklet til at være tæt på konkurrencedygtige, og til elnettet, hvor vægt og plads til anlæggene ikke er så begrænsende, er det en god teknologi med stor råvaretilgængelighed og stort produktionspotentiale. Det samme gælder de lidt Storm P-agtige *redox flow* batterier, hvor energien lagres i tanke med en flydende elektrolyt, der er særligt gode til sikker langtidslagring i større anlæg, IEA (2024). Innovation på batterikemiområdet har således undermineret det gamle argument om, at der ikke er råvarer nok til alle de batterier.

Knapt 80% af den eksisterende BESS kapacitet var i 2023 små stykstørrelser på op til 30 kilowatt-timer (kWh) - nok til at dække forbruget i et typisk dansk parcelhus to-tre dage. Segmentet med de store anlæg til elnettet med over 1 MWh var 13%, Fraunhofer ISE (2024). Markedet er således startet nedefra.

På de seneste store udbud fra Saudi-Arabien og Kina i slutningen af 2024 og i 2025 er der solgt BESS systemer i gigawattstørrelser til omkring 66 USD/kWh, svarende til 61 EUR/kWh inklusive 20 års vedligeholdelse, Shaw (2024). Til sammenligning koster anlæg af solceller i industriskala 700-900 EUR pr. kWh og biomasseanlæg 3473-5788 EUR/kWh, Fraunhofer ISE (2024). Det betyder at marginalprisen for at tilføre lagring til variable kilder nu er ganske beskeden.

Til disse priser kan et typisk dansk parcelhus lagre en hel måneds elforbrug i et anlæg til under 150.000 kroner (plus afgifter). Til sammenligning koster et lille batteri til blot en enkelt dags forbrug i dag omkring 50.000 kroner plus moms i detailhandlen.

Fraunhofer estimerer, at LCOE for solceller er 41-144 EUR/MWh og stiger til 60-225 EUR/MWh med batterilagring. Denne beregning er baseret på batteripriser på 400-1000 EUR/kWH, hvilket er omkring 10 gange højere end de nævnte udbud fra 2025, Fraunhofer ISE (2024).

*Atomkraft*

Atomkraft leverer konstant energi, såkaldt *base load*, der ikke tilpasses variationen i efterspørgslen. En typisk reaktor producerer i størrelsesordenen 1 GW. Teknisk er værkerne uegnede til variation, da det skader reaktoren. Franske Électricité de France (EDF) har dog reaktorer der i løbet af få timer kan variere produktionen fra 50%-100%, IAEA (2018). Et veldrevet atomkraftværk har en meget høj ka-

pacitetsfaktor: det leverer trods jævnlige vedligeholdelsespauser strøm lidt over 90% af tiden.

Der var ved udgangen af 2023 blot 413 strømproducerende reaktorer i verden med en effektiv produktion på 372 GW(e). Der er yderligere 59 under opførelse. Mediantiden for konstruktion af nye reaktorer har siden 2016 været 91 måneder eller 7,6 år, IAEA (2024). Samtlige byggestarter de seneste fem år er baseret på russisk eller kinesisk teknologi, IEA (2025, GER).

Desværre er atomkraftværker blandt de megaprojekter, der har allerstørst forventet budget- og tidsplansoverløb. Samlet har de et forventet budgetoverløb på 120%. Hele 55% af projekterne har mere end 50% budgetoverløb og blandt disse er middeloverløbet 204%, Flyvbjerg og Gardner (2022). Et eksempel er den nye reaktor i Olkiluoto i Finland, der blev vedtaget i 2005 og først startede elproduktionen i 2023, 14 år senere end planlagt.

De store faste omkostninger gør, at atomkraftværker først er *cash flow* positive efter 20-30 år. De er således ikke en attraktiv investering på det frie marked, IEA (2025). Levetidsforlængelse af eksisterende reaktorer kan være interessant, da de variable omkostninger er begrænsede. Brændsel koster 8 EUR/MWh for uran, Fraunhofer ISE (2024, tabel 5).

Fraunhofer estimerede i 2024 energiprisen (LCOE) for nybygning af tyske atomkraftværker til at ligge i spændet 136-490 EUR/MWh fraregnet omkostninger til bortskaffelse af atomaffaldet. Den store prisspænd skyldes bl.a. høje anlægsomkostninger, konkurrencen og variabiliteten fra bæredygtige energikilder i nettet og førnævnte tekniske faktorer, Fraunhofer ISE (2024).

*Små modulære reaktorer*

Billige, simple, små reaktorer, der bygges hurtigt, har været en drøm siden atomkraftens spæde start. Allerede i 1953 skrev lederen af de den amerikanske flådes atomreaktorprogram, admiral Rickover, et berømt memorandum om disse drømmereaktorer, som han kaldte "akademiske", i modsætning til praktisk realiserbare, Rickover (1953).

Der er nu to små, modulære reaktorer (SMR'er) i drift i verden, en i Rusland og en i Kina, og der findes yderligere to testreaktorer. Der er dog voksende interesse for området og 68 designvarianter undervejs, IAEA (2024).

## Iværksætterperspektivet

Modsat politikere og teknokrater, der med planøkonomisk selvsikkerhed prøver at løse et globalt optimeringsproblem for det samlede elmarked, tager iværksætterne en realistisk, taktisk tilgang. De ser et enormt marked med plads til en bred portefølje af produkter i energimikset. Iværksætterne og deres investorer søger høje vækstrater, og fokus er på at finde de nicher, hvor netop deres teknologier er konkurrencedygtige, og hvor de kan flytte nogle grundlæggende antagelser i *status quo* og skabe nye, "unfair" fordele, der kan føre dem langt videre derfra.

Udgangspunktet er således en accept af altings foranderlighed og en leg i det rum, der opstår, hvor nye idéer tager over fra de gamle. Det er i den kontekst, vi skal forstå teknologiprodukterne. Om billig strøm fra variable kilder skulle øge de samlede strømpriser eller drive spotpriserne til nul for en stund, er blot nye muligheder til den næste iværksætter.

## Danske SMR-iværksættere

På trods af, at atomkraft endnu ikke har opnået eksponentielle skalafordele, angiver IEA, at der nu investeres 65 milliarder USD årligt i atomkraft, og at de erklærede politiske klimamål og tilhørende statsstøtte vil betyde samlede investeringer på 670 milliarder USD frem til 2050, hovedsageligt i de velkendte, store reaktorer i gigawatt-klassen, IEA (2025).

De danske SMR-startups, Copenhagen Atomics og Saltfoss (tidligere Seaborg Technologies), arbejder på at rokke ved dette marked ved at producere standardiserede, små atomkraftværker på samlebånd, så priserne og leveringstiderne bliver lavere og mere forudsigelige.

Drømmen er at kunne levere *base load* til 20 EUR/MWh. Hvis det lykkes, bliver atomkraft økonomisk attraktivt på det frie marked, ikke bare som alternativ til de store reaktorer, men også længere nede i markedet, hvor det kan finde nye og flere anvendelser.

Investeringstesen i disse startups er, at de lave priser vil gøre dem til den foretrukne *base*

*load* i energimikset som supplement til de variable vind og sol, og at de unikt i forhold til disse også kan bruges som små kraftvarmeværker, der kan levere varme til industrien. På den måde konkurrerer de ikke nødvendigvis direkte mod sol, vind og batterier, der hastigt falder i pris, men om at overtage pladsen fra de fossile kilder og levere billig forsyningssikkerhed, også på helt lokalt plan som f.eks. til de energihungrende datacentre.

## Porteføljeeffekter i energimikset

Copenhagen Atomics har en interessant vinkel på *base load* problemet, hvor de i stedet for at justere værkets produktion til efterspørgslen vil justere efterspørgslen til værkets varierende overkapacitet. Ideen er at kombinere det med et *power-to-x* anlæg fra Topsøe, der producerer ammoniak, til brug som gødning eller brændstof. Anlægget er designet til variable kilder som vind og sol, og kan hurtigt variere produktionen op og ned og dermed matche overkapaciteten, når efterspørgslen i nettet falder.

Det er et fint eksempel på, hvorfor en portefølje af komplementære energiteknologier er vigtige for robustheden og økonomien i det samlede system. Under passende antagelser virker kombinationen som en forsikring mod lave spotpriser, når sol og vind producerer meget, samtidig med at reaktoren kan udnytte sin *base load* fordel og levere til nettet til høje spotpriser, når sol og vind ikke kan.

## Små moduler og hastighed skaber nye markeder

Det er ikke alle, der har brug for 1 GW atomkraft fra en reaktor, der måske er klar om 10 år. Hvis man skal bruge strøm til et hus eller en fabrik i denne uge eller inden for få måneder har sol, batterier og vind nogle klare fordele.

Fordelen ved sol og batterier er, at de skalerer ned og kan bygges decentralt i små stykstørrelser. Vind kræver mere ekspertise til drift og er vokset til en større mindsteenhed (få MW), men har stadig en lignende dynamik. Det gør det nemt at etablere et marked og bygge op derfra ved at fylde de huller, hvor de centrale kraftværker er for store eller dyre til at komme i betragtning.

Den anden store fordel ved sol, vindenergi og batteriteknologierne er, at de er modulære, standardiserede samlebåndsprodukter. Vestas alene står f.eks. for driften af over 55.000 møller. Det gør arbejdet rutinepræget, sænker priserne og reducerer risikoen. Tidslinjerne er tilsvarende korte og tælles gerne i dage, uger eller måneder. *Investor Relations* hos BYD Energy Storage, en af verdens største batterileverandører, oplyser, at de har leveret et 1,2 GWh BESS anlæg fuldt installeret på blot en måned i 2024. Det står i skærende kontrast til de store, statslige atomkraftværker eller vandkraftværker, der ofte kræver mange års arbejde og store mængder kapital inden den første watt leveres. Set fra kundesiden betyder det, at teknologierne åbner døren for energi til lavere kapitalbehov og lavere risiko over kortere tid og dermed en række nye anvendelsesmuligheder. Selv hvis prisen pr. MWh isoleret set bliver højere end alternativerne kan den bedre finansielle profil være nok til at gøre de nye teknologier til det bedste valg.

## Skalalove

Det betyder, at de nye teknologier har store skalafordele i markedet. Tommelfingerreglen for teknologiprodukter er, at den lave ende af markedet altid spiser den høje. Volumen skaber læring og produktudvikling, og det driver priserne ned og øger markedet.

Et kendt eksempel på skalalove er "Moores lov" om fordoblingen af transistorantallet i mikrochips hvert andet år. Skalalove gælder også for energiteknologi med høj volumen: Solcellepriser pr. watt faldt med en faktor 2330 fra 1956 til 2013, og udviste et prisfald på omkring 10% årligt i perioden fra 1980 til 2016, medens A-kraftstrøm steg med en faktor 2-3. På råvarefronten, derimod, har den inflationskorrigerede kulpris svinget med en faktor tre over de seneste 150 år uden nogen langsigtet trend, Farmer og Lafond (2016).

Økonomer taler om Wrights lov, der handler om hvor meget priserne falder når produktionsvolumen fordobles, den såkaldte læringsrate. Solceller har en læringsrate over 20%, de mere modne vindteknologier omkring 10%, Azhar (2021). Væksten driver således priserne ned.

Skalafordelene er ikke nødvendigvis varige. Når vindmøllestørrelsen stiger fra få MW til møller på 10-15 MW, som det især er tilfældet for havvind, kan antallet af producerede møller falde, selv når den leverede elproduktionskapaciteten stiger. Det betyder at skalafordelene forringes. Et klassisk eksempel på denne dynamik er computermarkedet. Producenterne af mainframes, og lidt senere minicomputere, satsede på den høje ende af markedet med større og større maskiner og høje profitmarginaler. De leverede færre enheder og blev udkonkurreret af de billige maskiner med stor volumen, nemlig PC'erne, Christensen (1997).

## Gratis vind og solskin er en unfair fordel

Iværksættere søger gerne "unfair" konkurrencefordele. Det har de nye energiteknologier over de fossile kilder i og med, at de får gratis brændsel fra sol og vind. Tilmed er energien til stede lokalt, hvilket er en yderligere fordel, hvis man f.eks. har en afsidesliggende mine, der transporterer diesel ind til sine generatorer. Det sænker både de variable omkostninger og den risiko, der er forbundet med udsving i råvarepriser og politiske indgreb.

Så længe der ikke kommer afgifter på vind og solskin, vil de nogenlunde konstante historiske råvarepriser for fossile kilder sammenholdt med de fortsatte eksponentielle forbedringer i teknologierne føre til, at teknologierne overtager større og større nicher, uanset om der er $CO_2$-afgifter eller ej. Den store ubekendte er ikke om, men hvor meget af markedet de kommer til at overtage, inden det når et mætningspunkt, hvor det bliver urentabelt og noget nyt tager over.

## Energiteknologierne underminerer planøkonomierne

Når strømmen sætter ud, er villigheden til at betale for en lille forsyning ganske høj, som rejsende til energibegrænsede lande kender fra lyden af generatorerne, der hoster i gang i velhaverkvartererne, hver gang strømmen svigter. Når teknologien driver priserne ned, kan flere og flere købe denne forsyningssikkerhed.

Modsat de centraliserede, statslige forsyningsselskaber, hvor alt er i stor skala, giver energiteknologierne mulighed for, at folk i små skridt og med små investeringer kan etablere elforsyning hvor behovet opstår. Nedskaleringen til små, billige enheder skaber således en banebrydende frihed, ikke mindst i de fattigste egne, hvor den første kilowatt-time skaber muligheden for køleskab, lys og opladning af telefonen og bedre deltagelse i økonomien. Når alternativet er ingenting, kan et lille soldrevet kunstvandingsanlæg i Afghanistan være afgørende for valmuemarkens udbytte og skabe grundlag for diversificering til flere afgrøder, Azhar (2021).

I eksemplet fra Pakistan giver det befolkningen friheden til at undslippe strømudfald og galopperende priser i det statslige energisystem og skabe deres egen rigdom. Decentral energi bliver folkets modtræk mod mere eller mindre "failed states".

## Perspektiver for Afrika

Tager vi iværksætterbrillerne på, kunne Afrika være et godt bud på, hvor teknologierne kan fylde hullerne i den lave ende af markedet. Det bliver interessant at sammenligne med EUs topstyrede tilgang hvor store, statslige projekter skal sikre en "retfærdig", grøn omstilling på kontinentet.

Der er 600 millioner mennesker uden adgang til strøm i Afrika, hovedsageligt på landet. Egypten, Algeriet og Sydafrika står for over halvdelen af Afrikas elforbrug. Forbruget, der er begrænset af manglende udbud, steg kun 3,4% i 2024 (IEA, 2025). Selv i byerne bruger folk i slumkvartererne i Afrika (og Asien) i nutiden ikke mere energi end fortidens jæger-samlere, 5-7 GJ årligt *per capita*. Danmark er over 150 GJ og USA over 300 GJ (Smil, 2017).

Afrika har over 60% af de bedste solenergiområder i verden, IEA (2022). Som vi så i eksemplet fra Pakistan gør det de inkrementelle, decentrale løsninger attraktive. Særligt på landet, hvor man nu kan skabe små, lokale elnet hvor det nationale forsyningsnet ikke når ud eller slår til. Markedet peger allerede den vej. Vindenergiproduktionen steg omkring 4,5% i Afrika i 2024. Solenergiproduktionen steg 46%, IEA (2025, *Electricity*). For perioden 2015-2022 var væksten omkring 16% årligt for vind og 29% årligt for solceller, IEA Data Ser-

vices (2024, *Afrika*).

Vi kan næppe forudsige de millioner af anvendelser folk på kontinentet vil finde for de stadigt billigere energikilder. Dynamikken kender vi dog. Lavere priser og større tilgængelighed vil udvide markedet og gøre energien tilgængelig for folk med mindre og mindre kapital. Hvor forholdene ellers er til det, vil det betyde ikke bare mere energi, men også mere rigdom.

## Litteratur


Azhar, Azeem (2021): *Exponential. Order and Chaos in an Age of Accelerating Technology*, Penguin.

Azhar, Azeem og Warren, Nathan (2024): "The rooftop energy revolution no one knew about," *Exponential View* (nyhedsbrev, 14. august 2024).

Christensen, Clayton M. (1997): *The Innovator's Dilemma*. Harvard Business Review Press, Boston.

The Economist (2024): "Sun Machines," *The Economist*, 22. juni 2024. London.

Energistyrelsen (2022): *Analyse af det fremadrettede behov for teknologineutrale udbud*. 13. juni 2022. Energistyrelsen, København.

Europa-Kommissionen, Generaldirektoratet for Energi (2024): *EU energy in figures, Statistical Pocketbook 2024.* Den Europæiske Unions Publikationskontor, Luxembourg.

Den europæiske Union (2022): *Rådets forordning (EU) 2022/1854*. Bruxelles.

Farmer, J. Doyne og Lafond, François (2016): "How predictable is technological progress?" *Research Policy*, Volume 45, Issue 3, April 2016, p. 647-665. Elsevier, Amsterdam.

Flyvbjerg, Bent & Gardner, Dan (2022): *How Big Things Get Done*. Currency, New York, 2023.

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE (2024): *Levelized Cost Of Electricity Renewable Energy Technologies. July 2024.* Freiburg, Tyskland.

Graham, Euan, Fulghum, Nicolas og Altieri, Katye (2025): *Global Electricity Review 2025*, Ember, London.

International Atomic Energy Agency (2024): *Small Modular Reactors: Advances in SMR Developments 2024*. IAEA, Wien.

International Atomic Energy Agency (2024): *Nuclear Power Reactors in the World, Reference Data Series No. 2*, IAEA, Wien.

International Atomic Energy Agency (2018): *Non-baseload Operation in Nuclear Power Plants: Load Following and Frequency Control Modes of Flexible Operation*. *IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T-3.23,* IAEA, Wien.

International Energy Agency (2022): *Africa Energy Outlook 2022*, IEA, Paris.

International Energy Agency (2024): *Batteries and Secure Energy Transitions*, IEA, Paris.

International Energy Agency (2025): *Electricity 2025.* IEA, Paris.

International Energy Agency (2025): *Global Energy Review 2025.* IEA, Paris.

International Energy Agency (2025): *The Path to a New Era for Nuclear Energy.* IEA, Paris.

IRENA (2024): *Renewable power generation costs in 2023*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

Lazard (2024): *Levelized Cost of Energy+ (LCOE+).* 17. udgave. Lazard, New York.

Rickover, Hyman (1953): *Paper Reactors, Real Reactors.* Så vidt jeg ved var det oprindeligt hemmeligstemplet, men blev senere offentliggjort i forbindelse med en kongreshøring i USA i 1970. Man kan læse det på https://www.nr-ha.org/books-sources/editorial-paper-reactors%2C-real-reactors-(1953)

Rosslowe, Chris og Petrovich, Beatrice (2025): *European Electricity Review 2025*. Ember, London.

Shaw, Vincent (2024): "PowerChina receives bids for 16 GWh BESS tender with average price of $66.3/kWh," *ESS News*, 9. december 2024. PV Magazine, Tyskland.

Smil, Václav (2017): *Energy and civilization: a history*. MIT Press, Cambridge.

US Energy Information Administration (2018): "Today in energy, 6. April 2018," EIA, Washington.

Verdensbanken, ESMAP (2020): *Global Photovoltaic Power Potential by Country*. Washington.

Way, Rupert, *et al.* (2022): "Empirically grounded technology forecasts and the energy transition," *Joule*, Volume 6, Issue 9, 2057 – 2082. Cell Press (Elsevier), Amsterdam. (*Illustrationerne fra artiklen er licenseret under Creative Commons CC-BY 4.0, under følgende betingelser: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)*

## Data

IEA Data Services (opdateret juli 2024). Energistatistik fra IEA, Det international Energiagentur, Paris. (*Data er fra følgende år: Island (IS) 2023; Danmark (DK) 2023, Pakistan (PK) 2022, Uruguay (UY), 2022, Afrika (region), 2022*).

DST: Danmarks Statistik (2024): *Energipriser*. https://www.dst.dk/da/Statistik/emner/miljoe-og-energi/energiforbrug-og-energipriser/energipriser

Danmarks Nationalbank (2025): Anvendt vekselkurs: 7,46038 kroner pr. EUR (Nationalbankens fastkursmål). Danmarks Nationalbank, København.

Nord Pool (2025): "Day Ahead Prices", Nord Pool Group, Lysaker.

Our World in Data: *Per capita electricity generation vs. GDP per capita, 2023* (*Illustrationen er licenseret under Creative Commons CC BY 4.0 licensen https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).*

# Lad os give kernekraften en renæssance

Morten Sørensen*

Debatten om fremtidens energisystem i Danmark og Europa domineres af vind og sol, men der er en voksende kløft mellem ambitioner og realiteter. Elektrificering og grøn omstilling kræver mere end gode hensigter – det kræver styrbar energi i enorme mængder. Her er kernekraft en af de få løsninger, der reelt kan levere stabil, lavemissions elektricitet i stor skala. I artiklen gennemgås kernekraftens rolle og potentiale i energimikset, og det begrundes, hvorfor det er på tide at give teknologien en ny chance – også i Danmark.

Verdens energiforbrug vokser støt – og vil fortsætte med at gøre det i årtier. Et enkelt eksempel illustrerer hvorfor: 23 millioner indbyggere i Florida bruger mere elektrisk energi end hele det afrikanske kontinent med 1,2 milliarder mennesker. Det globale forbrug af fossile brændsler vokser stadigvæk hurtigere end vind og sol. Ifølge IEA (2022) ser verdens primære energiforbrug (altså energien før den bliver omdannet til elektricitet, varme eller brændstof) ud som angivet i tabel 1.

Med ovenstående in mente må det være klart, at al snak om zero-emission i 2050 er yderst tvivlsomt, men skal man bare lidt i den retning, så bliver der brug for alle lavemissions energikilder, herunder vind, sol og kernekraft.

Tabel 1. Verdens primære energiforbrug fordelt på energikilder

| Energikilde | Andel af verdens primære energi |
|---|---|
| Kul | 28% |
| Naturgas | 23% |
| Hydro | 3% |
| Kernekraft | 5% |
| Vind og sol | 3% |
| Biomasse | 9% |
| Olie | 30% |

Kilde: https://www.iea.org/world

## Energiforsyning i Danmark – illusioner og realiteter

I Danmark tales der meget om vind og sol, men de udgør kun 13% af den primære energiforsyning[1]. De 70% fra vind og sol, som ofte nævnes, gælder kun elektricitet, der udgør cirka 19% af Danmarks samlede energiforbrug. Biomasse står for hele 34% – og en tredjedel heraf importeres.

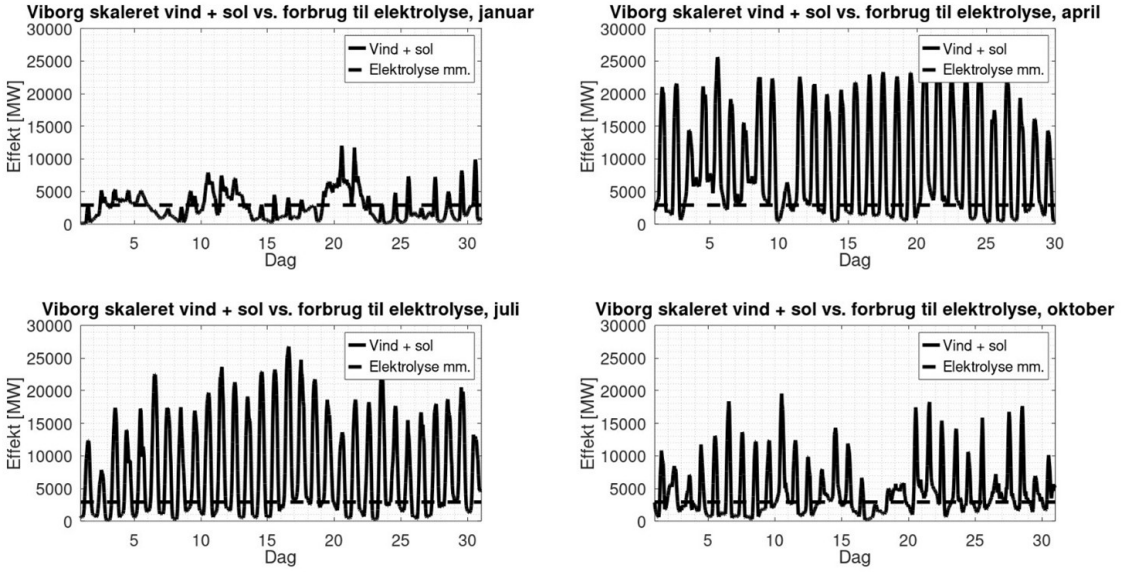
### *Biomasse – ikke så grøn som antaget*

Biomasse betragtes ofte som $CO_2$-neutral, men dette afhænger helt af bæredygtig skovdrift og genplantning. Skulle Danmarks biomasseforbrug dækkes af dansk skov, ville det kræve 35% af landets areal – urealistisk. Importen, ofte fra USA, gør klimaregnskabet værre. Klimarådet vurderede allerede i 2018, at Danmark bruger tre gange mere biomasse, end hvad der globalt anses som bæredygtigt. Bio-

1 https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/energistatistik_2023.pdf

*Morten Sørensen, cand.scient. i fysik og ph.d. i elektromagnetisk interferens. Formand for organisationen Reel Energioplysning. ms@reo.dk

Figur 1. Hvis alle danske kommuner per areal udbygger vind og sol halv så meget som Viborg kommune, så vil produktionen se således ud. Den vandrette stiplede linje er afsættet til elektrolyse.




masse er derfor ikke en skalerbar løsning på globalt plan, og Danmark er ikke noget foregangsland, for der var ikke meget skov tilbage, hvis lande som Bangladesh med 175 millioner mennesker på et areal omtrent 3,4 gange større end Danmark fulgte denne vej.

## To fakta om elektrisk energi

For at komme væk fra de fossile brændstoffer skal samfundet elektrificeres så meget som muligt, og derfor er der lige nu to tekniske fakta, der skal på plads:

1. Elektrisk energi skal omsættes i samme sekund, den produceres, det er ikke som boller til fryseren, der er ikke noget gammel strøm i ledningerne.
2. El kan ikke bare sendes hen, hvor der er brug for det, da transmissionsnettet har begrænsninger. Europa er ikke en kobberplade.

Disse fakta gør det problematisk at lave energimål på årsbasis – som mange virksomheder og kommuner med egne klimaplaner gør. Viborg Kommune er et godt eksempel: Hvis alle kommuner udbyggede vind og sol som Viborg (halv intensitet per areal), ville der stadig mangle strøm om vinteren – og være overflod om sommeren. I figur 1 er planerne fra Viborg Kommune opskaleret til hele Danmark ved at antage, at alle danske kommuner udbygger vind- og solenergi med halvdelen af intensiteten pr. arealenhed sammenlignet med Viborg. Som det fremgår, vil der være en meget stor elproduktion midt på dagen i sommerhalvåret, mens produktionen af elektricitet vil være meget lav i vinterhalvåret, hvor behovet er størst.

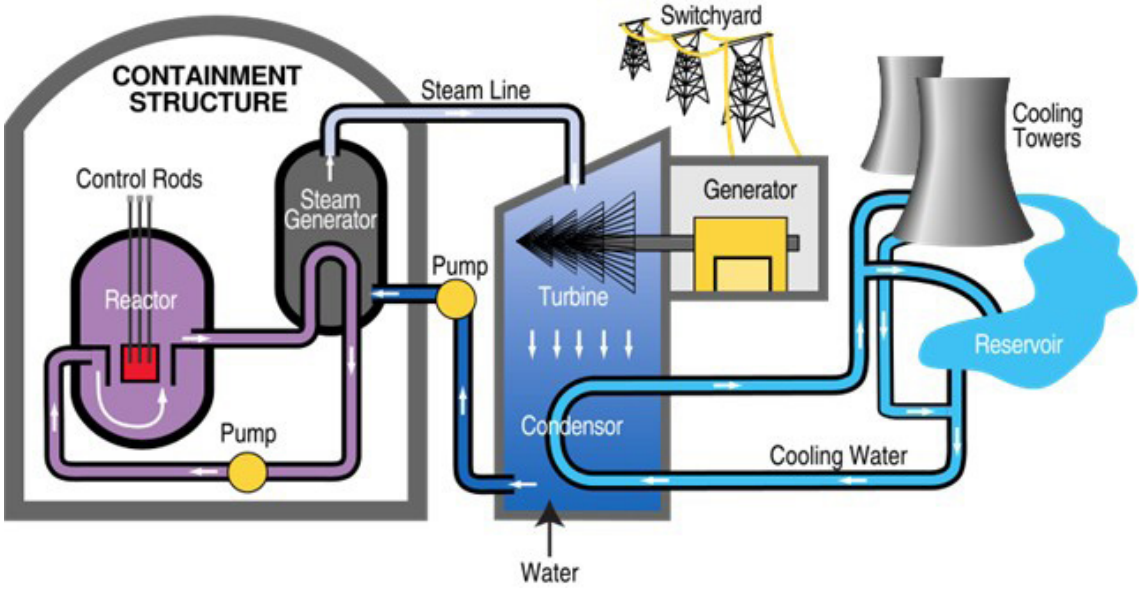
## Hvordan virker kernekraft?

De fleste af verdens kernekraftværker benytter teknologi, der har været i brug i over 60 år – men som fortsat er blandt de mest energitætte og pålidelige måder at producere elektricitet på. I centrum står fission, hvor atomkerner spaltes og frigiver store mængder energi.

Fission betyder spaltning. Når en neutron rammer en uran-235-kerne, spaltes den i to mindre kerner og frigiver både varme og flere nye neutroner. Disse kan igangsætte nye spaltninger, hvilket muliggør en kontrolleret kædereaktion. Én enkelt fissionsreaktion frigiver omkring 200 megaelektronvolt – til sammenligning frigiver forbrænding af et kulstofatom kun omkring 5 elektronvolt. Det betyder, at kernekraft frigiver omkring 50 millioner gange mere energi per reaktion end kul.

Denne høje energitæthed gør teknologien effektiv: En uranoxid-pille på 10 gram frigiver

Figur 2. En trykvandsreaktor. I Danmark er der ikke behov for køletårne, da vi er omgivet af hav og derfor har adgang til rigeligt med kølevand.




lige så meget energi som 1 ton kul, 454 liter olie eller 485 $m^3$ naturgas.

Et kernekraftværk fungerer i princippet som et almindeligt kraftværk: Varmen fra fission bruges til at koge vand, som bliver til damp, der driver en turbine. Den primære forskel er blot, at varmen kommer fra spaltning – ikke fra forbrænding.

Der findes to hovedtyper af reaktorer:

1. Trykvandsreaktorer (PWR) anvender vand under højt tryk som både kølemiddel og moderator. Vandet koger ikke i reaktorkernen, men varmen overføres til en sekundær kreds, hvor damp dannes og driver turbinen, jf. figur 2.
2. Kogevandsreaktorer (BWR) lader vandet koge direkte i reaktoren, og dampen går herefter direkte til turbinen.

Begge teknologier er velafprøvede og bygger på nøje regulering af reaktionen via kontrolstave, der absorberer neutroner og dermed styrer effekten. Moderne reaktorer har desuden omfattende sikkerhedssystemer, og EU's Joint Research Centre[2] vurderer, at 3. generations kernekraft er den sikreste energiform, der findes.

2 Technical assessment of nuclear energy with respect to the 'do no significant harm' criteria of Regulation (EU) 2020/852 ('Taxonomy Regulation')

## Næste generation – SMR og avancerede reaktorer

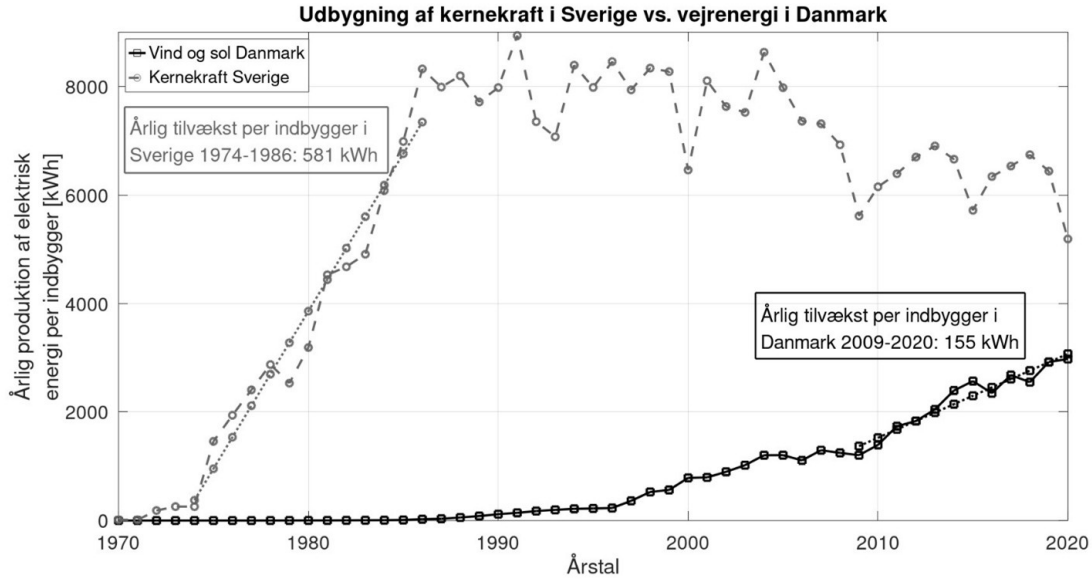
En stor del af den teknologiske udvikling inden for kernekraft samles under betegnelsen SMR – små modulære reaktorer. Det dækker over mindre anlæg, der kan bygges industrielt og transporteres til opstillingsstedet, hvilket giver kortere byggetid og lavere omkostninger. Teknologien bag SMR spænder fra velkendte letvandsreaktorer til helt nye designs.

SMR er særlig interessante, fordi de kan placeres tættere på forbrugere eller industri og er lettere at finansiere end store værker. Til gengæld mister man stordriftsfordele, og vi har endnu til gode at se konkurrencedygtige priser på de første anlæg, der nu bygges rundt omkring i verden.

Samtidig forskes der i avancerede reaktorer, der arbejder ved højere temperaturer og udnytter brændslet bedre. Den høje temperatur gør det muligt at bruge værkerne til andet end bare elektricitet – herunder procesvarme til industrien. Eksempler er:

- Smeltet salt-reaktorer (MSR), hvor brændslet flyder som en væske. Det muliggør løbende brændselspåfyldning og affaldsfjernelse uden at stoppe driften. De danske firmaer *Saltfoss Energy* og *Copenhagen Atomics* arbejder med denne teknologi.
- Blykølede reaktorer, hvor flydende bly

Figur 3. Udbygningen af vejrenergi i Danmark sammenlignet med udbygningen af kernekraft i Sverige.




Kilde: Data fra BP Statistical Review of World Energy July 2021 og befolkningstal fra Ourworldindata.

fungerer som kølemiddel. Det er kemisk stabilt og muliggør passiv køling, hvilket øger sikkerheden.

Fælles for mange af de avancerede koncepter er målet om at udnytte brændslet langt bedre og reducere mængden af langlivet affald. Det kan potentielt ændre den måde, vi tænker affald og ressourceforbrug på. Et andet fællestræk er, at processerne foregår ved nogle få atmosfæres tryk, hvorved selve reaktorerne skulle blive meget billigere at fremstille.

Det er dog vigtigt at understrege, at de fleste af disse teknologier stadig er på forsøgs- eller demonstrationsstadiet og næppe bliver kommercielt udbredte før om 15 år. SMR baseret på kendt teknologi er tættest på markedet, men også her er de økonomiske fordele endnu ikke bevist.

## Historiske resultater – Sverige og Frankrig

De mest markante og hurtige grønne omstillinger i moderne historie er sket i lande, der har satset konsekvent på kernekraft eller vandkraft. I Danmarks tilfælde er vandkraft ikke en mulighed, og det gør kernekraften endnu mere relevant at studere – især eksemplerne fra Sverige og Frankrig.

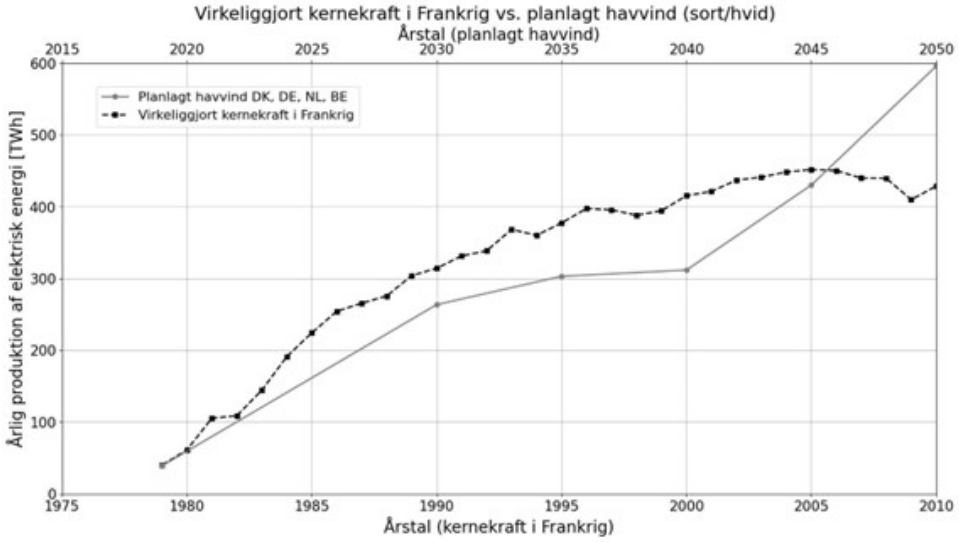
I 1970'erne lancerede Frankrig den ambitiøse Messmerplan som svar på oliekrisen. Man besluttede at bygge mange identiske atomkraftværker baseret på ét enkelt reaktordesign: trykvandsreaktoren (PWR). Fra 1977 til 1992 blev der opført 56 reaktorer. Det gjorde Frankrig til et af verdens mest elektrificerede lande, og $CO_2$-udledningen blev reduceret markant – længe før klimadebatten for alvor begyndte. I dag kommer størstedelen af Frankrigs el stadig fra kernekraft.

Sverige fulgte en lignende kurs og kombinerede kernekraft med vandkraft. Resultatet var en fossilfri elforsyning allerede i begyndelsen af 1990'erne. Til sammenligning valgte Danmark i 1985 politisk at udelukke kernekraft fra energiplanlægningen og satsede i stedet på kul.

Figur 3 viser elproduktionen fra kernekraft i Sverige sammenlignet med vind og sol (vejrenergi) i Danmark – målt per indbygger for at korrigere for forskellen i landestørrelse. I 1991 producerede Sverige 9.000 kWh elektrisk energi per indbygger med kernekraft. I Danmark nåede vi i 2024 op på 3.500 kWh per indbygger fra vind og sol. Altså er vi i Danmark i 2024 langt bagefter det, som Sverige opnåede for over 30 år siden.

Det fald, man senere ser i Sveriges kernekraftproduktion, skyldes blandt andet politiske beslutninger om at lukke værker som Barse-

Figur 4. Planerne for havvind jf. Esbjergerklæringen vs. det, som Frankrig gjorde på egen hånd for 40 år siden. Læg mærke til, at der er 40 års forskel på x-akserne.




bäck – beslutninger som i dag møder voksende modstand i den svenske befolkning og politiske bevægelse i retning af ny kernekraft.

## Nutidens ambitioner – og realiteter

Et af de mest udbredte argumenter mod kernekraft er, at teknologien er langsom og gammeldags. Tiden, lyder det, er løbet fra kernekraft. Men ser man på realiteterne i Europas nuværende energipolitik, er der ikke meget, der tyder på, at udviklingen går hurtigere med vejrafhængige teknologier.

I maj 2022 mødtes statslederne fra Danmark, Tyskland, Nederlandene og Belgien i Esbjerg og underskrev den såkaldte Esbjergerklæring. Her blev det lovet, at Nordsøen skulle udbygges med hav vind nok til at forsyne 230 millioner europæere (hvis altså de kun bruger strøm, når vinden blæser). Det blev lanceret som et grønt vendepunkt. Men siden har den danske regering droppet energiøerne, og flere havvindsudbud er enten udskudt eller aflyst. Nye udbud kan komme, men det vil kræve massiv statsstøtte og lavere forventninger til tempoet.

Lad os for et øjeblik antage, at alt var gået efter planen. I figur 4 sammenlignes den planlagte havvindudbygning ifølge Esbjerg-erklæringen med udbygningen af kernekraft i Frankrig i perioden 1975–2015. Grafen viser, at Frankrig alene for 40 år siden udbyggede lige så hurtigt, som Nordsøplanerne foreslår i dag – men uden EU-kompromisser, international koordinering eller usikre teknologiforventninger. Det klarede ét land med én plan og ét teknisk design.

Hvad der sjældent nævnes, er den grundlæggende forskel i kvalitet af strømmen: El fra kernekraftværker er styrbar og stabil, mens el fra havvind er intermitterende. En kilowatttime en kold, vindstille vinteraften er selvsagt langt mere værd end en kWh en blæsende sommerdag med lav efterspørgsel. Alligevel behandles de som ens i den offentlige debat og ofte også i grafiske fremstillinger.

Det er en grundlæggende fejl – og en, vi ikke har råd til, hvis den grønne omstilling skal lykkes uden at gå på kompromis med forsyningssikkerhed og økonomisk ansvarlighed.

## Priser på kernekraft vs. vejrenergi

Der er ikke direkte sammenhæng mellem LCOE (Levelized Cost of Electricity) og elprisen for forbrugeren. LCOE dækker kun selve produktionsomkostningen – altså det, det koster at få én kilowatttime strøm ud af en given teknologi. Men den fortæller intet om omkostningerne til balancering, lagring eller udbygning af elnettet, som især er nødvendige ved vejrafhængige teknologier som vind og sol. El-

prisen på markedet bestemmes time for time af udbud og efterspørgsel, og det giver stor volatilitet i prisen, men spotprisen inkluderer ikke systemomkostninger mv. Derfor kan en teknologi med lav LCOE sagtens føre til høje systemomkostninger og i sidste ende højere elpriser.

Et konkret eksempel: Kapitalomkostningen for Thor Havvindmøllepark er ifølge Energistyrelsens teknologikatalog for 2025[3] anslået til 3.300 €/kW. Det betyder, at en udbygning med 3 GW havvind vil koste omkring 9,9 milliarder euro, eller hvad der svarer til cirka 74 milliarder danske kroner.

Til sammenligning har det finske atomkraftværk Olkiluoto 3 – der ofte fremhæves som et skrækeksempel på budgetoverskridelser og forsinkelser – haft en samlet anlægsomkostning på cirka 11 milliarder euro. Det dækker over én reaktor med en kapacitet på 1.600 MW, der forventes at producere 12 TWh elektricitet årligt – mere end 3 GW havvind kan levere selv under optimale forhold.

Men der er flere forskelle: Havvindmøller har typisk en levetid på omkring 30 år, mens kernekraftværker som Olkiluoto 3 er bygget til at holde i mindst 60 år. Det betyder, at kernekraft – selv med højere startomkostninger – over tid kan levere flere kilowatttimer per investeret krone end havvind.

Derudover skal man huske, at strømmen fra havvind kun produceres, når vinden blæser – ofte på tidspunkter, hvor der ikke er stor efterspørgsel. Omvendt er strømmen fra kernekraft stabil og styrbar. Det er med andre ord to helt forskellige produkter. En kilowatttime fra et kernekraftværk leveres, når der er brug for den. En kilowatttime fra havvind kommer, når vinden bestemmer det.

## Elmarkedet

Nord Pool's struktur og timebaserede spotmarked er i dag fundamentet for elhandel i Europa. Men modellen rummer betydelige svagheder, som undergraver både markedslogik og forsyningssikkerhed.

Det nuværende marked favoriserer vejrafhængige teknologier som sol og vind, som frit kan byde ind med strøm til meget lave priser. De pålægges dog ikke noget ansvar for, hvornår og hvor meget de leverer, og de bærer ikke de reelle omkostninger ved deres uberegnelige produktion. Balanceringsansvaret og behovet for kapacitetsberedskab overlades i stedet til andre aktører – typisk termiske kraftværker eller fleksible forbrugere – som presses ud af markedet, fordi de ikke kan konkurrere på pris alene. Det skaber en markedsfejl, hvor omkostningerne flyttes over på andre, i strid med principperne om økonomisk ansvarlighed og lige vilkår.

Time-for-time-handlen er desuden en historisk tilfældighed. Den blev indført dengang al elproduktion kom fra termiske kraftværker, som let kunne justeres op og ned. Siden har man ikke turdet ændre modellen, selvom teknologierne har ændret sig radikalt. Resultatet er høj prisvolatilitet og stor uforudsigelighed, som gør det vanskeligt at tiltrække investeringer i stabil kapacitet. I et velfungerende marked burde aktørerne kunne tilpasse sig langsigtede signaler – ikke kun timebaserede prisudsving.

Et reelt, liberalt elmarked bør fremme gennemsigtighed, konkurrence på lige vilkår og ansvar for systempåvirkning. I stedet ser vi i dag et marked præget af prisforvridning, afhængighed af subsidieret kapacitet og stigende sårbarhed i det samlede elsystem.

Derudover er elektriciteten fra kernekraft langt mere værdifuld, fordi den er stabil og styrbar. Havvind producerer derimod uforudsigeligt og ofte i mængder, der overstiger efterspørgslen. Det fører til såkaldt curtailment – altså at man må nedregulere eller helt afbryde produktionen. Det er allerede et voksende fænomen.

## Konklusion

Kernekraften har dokumenteret historisk effekt, teknologisk modenhed og potentiale til at sikre både klima, forsyning og økonomi. Vejrafhængige teknologier vil spille en vigtig rolle, men de kan ikke løfte opgaven alene. Danmark må lægge ideologierne væk og se nøgternt på den fremtidige energiforsyning. Skal vi lykkes med den grønne omstilling, kræver det en teknologineutral tilgang – og her må kernekraften have sin plads. Det er ikke bare en mulighed. Det er nødvendigt.

3 https://ens.dk/media/6572/download

Alternativet til at inddrage kernekraft i energimikset er ikke et system, der kun baserer sig på sol og vind. Det kræver også en massiv udbygning af elnettet, nye og endnu uprøvede lagringsteknologier, øget afhængighed af import og fleksibelt forbrug – samt en accept af meget svingende elpriser og risikoen for flere afbrud og nødordninger.

# Til klimasocialisterne i alle partier

Martin Ågerup*

Meget klimapolitik er reelt klimasocialisme, og de gamle borgerlige partier, Venstre og Konservative, konkurrerer nærmest om at føre den mest socialistiske klimapolitik. Det økonomisk optimale er at indføre en ensartet $CO_2$-afgift på al udledning af klimagasser. $CO_2$-afgiften skal afspejle de eksterne omkostninger, så det er en markedsorienteret løsning, hvor alene prissignaler giver markedsaktørerne et incitament til at reducere deres $CO_2$-udledninger uden fra central hold at gribe ind faste reduktionsmål (og dermed Parisaftalen) eller med regulering af teknologier som afgiftsfritagelse for el-biler, der er udtryk for en form for dobbeltregulering, der kan få store samfundsøonomiske omkostninger.

Socialisme er en mislykket idé, der nægter at dø[1]. Efter Berlinmurens fald forklædte socialismen sig nemlig i nye gevandter, fx klimapolitiske. Meget klimapolitik er reelt klimasocialisme.

F. A. von Hayek dedikerede sin bog *Vejen til Trældom* (*The Road to Serfdom*, 1944) til "socialisterne i alle partier" – så udbredt var socialistisk tænkning dengang, mente Hayek. I dag kan man sige noget lignende om klimasocialisme.

Sådan har det ikke altid været. I februar 1998 præsenterede Venstre og Konservative, ligesom ved valget i 1959, et fælles valgprogram op til valget, der blev afholdt senere samme år. "De første 100 dage – og de næste 4 år", hed det. Her præsenterede VK en klart borgerlig og markedsorienteret klimapolitik, som var langt mere fornuftig end den nuværende opbakning til planøkonomisk, statsstøttet og symbolsk national enegang i klimaspørgsmålet. V og K stod dengang fast på, at klimapolitik var et internationalt anliggende, og at en markedsdrevet og incitamentsbaseret klimapolitik var vejen frem i stedet for subsidier og regulering. VK argumenterede for en ensartet $CO_2$-afgift og for at reducere udledningerne, hvor det gav mest klima for pengene. Reduktioner i udlandet skulle kunne regnes med i hjemlandets $CO_2$-regnskab. En fornuftig, markedsbaseret klimapolitik.

I dag konkurrerer Venstre og Konservative om, hvem der kan fremlægge den mest socialistiske klimapolitik – Konservative plejer dog at vinde, synes jeg. Klimasocialismen ser ud til at være så indgroet i tænkningen hos de gamle borgerlige partier, at man ikke kan tænke forbi den. Debatbogen "Må jeg være fri" er skrevet af fem yngre Venstre-folk, Mads Duedahl, Marie Bjerre, Linea Søgaard-Lidell, Christoffer Lilleholt og Morten Dahlin. En række af bogens kapitler foreslår ret liberal og frihedsorienteret politik på en række politikområder. Kapitlet om klima er imidlertid en skuffelse. Ganske vist hævder forfatterne, at de går ind for en

1 Tyvstjålet fra den fremragende lille bog *Socialism: The Failed Idea That Never Dies* af Kristian Niemietz fra 2019. Orker man ikke at læse bogen, har jeg interviewet forfatteren i podcasten Samfundstanker.

*Martin Ågerup er forfatter, kommentator og stolt modtager af Libertas' Adam Smith Pris 2024

markedsbaseret omstilling, og de fremsætter da også forslag, der trækker lidt i den rigtige retning, såsom en ensartet $CO_2$-afgift frem for puljer, forbud og påbud samt afskaffelse af el-afgiften.

Men meget af det viser sig at være tom retorik, når det kommer til stykket. Forfatterne fastholder en masse planøkonomiske værktøjer uden at indrømme det (og måske uden at erkende det).

Det centrale argument for frie markeder er, at de – under visse forudsætninger - sikrer den optimale fordeling af samfundets ressourcer, ovenikøbet uden anvendelse af magt. Prismekanismen formår at koordinere alle borgernes individuelle beslutninger.

Det er prissignalet, der sikrer, at bonden dyrker den rigtige slags korn i den rigtige mængde, så bageren har den rette mængde af forskellige sorter korn til at bage de brød, kunderne i butikken efterspørger.

Alternativet til markeder og fri prisdannelse er socialisme med central planlægning. En central planlægger beregner behovet for forskellige typer korn, sætter bønderne i gang med at producere og sørger herefter for, at kornet bliver distribueret. Og gør samtidig det samme for al anden produktion i samfundet.

Problemet med central planlægning er, at centralplanlæggeren ikke bare tilnærmelsesvis kan tilegne sig al den viden, der er nødvendig for kompetent at kunne planlægge produktionen i alle detaljer.

Markeder, derimod, sikrer koordineringen af alle de decentrale beslutninger, uden at nogen behøver at have det samlede overblik. Hvis rugbrødet hos bageren stiger i popularitet hos kunderne, og bagerne derfor begynder at løbe tør for rugbrød op ad formiddagen, bestiller bageren mere rug for at sætte produktionen i vejret. Det får prisen på rug til at stige lidt.

Bonden observerer på sin side, at prisen på rug er steget, og han vælger derfor at opdyrke et større areal med rug. Han behøver ikke at vide, hvorfor prisen er steget. Han kan handle på den viden, som ligger ligefor.

Samtidig konstaterer også bageren, at prisen på rug stiger, og han vil vurdere, om der er andre kornsorter, der til en relativt lavere pris stadig kan matche kundernes smag. Måske kommer han lidt mere hvede i rugbrødet, for at holde prisen nede. Bageren behøver heller ikke at vide, hvorfor prisen på rug stiger. Alt, hvad han behøver at vide, er indeholdt i prissignalet. I sidste ende er det kundernes præferencer, der afgør, om der skal produceres dyrere brød med mere rug, eller billigere brød med lidt mere hvede.

Priser varetager koordineringen langt bedre, end nogen central planlægger kan gøre det, og de gør det endda uden at blande sig i de lokale beslutninger. I modsætning til den centrale planlægger lader markedet borgerne være i fred og frihed, så de kan bruge deres lokale viden til at reagere på de nye prissignaler på den måde, der giver mening for dem selv. Bageren reagerer på kundernes efterspørgsel, og kunderne reagerer på de ændrede priser.

Klimaforandringer er også et koordineringsproblem. På den ene side giver fossile brændsler borgerne adgang til billig energi med alle de fordele, dette giver i form af høj velstand og komfort (se fx Karl Iver Dahl-Madsens artikel i dette nummer af *LIBERTAS*). På den anden side forårsager afbrænding af fossile brændsler udledning af $CO_2$ og dermed klimaforandringer. Det centrale spørgsmål er, hvor meget billig fossil energi, vi skal ofre for at begrænse klimaforandringerne.

Dette koordineringsproblem adskiller sig fra prioriteringen mellem rug og hvede på én måde: Når forbrugeren anvender fossile brændsler, bærer vedkommende ikke den fulde omkostning derved. Udledningen af $CO_2$ fører til klimaforandringer, som påfører andre mennesker en omkostning., modsat når kunden hos bageren vælger det dyrere brød med meget rug. Her betaler forbrugeren selv hele omkostningen. Derfor kan det trygt overlades til markedet at løse koordineringsproblemet.

Den eksterne omkostning ved udledning af $CO_2$ kaldes en "eksternalitet", hvilket betegnes som en markedsfejl. Den liberale, markedsorienterede måde at håndtere dette på er at estimere denne eksternalitets størrelse og indføre en afgift på udledning af $CO_2$, som svarer til eksternaliteten. På den måde internaliserer man eksternaliteten. Forbrugeren af fossile brændsler mærker nu den fulde omkostning ved sit forbrug, ligesom rugbrødskøberen gør.

Det er nu op til forbrugeren at træffe en beslutning om, hvor meget vedkommende vil reducere sin udledning af $CO_2$. Hvor meget udledningen bliver reduceret, afhænger af alle borgernes individuelle præferencer. Prissignalet sikrer også her den optimale allokering mellem de to goder: billig fossil energi og begrænsning af klimaforandringerne. Heller ikke her vil nogen central planlægger være i stand til at samle al viden og alle præferencer for at regne sig frem til det optimale reduktionsmål.

I Danmark – og i alle andre vestlige lande – har så godt som alle ikke-socialistiske partier opgivet denne markedsorienterede og liberale tilgang til klimapolitik til fordel for en socialistisk og planøkonomisk klimapolitik, hvor man fra centralt politisk hold beslutter sig for, hvor meget udledningen af $CO_2$ skal reduceres. På globalt plan (sådan da) har man i Parisaftalen i princippet besluttet sig for en målsætning om, at der ikke må udledes mere $CO_2$ end, hvad en stigning i den globale middeltemperatur på 1½ til 2 grader tillader. Det er en form for global socialistisk central planlægning, som ville have begejstret Vladimir Lenin.

Den begejstrer også de unge Venstrefolk, som i deres bog begræder, at EU-landene ikke lever op til den planøkonomiske målsætning. De skriver: "Efter svære politiske tovtrækkerier stod EU med en reduktionsmålsætning på 55 procent i 2030, og det på trods af, at målsætningen skulle være på 65 procent, hvis EU skulle bidrage med sin andel til Parisaftalens mål", hvilket Venstres unge klimasocialister mener, EU skal.

Centralplanlæggere hævder som oftest, at deres beslutninger er baseret på videnskab. Marx, Engels, Lenin med flere omtalte deres ideologi som "videnskabelig socialisme". Påstanden om videnskabelighed har centralplanlæggerne brug for, dels for at legitimere den anvendelse af tvang, der altid følger med central planlægning, og dels for at hævde at have en sikker viden om, hvad der er det rigtige at gøre i den ekstremt komplekse situation, man altid befinder sig i. Denne påstand om videnskabelig vished, omtalte F. A. Hayek som "the pretence of knowledge" – det at foregive (og måske også forestille sig), at man besidder en viden, som man rent faktisk ikke besidder.[2]

Påstanden om videnskabelig sikkerhed ser man i udpræget grad hos klimasocialister, som ofte bruger formuleringer som "videnskaben fortæller os, at…" gerne efterfulgt med meget specifikke politiske målsætninger, såsom "… vi skal holde temperaturstigningen under to grader" eller "… vi skal stoppe med at bore efter olie".

Det er i praksis ret sjældent, at selv en meget klar videnskabelig konsensus (når den findes, hvilket også er sjældent) kan omsættes til tilsvarende entydige politiske anbefalinger. Politik handler om afvejning af forskellige hensyn og er derfor ikke alene et spørgsmål om videnskab men også om normer, principper og præferencer.

Klimasocialisternes påstår, at Parisaftalens målsætning om at holde temperaturstigningen under to grader Celsius er baseret på en videnskabelig konsensus. Det er forkert. Målsætningen er politisk. IPCC har ikke forholdt sig til, hvilken temperaturudvikling, der er den optimale.

Det har derimod professor ved Yale, William D. Nordhaus, som i 2018 hædredes med nobelprisen i økonomi for sit arbejde med blandt andet dette og andre klimaøkonomiske spørgsmål. Som Nordhaus forklarer i sin nobelprisforelæsning[3], når hans forskning frem til, at den optimale klimapolitik ifølge hans model (kaldet DICE) begrænser temperaturstigningen til ca. 3 grader i år 2100.[4] Nordhaus' model er naturligvis hamrende usikker, men det er sådan set pointen. Ingen ved, hvad den optimale temperaturstigning er. Der er uenighed blandt forskerne, og der er kæmpe uvished om både omkostninger ved temperaturstigninger og ved at reducere udledningen af $CO_2$.

Ligesom central planlægning ikke kan afgøre den rette allokering af ressourcer til produktion af henholdsvis rug og hvede, kan central planlægning ikke afgøre, hvor meget $CO_2$, der

2 Hayeks Nobelprisforelæsning, "Foregivelse af viden" (The pretence of knowledge) er oversat til dansk og trykt i *LIBERTAS* nr. 86 fra 2024.

3 https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/2018/nordhaus/lecture/

4 Se Line Andersens artikel i dette nummer af *LIBERTAS*

bør udledes i verden på et givet tidspunkt. Den optimale reduktion i udledningen opnås ved at indføre en afgift på $CO_2$, der svarer til den eksterne omkostning. Så er det op til markedets aktører at reagere på det incitament: reducere forbruget af fossile brændsler, udvikle nye energiteknologier, blive mere energieffektive, plante træer eller udvikle teknologier til at indfange kulstof mv. Med den rette $CO_2$-afgift, vil der på et i øvrigt frit marked blive udledt nøjagtigt den rette mængde $CO_2$. Ingen kan på forhånd vide, hvor meget den rette mængde er. Ligesom ingen central planlægger kan vide, hvor meget rug og hvede, det er optimalt at producere.

Et fundamentalt opgør med klimasocialismen kræver altså et opgør med ideen om faste reduktionsmål på bestemte tidspunkter og dermed med Parisaftalen, EU's reduktionsmål samt klimaloven og de danske reduktionsmål mv.

Men selv uden at forkaste reduktionsmålene, er der masser af andre ting at tage fat på. Også planøkonomiske klimamål kan nås via markedsløsninger, hvor man indfører en ensartet $CO_2$-afgift. Med klimamål må man bare være villig til at lade den stige til beløb, der ligger langt over skadesomkostningen ved at udlede $CO_2$, hvis reduktionsmålet er tilpas aggressivt, hvilket indebærer, at kuren bliver værre end sygdommen.

Klimasocialismen breder sig dog langt ud over insisteren på planøkonomiske reduktionsmål. Den gør også sit indtog via sektorspecifik regulering, særlige afgifter ud over selve $CO_2$-afgiften og alle mulige andre former for dobbeltregulering. Venstre og Konservative er begejstrede for en masse af den slags klimasocialisme. Og selv de fem unge Venstrefolk, der ellers påstår, at de er imod den slags, går i praksis i deres bog ind for flere former for dobbeltregulering, fx en særlig afgiftsfritagelse for elbiler. Men bilbeskatningen bør være teknologineutral. $CO_2$-beskatningen sikrer det rette incitament til at købe elbiler set fra et klimaperspektiv. Særlig afgiftsbegunstigelse er dobbeltregulering.

EU's Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) er et skrækeksempel på klimasocialisme. Direktivet tvinger gradvist alle private virksomheder til at rapportere om både egen og leverandørers udledning af $CO_2$, gennem hele forsyningskæden. CSRD er en ny form for socialistisk central planlægning, hvor planlægningsopgaven delegeres fra staten til erhvervslivet. Virksomheder tvinges til at ansætte et væld af bureaukrater, som skal tvinge deres underleverandører til at redegøre for forhold såsom hvor meget $CO_2$-udledning produktionen indebærer, hvilket de fleste ikke har noget kendskab til, blandt andet fordi de selv har underleverandører. Underleverandørerne tvinges dermed til også at ansætte bureaukrater, der skal levere de krævede tal til kunden, blandt andet ved at stille lignende krav til egne underleverandører og så fremdeles.

Bureaukratiet frembringer estimater for mængden af $CO_2$-udledning ved et givet produkt. Det involverer enorme mængder data, der ofte er tæt ved umulige at indhente, overskue og verificere. Tallene vil ofte være tæt på fiktion.

Processen vil tvinge virksomheder til at tage stilling til forhold, de ikke har forstand på, såsom hvor meget $CO_2$ en bestemt underleverandør i et andet land og fra en helt anden branche rimeligvis skal have lov til at udlede, hvis man vil være deres kunde. Centraliserede beslutninger vil blive truffet, som vil gøre mere skade end gavn.

Igen er alternativet til CSRD's klimasocialisme en markedsbaseret klimapolitik: indfør en ensartet $CO_2$-afgift. Det skaber det nødvendige incitament til at træffe klimaoptimale beslutninger uden behov for bureaukratisk rapportering. Hver enkelt borger, familie, forening, virksomhed og institution får et incitament til at reducere udledningen på den måde, der passer bedst til den konkrete virkelighed, de hver især befinder sig i. Dermed opnås $CO_2$-reduktionen langt mere effektivt, end hvis borgerne skulle følge centrale direktiver. En sådan decentral klimapolitik medfører også langt mere innovation. Millioner af aktører frembringer nye og originale løsninger, som ingen politiker eller embedsmand kunne udtænke centralt.

Klimasocialismens centrale planlægning kan ligesom enhver anden form for socialisme medføre meget katastrofale utilsigtede konsekvenser, fordi centralplanlæggeren umuligt

kan overskue konsekvenserne af de centrale beslutninger, de presser ned over befolkningen. Et dybt tragisk eksempel på dette udspillede sig i nullerne, hvor en række vestlige landes politikere valgte at fremme anvendelsen af første generations biobrændsler. Det førte til en dramatisk omlægning af fødevareafgrøder til brændstofafgrøder. Ifølge en analyse[5] fra Verdensbanken i 2008 var hovedparten af den omtrentlige fordobling af fødevarepriserne, som fandt sted fra ca. 2006 og frem til foråret 2008 forårsaget af den politisk styrede omstilling til biobrændsler. Millioner af verdens fattigste blev påført unødig lidelse, som utvivlsomt har ført til fejlernæring med døden til følge.

Et studie[6] i det videnskabelige tidsskrift *Science* fra 2008 påviste, at de højere priser ville få landmænd verden over til at konvertere skov og græsarealer til nye dyrkede arealer for at kompensere for de arealer, som centralplanlæggerne omdirigerede til bioetanol. Med andre ord ville der komme mindre natur og et større landbrugsareal. Derved ville biobrændsel ikke give den forventede besparelse i $CO_2$, men tværtimod øge udledningerne. Det ville naturligvis sænke fødevarepriserne igen til gavn for de fattige, men altså samlet set efterlade en verden, hvor millioner i en periode blev trukket ned i fattigdom og fejlernæring, natur blev ødelagt, og udledningen af $CO_2$ ikke faldt men steg.

Klimasocialisme er ikke en særlig godartet form for socialisme. Den er nøjagtigt lige så slem og farlig som enhver anden form for socialisme. Den truer menneskers velstand, deres frihed og – i de mest grelle eksempler – deres eksistens. Det er alt sammen set før. Socialismen har altid slået ihjel, men nægter fortsat selv at dø.

5 Donald Mitchell (2008) A note on rising food-prices - https://documents1.worldbank.org/curated/en/229961468140943023/pdf/WP4682.pdf
6 Timothy Searchinger mfl. (2008): "Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change" - https://www.science.org/doi/10.1126/science.1151861

# Lysproducenternes henvendelse til Deputeretkammeret

Frédéric Bastiat*

I 1845 skrev den liberale franske journalist, økonomiske forfatter og politiker, Frédéric Bastiat, et indlæg i det franske blad, *Journal des Économistes*. Artiklen foregiver at være en henvendelse fra lysproducenter til medlemmerne af Deputeretkammeret, men var et satirisk angreb på argumenter for protektionisme. I artiklen foregiver Bastiat, at Frankrigs lysproducenter kræver beskyttelse mod unfair konkurrence fra solen, og de beder om vedtagelsen af en lov, der påbyder tildækning af alle vinduer, så Frankrigs lysproducenter ikke skal konkurrere med solen. Bastiat udstiller på elegant vis det inkonsekvente i krav om protektionisme mod import af kul, jern, hvede og klæde, hvis man ikke samtidig vil kræve beskyttelse mod den unfair konkurrence fra solen.

**Henvendelse fra producenter af lysestager, stearinlys, lamper, kandelabre, gadelamper, lyseslukkere og fra producenter af talg, olie, harpiks, alkohol og generelt alt, hvad der vedrører belysning.**

Til medlemmerne af Deputeretkammeret

De herrer,

I er på rette vej. I afviser abstrakte teorier; overflod og lave priser berører jer kun lidt. I bekymrer jer først og fremmest om producentens skæbne. I ønsker at befri ham fra udenlandsk konkurrence, med andre ord, I vil sikre det nationale marked for det nationale arbejde.

Vi kommer nu for at tilbyde jer en enestående mulighed for at anvende jeres… hvad skal vi kalde det? Jeres teori? Nej, intet er mere vildledende end teorier; jeres doktrin? Jeres system? Jeres princip? Men I kan ikke lide doktriner, I afskyr systemer, og hvad principper angår, erklærer I, at der ikke findes sådanne i den sociale økonomi; vi vil derfor sige jeres praksis, jeres praksis uden teori og uden principper.

Vi lider under den utålelige konkurrence fra en udenlandsk rival, der tilsyneladende er placeret i så overlegne betingelser i forhold til os til fremstilling af lys, at han oversvømmer vores nationale marked til en fabelagtigt lav pris; for så snart han viser sig, ophører vores salg, alle forbrugere henvender sig til ham, og en gren af fransk industri, hvis forgreninger er utallige, bliver pludselig ramt af den mest fuldstændige stilstand. Denne rival, som ikke er andet end solen, fører en så nådesløs krig mod os, at vi mistænker, at han er blevet sat i gang af det perfide Albion (godt diplomati i disse tider!), især da han over for den hovmodige ø viser en hensynsfuldhed, som han nægter os.

*Oversat fra fransk af Torben Mark Pedersen med brug af Grok. Teksten er lettere redigeret for at gøre den mere forståelig for nutidige læsere.

Vi beder om, at det må behage jer at vedtage en lov, der beordrer lukning af alle vinduer, kviste, skodder, vindskærme, persienner, gardiner, ovenlysvinduer, rullegardiner, kort sagt, alle åbninger, huller, sprækker og revner, hvorigennem solens lys plejer at trænge ind i husene, til skade for de smukke industrier, som vi er stolte af at have udstyret landet med, og som landet ikke uden utaknemmelighed kan overlade os til en så ulige kamp i dag.

Vær venlige, hr. deputerede, at tage vores anmodning alvorligt og ikke afvise den uden først at høre de grunde, vi har til at støtte den.

For det første, hvis I så vidt muligt lukker al adgang til naturligt lys, og man dermed skaber behov for kunstigt lys, hvilken industri i Frankrig vil ikke blive fremmet trin for trin?

Hvis der forbruges mere talg, vil der være brug for flere okser og får, og som følge heraf vil man se en udvidelse af kunstige enge, kød, uld, læder og især gødning, som er grundlaget for al landbrugsrigdom.

Hvis der forbruges mere olie, vil dyrkningen af valmuer, oliven og raps blive forøget. Disse rige og udmattende planter vil passende udnytte den frugtbarhed, som husdyravlen har givet vores jord.

Vores heder vil blive dækket af harpikstræer. Talrige bisværme vil samle duftende skatte på vores bjerge, som i dag fordamper uden nytte, ligesom de blomster, de stammer fra. Der er altså ikke én gren af landbruget, der ikke vil opleve stor udvikling.

Det samme gælder for skibsfarten: Tusindvis af skibe vil tage ud for at fiske hvaler, og på kort tid vil vi have en flåde, der kan opretholde Frankrigs ære og imødekomme de patriotiske følelser hos de underskrevne peticionærer, lysestagehandlere osv.

Men hvad skal vi sige om Paris? Forestil jer forgyldninger, bronzer, krystaller i kandelabre, lamper, lysekroner og lysestager, der skinner i rummelige butikker, ved siden af hvilke nutidens butikker blot er små boder.

Selv den fattige harpikssamler på toppen af sin klit eller den triste minearbejder i dybet af sin mørke gang vil se deres løn og velstand stige.

Tænk over det, mine herrer; og I vil blive overbeviste om, at der næppe findes en fransk-mand, fra den velhavende aktionær i Anzin til den mest ydmyge tændstikssælger, hvis tilstand ikke vil blive forbedret ved succesen af vores anmodning.

Vi forudser jeres indvendinger, mine herrer; men I vil ikke kunne fremføre en eneste, som I ikke har hentet fra de slidte bøger fra tilhængerne af frihandel. Vi vover at udfordre jer til at sige ét ord imod os, som ikke øjeblikkeligt vender sig mod jer selv og mod det princip, der styrer hele jeres politik.

Vil I sige, at selvom vi vinder ved denne beskyttelse, vil Frankrig ikke vinde noget, fordi forbrugeren må bære omkostningerne?

Vi vil svare jer:

I har ikke længere ret til at påberåbe jer forbrugerens interesser. Når han har stået over for producenten, har I i alle tilfælde ofret ham. I har gjort det for at fremme arbejdet, for at udvide arbejdets domæne. Af samme grund må I gøre det igen.

I har selv imødegået indvendingen. Når man sagde til jer: Forbrugeren har interesse i fri indførsel af jern, kul, sesam, hvede, tekstiler. Ja, sagde I, men producenten har interesse i deres udelukkelse. Hvis forbrugerne har interesse i at tillade naturligt lys, har producenterne interesse i at forbyde det.

Men sagde I også, at producenten og forbrugeren er én og samme person? Hvis fabrikanten vinder ved beskyttelse, vil han få landmanden til at vinde. Hvis landbruget trives, vil det åbne markeder for fabrikkerne. Nå, hvis I giver os monopol på belysning om dagen, vil vi først og fremmest købe store mængder talg, kul, olier, harpiks, voks, alkohol, sølv, jern, bronzer, krystaller for at forsyne vores industri, og desuden vil vi og vores mange leverandører, når vi er blevet rige, forbruge mere og sprede velstand til alle grene af det nationale arbejde.

Vil I sige, at solens lys er en gratis gave, og at afvise gratis gaver ville være at afvise selve rigdommen under påskud af at fremme midlerne til at opnå den?

Men pas på, for I bærer døden i hjertet af jeres politik; pas på, for indtil nu har I altid afvist det udenlandske produkt, fordi det ligner en gratis gave, og så meget desto mere det ligner en gratis gave. For at imødekomme de andre monopolisters krav havde I kun et halvt motiv;



for at imødekomme vores anmodning har I et fuldt motiv, og at afvise os netop med den begrundelse, at vi har mere ret end de andre, ville være at stille ligningen: + × + = –; med andre ord, det ville være at stable absurditet oven på absurditet.

Arbejde og natur bidrager i forskellige proportioner, afhængigt af lande og klimaer, til skabelsen af et produkt. Den del, naturen bidrager med, er altid gratis; det er arbejdets del, der udgør værdien og bliver betalt.

Hvis en appelsin fra Lissabon sælges til den halve pris af en appelsin fra Paris, er det fordi en naturlig og dermed gratis varme gør for den ene, hvad den anden skylder en kunstig og derfor dyr varme.

Så når en appelsin kommer til os fra Portugal, kan man sige, at den gives os halvt gratis, halvt mod betaling, eller med andre ord, til halv pris i forhold til appelsinen fra Paris.

Og det er netop denne halv-gratis (undskyld ordet), I bruger som argument for at udelukke den. I siger: Hvordan kan det nationale arbejde konkurrere med udenlandsk arbejde, når det første skal gøre alt, og det andet kun skal udføre halvdelen af arbejdet, mens solen tager sig af resten? Men hvis det halv-gratis får jer til at afvise konkurrencen, hvordan kan fuld gratis så få jer til at acceptere konkurrencen? Enten er I ikke logiske, eller også må I, da I afviser halv-gratis som skadelig for vores nationale arbejde, afvise fuld gratis med endnu større iver.

Endnu en gang, når et produkt — kul, jern, hvede eller tekstiler — kommer til os udefra, og vi kan erhverve det med mindre arbejde, end hvis vi selv producerede det, svarer forskellen til en gratis gave, der gives os. Denne gave er mere eller mindre betydelig, afhængigt af hvor stor forskellen er. Den udgør en fjerdedel, halvdelen eller tre fjerdedele af produktets værdi, hvis udlændinge kun kræver tre fjerdedele, halvdelen eller en fjerdedel af betalingen. Den er så fuldstændig, som den kan være, når giveren, som solen gør med lyset, ikke kræver noget af os. Spørgsmålet, og vi stiller det formelt, er, om I ønsker fordelene ved gratis forbrug for Frankrig eller de såkaldte fordele ved dyr produktion. Vælg, men vær logiske; for så længe I afviser, som I gør, kul, jern, hvede og tekstiler fra udlandet i forhold til, hvor meget deres pris nærmer sig nul, hvilken inkonsekvens ville det ikke være at tillade solens lys, hvis pris er nul hele dagen?"

# LIBERTAS bogarrangement

## Murray Rothbard: Mod en ny frihed. Det libertarianske manifest

**Dato:** Tirsdag d. 17. juni 2025 kl. 17.00-18.30

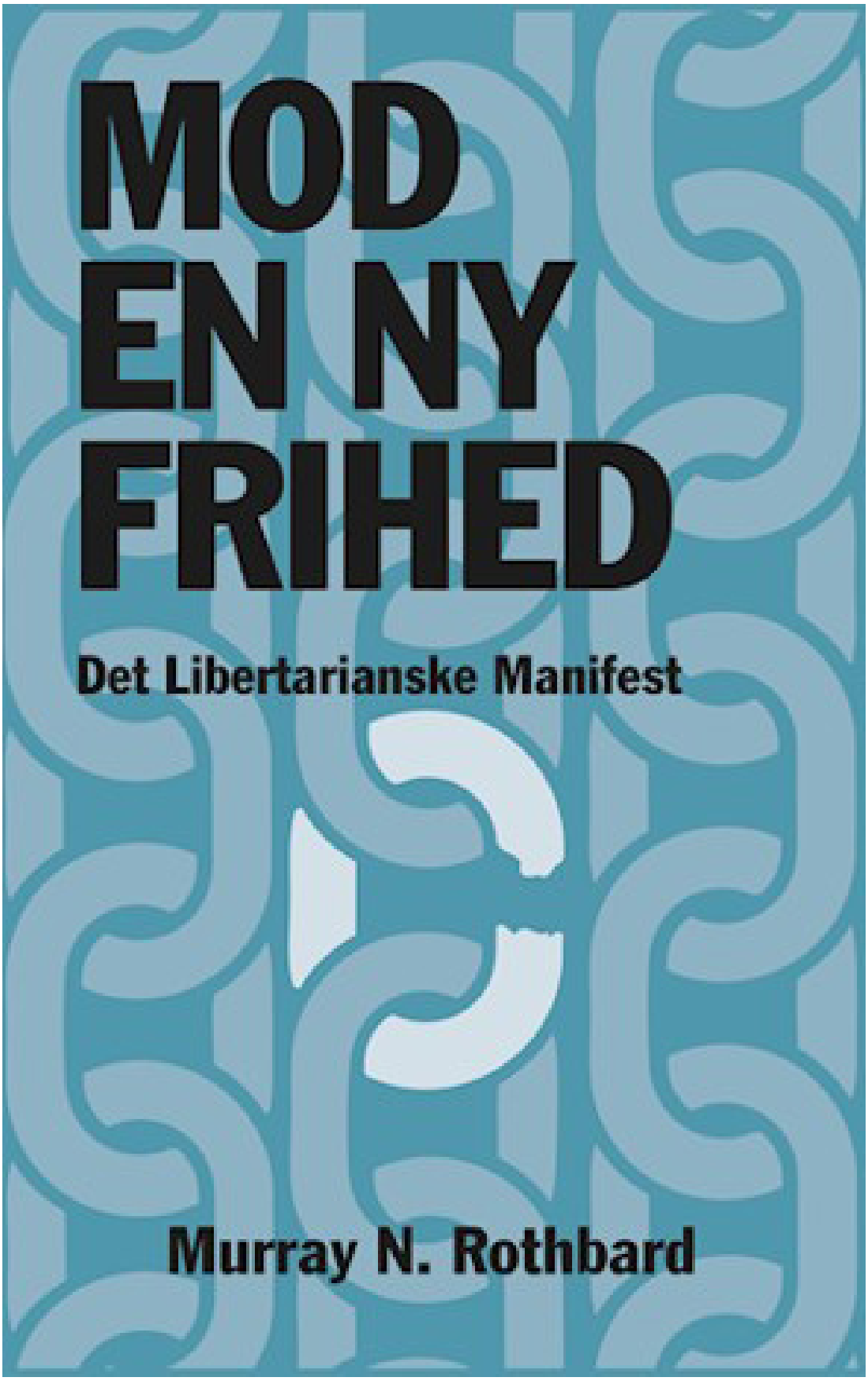
**Sted:** "Plantekassen" i Indre by kulturhus, Charlotte Amundsens Plads 3, København.

Rothbards hovedværk fra 1973 er blevet udgivet på dansk, oversat af Jonas Ejlersen. I den forbindelse afholdes et boglancerings- og debatarrangement om Rothbards "Mod en ny frihed"

**Oplægsholdere:**

- **Mathias Pedersen** præsenterer *Mod en ny frihed*
- **Hasna Eggers** taler om, hvorvidt det anarkokapitalistiske samfund er en utopi

Den danske udgave af *Mod en ny frihed* kan købes med 10% rabat med rabatkoden LIBERTAS på https://shop21.dk/.../mod-en-ny-frihed-det.../


MOD
EN NY
FRIHED
Det Libertarianske Manifest
Murray N. Rothbard

# Vil du skrive i LIBERTAS?

Har du lyst til at bidrage til LIBERTAS, så send en mail til: torbenmarkp@hotmail.com
LIBERTAS bringer såvel artikler inden for som uden for tema, debatindlæg samt anmeldelser af bøger, film m.m. Redaktionen påtager sig intet ansvar for materiale tilsendt uopfordret.

**Skrivevejledning**

- Alle indlæg skal være skrevet i Word
- Længde: Minimum 3 A4-sider, ikke nogen fast overgrænse.
- Resume af artiklen på maks 150 ord
- Kort forfatterbiografi på maks 40 ord
- Billeder, figurer og tabeller skal være i **sort-hvid** og vedlægges separat som JPG-filer.
- Noter som fodnoter
- Der kan anvendes afsnitsinddelinger i to (maksimalt tre) niveauer. Hovedoverskrifter med **fed skrift** og underoverskrifter med *kursiv*.
- Begræns så vidt mulig andre formateringer i teksten. Fremhævet tekst skrives med *kursiv*
- Der kan *ikke* være aktive links til URL-adresser i teksten eller i litteraturlisten.
- Der kan *ikke* være automatiske referencer med links fra tekst til litteraturliste, så undlad at benytte Zotero eller lignende til at håndtere litteraturhenvisninger
- Der anføres litteraturhenvisninger for alle citerede kilder. Litteraturhenvisninger i teksten anføres som: "En bimetal standard kan defineres som…, Friedman (1992, 127)."
- Litteraturliste bagerst i artiklen. Litteraturhenvisninger anføres alfabetisk efter efternavn og årstal, som i nedenstående eksempler, hvor artikeltitler er i anførselstegn og tidsskriftets navn og bogtitler er med kursiv. Anvend så vidt muligt årstal for det oprindelige værk, og tilføj eventuel årstal for anvendt udgave.

**Litteratur**

Friedman, Milton (1990): "Bimetallism revisited," *Journal of Economic Perspectives*, 4, 85-104.
Friedman, Milton (1992): *Money Mischief. Episodes in Monetary History*. New York.
Smith, Adam (1776): *Nationernes Velstand*. København, 2013.

# Kommende numre af LIBERTAS

LIBERTAS nr. 88. August 2025: **Den skotske oplysning**

LIBERTAS nr. 89. December 2025: **Populisme. Undertema: Den nye verdensorden**

LIBERTAS nr. 90. April 2026: **Nationernes velstand**

LIBERTAS nr. 91. August 2026: **Liberalismer og konservatismer**

LIBERTAS nr. 92. December 2026: **250-året for den amerikanske uafhængighed**

# DEN SYNLIGE HÅND

## Grundlag for en rationel klimapolitik

Torben Mark Pedersen

Der er to fakta, der bør lægges til grund for dansk energi- og klimapolitik, men som overses i den politiske debat.

Det første er, at uanset hvad vi gør i Danmark for at reducere vores $CO_2$-udledning, så vil det stort set ikke have nogen målbar effekt på de globale gennemsnitstemperaturer i år 2100.

Global opvarmning er en eksternalitet forårsaget af $CO_2$-udledninger, og det ville være optimalt, om alle lande pålagde deres $CO_2$-udledninger en ensartet $CO_2$-afgift, der svarer til de marginale eksterne omkostninger. Derved ville man afveje gevinster og omkostninger ved reduktion af $CO_2$ på en optimal måde.

Det gør alle lande ikke, og problemet er, at gevinsterne ved en reduktion af $CO_2$-udledninger er globale, mens omkostningerne er lokale.

Og som påpeget af Otto Brøns-Petersen i dette nummer af *LIBERTAS*: Hvis den globale optimale $CO_2$-afgift f.eks. er på 750 kr./ton $CO_2$ , så vil den optimale $CO_2$-afgift for Danmark isoleret set være på omkring 2 kr./ton $CO_2$, fordi "benefits" i form af de danske økonomiske fordele af en marginalt lavere global temperaturstigning er forsvindende små.

At betale en højere $CO_2$-afgift end 2 kr./ton $CO_2$ er altså at smide penge ud af vinduet.

Det eneste rationelle er derfor, at Danmark melder sig ud af Parisaftalen og reducerer de danske $CO_2$-afgifter til omkring 2 kr./ton $CO_2$.

Det kunne kombineres med et politisk tilsagn om at indføre den globalt optimale $CO_2$-afgift *betinget af*, at alle de store klimagasudledere gør det samme. Det er en strategi, hvorved Danmark ville lægge et pres på de store udledere, men også her må vi erkende, at Danmark ikke spiller nogen større rolle.

Dét ville være en rationel politik. Der er derimod ingen rationel grund til, at vi i Danmark skal påføre os selv enorme omkostninger for at opnå en umålelig lille effekt, der primært kommer andre lande til gode, når de store klimagasudledere er "free-riders".

Det andet faktum, der bør lægges til grund for dansk klimapolitik er, at klimaforandringerne kommer, uanset om vi vil det eller ej.

Vi bør derfor fokusere på at reducere skadevirkningerne af de forventede klimaforandringer. Jeg skal ikke gøre mig klog på, hvad det indebærer, men der kunne eksempelvis være tale om en bedre kystsikring.

Frigjort fra hensynet til $CO_2$-reduktioner bør energipolitikken indrettes på at sikre en så billig og så sikker energiforsyning som muligt.

Forsyningssikkerhed bør have høj prioritet. Ikke bare for at sikre en stabil energiforsyning døgnet rundt og året rundt, men også fordi energipolitik er sikkerhedspolitik, og det er vigtigt at sikre energiforsyningen bedre mod hybrid krigsførelse.