

KAPITEL III

DEN ØKONOMISKE VÆKST OG MILJØET

III.1 Indledning

Forhold mellem miljø og vækst har været diskuteret længe

Om naturen og miljøet begrænser den økonomiske vækst, har været studeret af økonomer omtrent siden den økonomiske videnskabs første skridt, jf. blandt andet Malthus (1798), Jevons (1865) og Hotelling (1931). I 1970'erne fik spørgsmålet fornyet opmærksomhed. I det årti viste oliekriserne, at samfundsøkonomien er sårbar over for svigtende leverancer af naturressourcer. Omtrent samtidig satte den såkaldte Romklub slagordet "*grænser for vækst*" på den offentlige dagsorden, jf. Meadows mfl. (1972). I de senere år har der været stor debat om klimaforandringer, og hvilke konsekvenser hensyn til disse vil have for fremtidige økonomiske aktiviteter, jf. blandt andet IPCC (2014).

Økonomisk aktivitet kan føre til udtømning og forurening

Økonomiske aktiviteter indebærer ofte brug af naturens ressourcer som fossile brændsler, metaller og mineraler. Mange af disse naturressourcer findes kun i en endelig mængde på jorden og kan i praksis ikke genskabes, når de først er forbrugt. Derfor vil forbrug af ikke-fornybare naturressourcer reducere den tilbageværende mængde. Herudover kan der være miljøproblemer forbundet med produktion og forbrug af varer og tjenester. Vigtige eksempler er skader på biodiversitet, klimaforandringer og svækkelse af ozonlaget.

Er vækst mulig i det lange løb – og er vækst ønskelig?

Ressourceknaphed og miljøproblemer lægger som udgangspunkt en dæmper på den økonomiske aktivitet. Hvorvidt mangel på naturressourcer på længere sigt helt vil umuliggøre økonomisk vækst, er i høj grad et spørgsmål om muligheden for at substituere mellem forskellige former for natur- og menneskeskabte ressourcer. Økonomisk aktivitet

bidrager til forureningen og andre miljøproblemer, og det er derfor muligt, at fortsat økonomisk vækst på et tidspunkt ikke længere er ønskelig, selv hvis den måtte være mulig. Spørgsmålet, om økonomisk vækst er ønskelig, hænger også i høj grad sammen med spørgsmålet om substitutionsmuligheder.

Velfærd er andet og mere end BNP

I praksis identificeres “økonomisk vækst” ofte med fremgang i realt BNP, dvs. stigningen i den samlede produktion af varer og tjenester i en økonomi. Begrebet vil også oftest blive brugt i denne forstand i dette kapitel. BNP er dog ikke et dækkende mål for et samfunds velfærd. Et samfunds velfærd afhænger af en lang række andre forhold, herunder sociale og miljømæssige forhold som eksempelvis uddannelse, helbred og miljøets tilstand. Det er derfor vigtigt at kigge bredere og bruge flere indikatorer, hvis man ønsker at måle udviklingen i et samfunds velfærd, jf. blandt andet Stiglitz mfl. (2009). Nogle typer af økonomisk aktivitet er væsentligt mere ressourcekrævende end andre typer. Derfor er udviklingen i BNP heller ikke nødvendigvis nogen god indikator for, hvor meget den økonomiske aktivitet belaster miljøet.

Afvejning mellem materiel velstand og miljøforhold et politisk valg

Ofte vil de aktiviteter, der resulterer i økonomisk vækst, samtidig medføre større forbrugsmuligheder og dermed større materiel velstand. Samtidig vil en række af de samme aktiviteter resultere i belastning af miljøet, hvilket påvirker velfærden negativt. Der er derfor ofte en grundlæggende afvejning mellem hensynet til økonomisk velstand og deraf afledt velfærd på den ene side og hensynet til miljøet på den anden side. Teknologiske fremskridt og hensigtsmæssig regulering kan bidrage til at gøre denne afvejning bedre, men det er ikke sandsynligt, at der vil opstå en situation, hvor der ikke er en konflikt mellem de to hensyn. I sidste ende er det op til politikerne at foretage denne vanskelige afvejning.

Kapitlets overvejelser går på de næste par hundrede år

Det bliver ikke altid præciseret, hvilken tidshorisont der tænkes på i konkrete debatter om, hvorvidt naturen sætter grænser for væksten. I dette kapitel tænkes der primært i en tidshorisont, der går et til to hundrede år frem i tiden, eller sagt på en anden måde: Er det sandsynligt, at hensyn til

naturlige grænser vil sætte en stopper for den økonomiske vækst inden for de nulevende menneskers eller deres børns eller børnebørns levetid?

Kapitlets indhold

Kapitlet indledes med et afsnit, der beskriver forskellige principielle sammenhænge mellem den økonomiske vækst og miljøet. Herunder diskuteres, at substitutionsmuligheder er et centralt begreb for, om bæredygtig økonomisk vækst er mulig og ønskelig. I afsnit III.3 fokuseres på klimaudfordringer. I afsnittet præsenteres beregninger på den økonomiske klimamodel DICE, der gengiver konsekvenser for det globale samfund af forskellige klimapolitiske scenarier. I afsnit III.4 diskuteres, om problemer med ressourceknaphed på et globalt plan kan forventes at begrænse den økonomiske vækst indenfor de nærmeste generationer. I dette afsnit beskrives udviklingen i både fysiske mængder af og priser på diverse naturressourcer. Udviklingen i den danske økonomi, ressourceforbrug og klimapåvirkning gennemgås i afsnit III.5, og kapitlet afsluttes med nogle sammenfattende bemærkninger.

III.2 Principper

To forskellige problemer: Forurening og ressourceforbrug

Siden 1970'erne har der været peget på en række forskellige mulige måder, hvorpå naturen kan begrænse den langsigtede økonomiske vækst. Ofte opdeles problemstillingerne i to grupper. Den første drejer sig om, hvorvidt fortsat økonomisk vækst på et tidspunkt vil blive umulig eller uønskelig, fordi væksten vil medføre for store miljøproblemer i form af forurening af forskellig slags. Den anden drejer sig om, hvorvidt væksten vil standse, fordi vi på et tidspunkt løber tør for nogle naturressourcer, som er nødvendige for produktionen på verdensplan, jf. f.eks. Schou (2000).

Eksempler er klimaproblemer og fosfor

Et vigtigt eksempel på den første form for problemer er sammenhængen mellem økonomisk vækst og klimaproblemer, jf. afsnit III.3. Andre eksempler er skader på biodiversiteten, udtyndingen af ozonlaget og ubalancer i det globale kvælstofkredsløb. Den anden type problemer, dvs. bekymringen for, at mangel på bestemte naturressourcer vil umuliggøre fortsat vækst eller endda blot opretholdelsen af et

givet konstant produktionsniveau, har ikke mindst gået på de fossile brændstoffer, inspireret af de forskellige oliekriser. Den begrænsede mængde af fosfor har været nævnt som en anden kritisk ressourceøkonomisk begrænsning.

**Tre lag i
diskussionen om
bæredygtig
økonomisk
vækst:**

1) Er den mulig?

**2) Er den
ønskelig?**

**3) Kommer den
af sig selv?**

Begrebet bæredygtighed er et centralt omdrejningspunkt for diskussioner af denne type. Begrebet er nærmere diskuteret i boks III.1. Der er tre lag i diskussionen om mulighederne for en bæredygtig økonomisk vækst på længere sigt. For det første er der spørgsmålet, om det overhovedet er muligt at forestille sig en udvikling, hvor BNP kan blive ved med at stige reelt (dvs. renset for prisudsving), uden at enten miljøproblemer eller ressourcemangel på et tidspunkt får produktionen til at bryde sammen. Det er grundlæggende et spørgsmål om egenskaberne ved samfundets produktionsfunktion. Selvom svaret på dette spørgsmål skulle være bekræftende, dvs. at fortsat økonomisk vækst er muligt, er det ikke sikkert, at det også er optimalt. Man kan forestille sig, at verdens befolkning på et tidspunkt opnår en materiel levestandard, hvor man vælger at prioritere andre goder end fortsat materiel vækst. Dette er grundlæggende et spørgsmål om befolkningens præferencer. Selvom svaret også på dette spørgsmål skulle være bekræftende, dvs. at befolkningen ønsker en fortsat bæredygtig økonomisk vækst på længere sigt, er det ikke sikkert, at sådan en udvikling vil komme af sig selv. Det er et spørgsmål om, hvorvidt verdenssamfundet udvikler tilstrækkelig gode institutioner til at håndtere de miljømæssige udfordringer. Disse tre spørgsmål uddybes i det følgende.

Boks III.1 Bæredygtig udvikling

Begrebet “bæredygtig udvikling” er ikke mindst blevet kendt efter Brundtland-kommissionens rapport, jf. World Commission on Environment and Development (1987). Bæredygtighed blev i denne rapport defineret som en situation, hvor fremtidige generationer har mulighed for mindst samme velfærdsniveau som de nuværende generationer – dvs. en situation, hvor samfundsvelfærden ikke falder over tid. Både en situation med konstant samfundsvelfærd og en situation med stigende samfundsvelfærd vil være udtryk for en bæredygtig udvikling.

Ved “bæredygtig økonomisk vækst” forstås en udvikling, hvor der er økonomisk vækst samtidig med, at samfundsvelfærden ikke er faldende over tid. I en verden med endelige naturressourcer kræver bæredygtig vækst, at der er tilstrækkelige substitutionsmuligheder mellem natur- og menneskeskabt kapital, jf. boks III.2 og boks III.3. Ofte skelner man mellem et stærkt og et svagt bæredygtighedsbegreb. Svag bæredygtighed bygger på en antagelse om, at naturkapital kan erstattes af andre kapitaltyper, mens stærk bæredygtighed går ud fra en antagelse om, at der kun er begrænsede muligheder for at erstatte natur med menneskeskabt kapital. Skillelinjen mellem stærk og svag bæredygtighed hænger derfor snævert sammen med spørgsmålet om substitutionsmulighederne.

Denne skelnen har blandt andet betydning for relevansen af begrebet ægte opsparring. Ægte opsparring er ændringen i den samlede nationalformue i bred forstand inklusive ændringer i f.eks. naturkapital og humankapital i løbet af en periode (f.eks. et år). Positiv (eller i det mindste ikke negativ) ægte opsparring er en indikation af, at økonomien er bæredygtig i forhold til et svagt bæredygtighedsbegreb. De Økonomiske Råd har tidligere undersøgt udviklingen i den ægte opsparring i Danmark og fundet, at opsparringen har været positiv i de undersøgte år siden 1990, jf. Det Økonomiske Råd (1998) og De Økonomiske Råd (2012).

**Substitutions-
mulighederne er
det helt centrale
nøglebegreb**

Nødvendigheden af at undgå for store forureningsproblemer og at spare på de knappe naturressourcer formindsker selv-sagt produktionens størrelse i forhold til en hypotetisk situation, hvor forurening ikke var noget problem overhovedet, og der var ubegrænset mange naturressourcer til rådighed. På denne måde begrænser hensynet til naturen det materielle produktions- og velstandsniveau. Det er imidlertid ikke på forhånd givet, at disse begrænsninger vil sætte en absolut bremse for væksten i den forstand, at den årlige BNP-vækst permanent må falde til nul (eller blive negativ) for at undgå

udpining af naturen. Det vil afhænge af, hvor gode substitutionsmuligheder der er mellem naturens input og menneskeskabte input i produktionen – dvs. hvor nemt det er at erstatte naturressourcer og produktionsmetoder, der slider på miljøet, med erstatninger i form af f.eks. ny teknologi. Substitutionsmuligheder er dermed et afgørende nøglebegreb i diskussionen om, hvorvidt og hvornår der er grænser for vækst, jf. boks III.2.

Også udviklingen af ny teknologi er substitution fra ressourcer til kapital

Begrebet substitutionsmuligheder mellem naturressourcer og menneskeskabt kapital skal forstås i bred forstand, hvor også teknologisk viden betragtes som en form for menneskeskabt kapital, som samfundet kan investere i ved at afsætte ressourcer til forskning og udvikling. I det lange løb er det netop denne form for vidensbaseret kapitalakkumulation, der er afgørende for mulighederne for fortsat økonomisk vækst. Udviklingen af nye ressourcebesparende produktionsmetoder er dermed også en form for substitution mellem naturressourcer og menneskeskabt kapital.

Vindmøller kan erstatte kulkraftværker

Et eksempel på substitution mellem natur- og menneskeskabt kapital er opførelsen af vindmøller som alternativ til kulfyrede kraftværker. Her erstattes én type menneskeskabt kapital (kulkraftværker), der er afhængig af forbruget af en bestemt ikke-fornybar ressource, af en anden type menneskeskabt kapital (vindmøller), der i stedet er afhængig af en vedvarende naturressource (vindenergi). Et andet eksempel er udviklingen af mere energieffektive benzinmotorer. Her har investeringer i forskning og udvikling ført til bedre viden og indsigt i, hvordan man skaber brændstoføkonomisk teknologi. Noget af naturressourceforbruget er dermed blevet erstattet af videnskapital. Et tredje eksempel er udviklingen af mobiltelefoni i stedet for det ældre fastnettelefon-system. Her har akkumulationen af ny viden overflødiggjort det fysiske net af telefonledninger og dermed overflødiggjort forbruget af tusinder af kilometer kobbertråd.

Boks III.2 Substitutionsmuligheder i produktionen

Produktionen af varer og tjenester i en økonomi (f.eks. et land eller hele verden) antages normalt at være en funktion af forskellige produktionsfaktorer eller input i produktionen. Sammenhængen kan formaliseres ved at opstille en overordnet produktionsfunktion for hele økonomien, der f.eks. kan have følgende udseende:

$$Y = F(A, K, L, N).$$

Her repræsenterer Y den samlede produktion af varer og tjenester (BNP), A den eksisterende videnskapital (mængden af tilgængelig teknologisk viden, know-how og humankapital), K mængden af fysisk, menneskeskabt kapital som maskiner og bygninger, L mængden af arbejdskraft og N forbruget af naturens ressourcer. Hensyn til miljø og natur påvirker dermed produktionsmulighederne i det lange løb via produktionsfaktoren N , der både kan fortolkes som brug af egentlige naturressourcer i snævrere forstand (eksempelvis olie, mineraler, fisk og tømmer) og som betydningen for produktionen af de omgivende økosystemer. For eksempel har forhold som temperatur og klima, havenes saltindhold, ozonlagets tykkelse mv. afgørende betydning for produktionsmulighederne og dermed produktionens størrelse. Omvendt påvirkes mængden af naturressourcer i bred forstand N både af produktionens størrelse og dens sammensætning, dels gennem forbrug af naturressourcer i snæver forstand og dels gennem forurening, der reducerer kvaliteten af det omgivende miljø.

Historisk har der været vækst i alle fire produktionsfaktorer. Det er imidlertid ikke muligt at have vedvarende vækst i N (ligesom heller ikke jordens befolkning kan stige ud over alle grænser). De potentielle begrænsninger, som natur og miljø sætter for produktionens størrelse og dermed væksten i det lange løb, påvirker dermed produktionsfunktionen via sammenhængen mellem N og Y . N målt i fysiske enheder som f.eks. joule eller ton kan ikke permanent stige. Der er dermed en øvre grænse for, hvor stor denne produktionsfaktor kan blive. I det lange løb vil man derfor tænke i, at N vil være konstant over tid eller, hvis N fortolkes som en ikke-fornybar naturressource som kul eller olie, faldende over tid.

Det centrale spørgsmål er, om der kan være vedvarende økonomisk vækst i en situation, hvor N ikke kan stige i det uendelige. Svaret afhænger af, hvor gode substitutionsmulighederne er mellem N og de menneskeskabte produktionsfaktorer A og K . Er substitutionsmulighederne gode, kan Y godt vokse, selvom N holdes konstant eller falder over tid. Hvis substitutionsmulighederne omvendt er tilstrækkelig ringe, kan Y ikke vokse i det lange løb uden fortsat vækst i N .

Boks III.2 Substitutionsmuligheder i produktionen, fortsat

Substitutionsmulighederne udtrykkes ofte ved hjælp af substitutionselasticiteten mellem to produktionsfaktorer. En måde at udtrykke intuitionen bag substitutionselasticiteten er, at den angiver, hvor mange procent det relative faktorforhold ændres som følge af en stigning i den relative faktorpris på én procent. Bliver der stigende knaphed på en ressource, vil det slå ud i stigende relativ pris på den pågældende ressource. Hvis substitutionsmulighederne er gode (høj substitutionselasticitet), vil det medføre, at ressourceforbruget falder forholdsvis kraftigt i forhold til den anden faktor.

Er substitutionselasticiteten mellem N og den menneskeskabte kapital mindre end én, er positiv vækst i Y ikke mulig i det lange løb. Er substitutionselasticiteten større end én, er det muligt at producere uden brug af N overhovedet, og i det tilfælde sætter naturen ikke grænser for vækst, jf. Smulders (1995). Er substitutionselasticiteten netop én, befinder man sig i det såkaldte Cobb-Douglas-tilfælde; også i denne situation vil der være mulighed for vedvarende vækst, afhængigt af forskellige andre forhold i økonomien.

Selvom fortsat vækst er mulig, er den måske ikke ønskelig

Hvis substitutionsmulighederne i den globale produktionsfunktion er gode nok, vil vedvarende bæredygtig økonomisk vækst være mulig uden at overskride naturens grænser. Det er imidlertid ikke sikkert, at fortsat økonomisk vækst også vil være ønskelig. Det vil afhænge af befolkningens præferencer for materielt forbrug i forhold til de øvrige forhold, der påvirker samfundsvelfærden. I takt med, at det materielle forbrug vokser som følge af den økonomiske vækst, bliver naturgoderne relativt mere knappe. Det kan både føre til ønsker om at mindske den økonomiske aktivitet for at kunne nyde tilsvarende mere af andre goder som fritid og herlighedsværdier i naturen, og til ønsker om det modsatte. Parallelt til diskussionen om produktionsfunktionen er passende store substitutionsmuligheder i samfundsvelfærdsfunktionen mellem naturgoder og menneskeskabte (producerede) goder en forudsætning for, at befolkningen vedvarende vil ønske at opretholde et forløb med bæredygtig økonomisk vækst, jf. boks III.3.

Boks III.3 Substitutionsmuligheder i velfærdsfunktionen

I økonomisk teori antages som regel, at et naturligt ønske for et samfund (f.eks. et land eller på globalt plan hele menneskeheden) er at opnå så høj en samlet samfundsvelfærd som muligt. Samfundets velfærd vil typisk afhænge af hver enkelt indbyggers velfærd eller nytte, som igen kan afhænge af en lang række faktorer. Nogle af disse faktorer vil være varer og tjenesteydelser, som er produceret i økonomien, mens andre ikke stammer fra produktionen. Således giver naturen umiddelbart anledning til en række oplevelser, der påvirker velfærden, f.eks. en vandretur i skoven eller inhalering af ren luft. Også en række andre forhold kan påvirke samfundets samlede velfærd. Sammenhængene kan formaliseres i form af en samfundsvelfærdsfunktion, hvor den samlede velfærd i samfundet W er en funktion af vektoren af forbruget af varer og tjenester (den materielle levestandard) C , af ydelser fra natur og miljø N og af øvrige forhold H :

$$W = W(C, N, H).$$

Ved begrebet “økonomisk vækst” forstås oftest i daglig tale vækst i produktionen af varer og tjenester. Produktionen påvirker ikke direkte samfundsvelfærden som beskrevet i funktionen, men er af afgørende betydning for den materielle levestandard C . Der er dermed ofte en positiv sammenhæng mellem produktionsniveauet og samfundsvelfærden. Imidlertid vil nogle former for økonomisk aktivitet samtidig påvirke N eller H negativt (f.eks. kørsel i en benzinbil eller mindre fritid som følge af lang arbejdstid). Der er derfor ikke nogen entydig sammenhæng mellem økonomisk vækst og ændringer i samfundets velfærd.

I takt med, at det materielle forbrug C vokser som følge af den økonomiske vækst, bliver naturgoderne N relativt mere knappe og derfor dyrere. Dette vil isoleret set trække i retning af et mindre ønske om at bevare naturgoderne og til gengæld få et højere materielt forbrug. Denne effekt svarer til en almindelig såkaldt substitutionseffekt i forbruget, der fører til en forskydning i forbruget væk fra dyre over mod billige varer og tjenester. Samtidig vil befolkningen imidlertid som følge af den større materielle velstand få bedre råd til at nyde godt af både materielle goder og naturgoder. Denne indkomsteffekt vil trække i retning af at ønske at betale for forbedringer af miljø og natur. Kun hvis de to effekter neutraliserer hinanden, vil en fortsat bæredygtig økonomisk vækst blive resultatet. Denne balance vil afhænge af substitutionsmulighederne i samfundsvelfærdsfunktionen mellem naturgoder og materiel velstand, jf. Smulders (1995).

Selvom fortsat vækst er mulig og ønskelig, vil den ikke komme af sig selv

Selvom bæredygtig økonomisk vækst skulle være både mulig og ønskelig, vil sådan en tilstand ikke komme af sig selv. Forurening og miljøproblemer er typiske og vigtige markedsfejl. Overladt til sig selv vil markedsøkonomien systematisk skabe for høj forurening og dermed nedbryde naturkapitalen. Det er derfor nødvendigt at regulere økonomien for at korrigere disse markedsfejl. Især når der er tale om store globale miljøproblemer, som f.eks. udledninger af for store mængder af drivhusgasser, giver dette en udfordring, idet verdenssamfundet endnu ikke har stor erfaring med tilstrækkeligt effektive institutioner, der kan gennemføre den nødvendige regulering på globalt plan.

Naturressourcer og markedsfejl

Hvad angår den anden hovedproblemstilling, udtømningen af jordens ressourcer, er der ikke nødvendigvis på samme måde markedsfejl, der fordrer offentlig regulering for at forhindre en inoptimal udvikling. Hvis der er fuldkommen konkurrence på ressourcemarkederne, er der i princippet ikke behov for regulering her. En høj markedspris på ressourcen vil således automatisk tilskynde til at spare på ressourcen og søge efter alternativer. Også hvad en række naturressourcer angår, er der dog klare markedsfejl, der gør offentlig indgriben hensigtsmæssig. Det gælder således for en række fornybare ressourcer, hvor manglende eller uklare ejendomsrettigheder har skabt det såkaldte Fælledens Problem, dvs. en situation med overudnyttelse af ressourcen. Overfiskning af en række fiskebestande er et typisk eksempel. Også for ikke-fornybare ressourcer kan der være vigtige markedsfejl. Udbuddet kan eksempelvis være præget af udbydere med markedsmagt, som det er tilfældet på olie-markedet, hvor OPEC-kartellet traditionelt spiller en væsentlig rolle for prisdannelsen. Usikkerhed om de fremtidige ejendomsrettigheder kan også føre til en hurtigere udvikling end optimalt. Mere generelt vil forskellige former for usikkerhed med hensyn til den fremtidige udvikling udgøre en markedsfejl, når der ikke eksisterer tilstrækkelige forsikringsmuligheder, jf. Fisher (1981).

Sammenhængen mellem BNP og velfærd

Mange grunde til, at BNP er dårlig velfærdsindikator

I den økonomisk-politiske debat sættes somme tider implicit lighedstegn mellem BNP-vækst og stigende velfærd for befolkningen. Det er dog velkendt i den samfundsøkonomiske litteratur, at BNP ikke er noget særlig godt velfærds mål, jf. eksempelvis Ploug (2014). I mange tilfælde vil aktiviteter, der forøger den samlede velfærd, samtidig påvirke det målte bruttonationalprodukt positivt, men det er også let at nævne eksempler på det modsatte. Der er adskillige grunde til, at BNP ikke er nogen særlig præcis velfærdsindikator, jf. Andersen mfl. (2012). En række vigtige årsager er beskrevet i boks III.4.

Det, vi måler, påvirker det, vi gør ...

Ikke desto mindre spiller det målte BNP en vigtig rolle som succeskriterium. Den såkaldte Stiglitz-Sen-Fitoussi-kommission, der blev nedsat af den franske præsident Sarkozy i 2008 med deltagelse af en lang række anerkendte økonomer for at udrede begrænsningerne i BNP og pege på forslag til mere relevante indikatorer, gør opmærksom på en vigtig problemstilling her: Det, vi måler, påvirker det, vi gør. Det etablerede nationalregnskab er et omfattende og velkonsolideret måleapparat, der fokuserer på økonomisk vækst, mens der ikke på samme måde er veletablerede procedurer og traditioner for at måle de øvrige forhold, der kan føre til forbedret livskvalitet. Denne skævhed medfører i sig selv, at der automatisk kommer større fokus på økonomisk vækst end på livskvalitet, jf. Stiglitz mfl. (2009).

... derfor medfører BNP-målets dominans en skævhed

Udvikling over mod bredere velfærds mål og grønne mål

Stiglitz-Sen-Fitoussi-kommissionen anbefalede derfor, at der udarbejdes pålidelige mål for de otte vigtige forhold, der er anført i boks III.4. I kølvandet på denne rapport har blandt andet OECD og en række nationale statistikbureauer iværksat et arbejde i denne retning, jf. Ploug (2014). Tilsvarende gøres der i regi af forskellige organisationer et udviklingsarbejde for at opstille bedre indikatorer for bæredygtighed og et "grønt nationalregnskab", der systematisk inddrager udviklingen i vigtige miljøindikatorer. Også mål som ægte opsparing, der bygger på en bredere opsparingsdefinition end den snævrere opsparing i nationalregnskabet, kan ses som et skridt i denne retning, jf. De Økonomiske Råd (2012).

Boks III.4 Problemer ved at anvende BNP som velfærdsindikator

Problemerne ved at anvende udviklingen i BNP som mål for samfundets velfærdsudvikling kan deles i tre niveauer.

For det første er der store datamæssige begrænsninger. I princippet bør bruttonationalproduktet angive værdien af alle de varer og tjenester, der fremstilles i en økonomi. Der findes imidlertid langt fra data for alle disse. Derfor indregnes værdien af arbejde i den uformelle sektor (først og fremmest værdien af det arbejde, der udføres i hjemmene som børnepasning, madlavning, rengøring mv.) slet ikke, mens værdien af andre vigtige ydelser som offentlige tjenester, boligydelse (lejeværdi) og sort arbejde opgøres ved indirekte og ret usikre metoder. En konsekvens heraf er eksempelvis, at det målte BNP stiger, hvis et samfund i højere grad går over til at passe børn i børnehaver, uanset om det reelle aktivitetsniveau er uændret.

For det andet er den indenlandske produktion af varer og tjenester, som BNP skal måle, ikke det mest retvisende begreb i nationalregnskabet for de materielle forbrugsmuligheder. Der er tre årsager hertil: Dels indgår udenlandsk indkomst ikke i BNP, dels ser væksten i reelt BNP bort fra ændringer i relative priser og dermed også bort fra bytteforholdsændringer over for udlandet, og dels indgår den løbende kapitalnedslidning i BNP, selvom dette element ikke forøger vores forbrugsmuligheder. Den reale nettonationalindkomst vil korrigere for disse tre faktorer og dermed mere præcist udtrykke udviklingen i de reelle materielle forbrugsmuligheder. De seneste års udvikling i Danmark peger på, at der kan være mærkbare forskelle på væksten i BNP og i reelt BNI, jf. Andersen og Spange (2012) og Pedersen (2014).

For det tredje, og vigtigste, afhænger befolkningens velfærd nok af materielle forbrugsmuligheder, men ikke kun af dem, jf. boks III.3. Også mange andre vigtige forhold påvirker velfærden uden at optræde i nationalregnskabet. Stiglitz-Sen-Fitoussi-kommissionen anførte således otte forskellige forhold, der empirisk påvirker velfærd og livskvalitet i væsentlig grad. Af disse indgår kun den første direkte i nationalregnskabets opgørelser:

1. Materiel levestandard (indkomst, forbrug og formue)
2. Miljø
3. Uddannelse
4. Personlige aktiviteter, herunder arbejde

Boks III.4 Problemer ved at anvende BNP som velfærdsindikator, fortsat

5. Politisk deltagelse
6. Sociale forbindelser og relationer
7. Helbred
8. Usikkerhed – økonomisk og fysisk

Samtidig har fordelingen af disse forhold over socioøkonomiske grupper, køn og generationer betydning for samfundets samlede velfærd, jf. Stiglitz mfl. (2009).

Økologisk og cirkulær økonomi**Økologiske
økonome
skeptiske overfor
økonomisk vækst**

Nogle økonomer er skeptiske over for tanker om fortsat økonomisk vækst, jf. Daly og Farley (2011). Denne skepsis bygger grundlæggende på en vurdering af, at substitutionsmulighederne ikke er tilstrækkelig gode til, at en bæredygtig udvikling vil være forenelig med fortsat vækst i reelt BNP. Daly og Farley (2011) opfatter dette som en kerneantagelse hos gruppen af såkaldte økologiske økonomer. Andre centrale punkter, som nævnes af økologiske økonomer som definerende, er en afvisning af mainstream-økonomisk tankegang, en understregning af, at tværvideenskabelighed er vigtig, at det økonomiske system skal ses som et undersystem af jordklodens samlede økologiske system, og at fordelingsspørgsmål er uadskillelige fra analyser af andre økonomiske spørgsmål, jf. Faber (2008). Økologiske økonomer ser sig ofte som modsætning til mere traditionelle miljøøkonomer, der arbejder med miljøspørgsmål med udgangspunkt i mainstream-økonomiske principper. Nogle af de opfattede forskelligheder virker dog mere som gradsforskelle eller forskelle i retorik. Fordelingsspørgsmål og inspiration fra andre videnskaber spiller eksempelvis også en vigtig rolle i miljø- og andre mainstream-økonomiske discipliner, ligesom det virker ukontroversielt at betragte samfundsøkonomien som en underafdeling af jordklodens mere fundamentale økologiske system.

**Cirkulær
økonomi**

Begrebet cirkulær økonomi spiller en rolle i mange diskussioner om en bæredygtig udvikling. Ikke mindst indenfor den økologiske økonomi er det et vigtigt begreb. Grundlæg-

gende er det en økonomi, hvor materialestrømmene cirkulerer i et permanent kredsløb indenfor økonomien, dvs. en økonomi, der er baseret på genanvendelse og bevarelse af naturressourcerne. En "lineær" økonomi, der er afhængig af vedvarende nye materielle input udefra og til gengæld afleverer en konstant strøm af affald, ses som den cirkulære økonomis modsætning.

Genanvendelse er optimal op til et vist niveau

Ud fra et traditionelt økonomisk synspunkt er genanvendelse af materialer optimalt i mange sammenhænge, men der er også omkostninger forbundet med det. Et samfund bør derfor genanvende sine ressourcer op til det punkt, hvor den ekstra samfundsmæssige omkostning forbundet med yderligere genanvendelse begynder at overstige den ekstra gevinst, der er ved genanvendelsen. Overskrider man dette niveau, er yderligere genanvendelse forbundet med samfundsmæssige nettotab og bør ikke iværksættes. Man bør derfor principielt forsøge at indrette affalds- og genanvendelsessektoren sådan, at markedspriserne i sektoren afspejler disse omkostninger, jf. De Økonomiske Råd (2013).

Befolkningsudvikling, økonomisk vækst og miljøproblemer

Befolkningsvækst er en udfordring for miljøet

I diskussioner om fremtidens miljø inddrages befolkningsudviklingen ofte. En større befolkning indebærer i udgangspunktet et større træk på naturens ressourcer og mere forurening. Siden 1800 er den globale befolkning steget fra under 1 mia. mennesker til mere end 7 mia. i 2015. FN vurderer, at den globale befolkning i 2050 vil være steget til omkring 9½ mia., og at den samlede befolkning i 2100 vil være på knap 11 mia. mennesker.

Større befolkning trækker et større ressourceforbrug

En stigning i befolkningens størrelse trækker i retning af større produktion og øget brug af naturressourcer. Samtidig tenderer stigningen imod at reducere forbrugsmulighederne pr. indbygger, fordi mulighederne for at anvende naturens ressourcer er begrænsede. Det øger behovet for at udvikle teknologier og produktionsprocesser, der gør det muligt at erstatte de knappe naturressourcer med andre typer af inputs. Hvis mulighederne for denne substitution er dårlige,

vil en høj befolkningsvækst hurtigere lede til knaphed på naturressourcer.

**Sammenhæng
mellem
befolkning og
forurening er
mindre klar**

Sammenhængen mellem befolkningens størrelse og de globale miljø- og forureningsproblemer afhænger blandt andet af den førte miljøpolitik. I en ureguleret verden vil en større befolkning føre til mere forurening og deraf følgende tab af velfærd for den enkelte. Hvis verden derimod fører en effektiv miljøpolitik, som kun tillader en given mængde forurening, bliver konsekvensen ikke mere forurening, men højere omkostninger. I afsnit III.3 gives desuden et eksempel på, at en større befolkningsvækst under visse omstændigheder kan føre til, at den klimapolitik har et højere ambitionsniveau.

**Befolknings-
politik er ikke en
målrettet metode
til at løse
miljøproblemer**

Der er mange gode grunde til at fokusere på befolkningsudviklingen – og sammenhængen mellem økonomisk vækst, befolkningsvækst og miljøproblemer kan være en af dem. En politik, der sigter mod at begrænse befolkningsvæksten, vil kunne bidrage til at begrænse nogle af de globale miljøproblemer. Befolkningspolitik rejser imidlertid en lang række etiske og velfærdsmæssige problemstillinger, hvortil kommer, at befolkningspolitik oplagt ikke er særlig målrettet i forhold til miljøproblemerne. Som udgangspunkt bør miljøproblemer adresseres gennem regulering, der er rettet så direkte som muligt mod de miljømæssige eksternaliteter som f.eks. udledning af drivhusgasser.

Empiriske undersøgelser

**Empiri om
sammenhængen
mellem vækst og
miljø**

Tre forskellige former for empiriske analyser, der på forskellig vis kaster lys over sammenhængene mellem økonomisk vækst og miljø- og ressourceproblemer, vil kort blive præsenteret i det følgende. For det første er der i en del undersøgelser estimeret konkrete substitutionselasticiteter mellem forskellige former for naturressourcer og forskellige former for fysisk kapital. For det andet har nogle undersøgelser påvist en klokkeformet sammenhæng mellem økonomisk udvikling og visse miljøproblemer – en korrelation, som antyder, at der faktisk er en mulighed for at substituere i forbrug og produktion på en sådan måde, at miljøproblemerne kan mindskes. Endelig for det tredje har forskellige

studier forsøgt at sætte tal på, hvor stor en hæmsko for den økonomiske vækst den nødvendige hensyntagen til miljøet har været i bestemte perioder.

**Undersøgelser
har fundet
substitutions-
elasticiteter på
både over og
under én**

Der er i tidens løb foretaget mange undersøgelser i forskellige sammenhænge af substitutionselasticiteter på makroniveau mellem f.eks. energi og (fysisk) kapital. Neumayer (2000) giver en oversigt over en række af disse tidligere undersøgelser. Forfatteren konkluderer efter en diskussion af en række metodiske problemer, at det samlede billede ikke giver noget troværdigt svar på det centrale spørgsmål om, hvorvidt substitutionselasticiteten mellem energi og menneskeskabt kapital er over eller under én. I Markandya og Pedroso-Galinato (2007) bringes også en oversigt over forskellige tidligere studier af aggregerede substitutionselasticiteter, og samtidig præsenterer forfatterne selv et nyt sæt estimater. Baseret på data for en aggregeret produktionsfunktion med fire faktorer (fysisk kapital, humankapital, ikke-fornybare energiressourcer og jord) for godt 200 lande finder de frem til substitutionselasticiteter mellem energi og fysisk kapital, der afhængigt af specifikationen strækker sig fra 0,37 til 1,57. Også de tidligere studier, der refereres i artiklen, har estimeret elasticiteter mellem forskellige former for ikke-fornybare ressourcer på den ene side og et bestemt kapitalbegreb på den anden side, der ligger både over og under én.

**Historiske
undersøgelser
ingen garanti for
den fremtidige
værdi**

De forskellige undersøgelser giver altså forskellige svar på spørgsmålet om substitutionselasticiteternes historiske størrelse. Der er samtidig en række data- og metodemæssige problemer forbundet med beregningen af substitutionselasticiteter i denne sammenhæng. Således giver tværsnits- og tidsserieanalyser typisk estimater, der afviger fra hinanden, og i praksis anvendes ofte et ret snævert afgrænset kapitalapparat i analyserne. En mere fundamental indvending mod at lægge for meget vægt på disse undersøgelser er, at de afspejler elasticiteten i en konkret historisk periode. Men det, der er afgørende for de fremtidige muligheder for bæredygtig økonomisk vækst, er den fremtidige substitutionselasticitet, og den kan sagtens tænkes at ændre sig, efterhånden som kapital/ressourceforholdet ændrer sig, jf. Schou (2010).

Miljø-Kuznets-kurven er en klokkeformet sammenhæng

Andre empiriske undersøgelser har forsøgt mere direkte at sammenligne udviklingen i den økonomiske velstand, typisk målt ved BNP, og forekomsten af en række miljøproblemer. For en del specifikke miljøproblemer er der blevet påvist en klokkeformet sammenhæng mellem økonomisk velstand målt f.eks. ved BNP og det pågældende miljøproblems størrelse: I samfund med meget lavt BNP er forureningsniveauet også lavt. Efterhånden som produktionsniveauet stiger, vokser også forureningen, men kun til et vist punkt – derefter begynder forureningsniveauet at falde, efterhånden som økonomien vokser yderligere. Denne ikke-lineære sammenhæng benævnes ofte miljø-Kuznetskurven efter den russisk-amerikanske økonom Simon Kuznets, der mente at kunne påvise en tilsvarende klokkeformet sammenhæng mellem den økonomiske velstand og indkomstfordelingen i et land.

Kan eksempelvis begrundes med miljø som luksusgode

Nogle forureningsproblemer har fulgt en sådan klokkeformet Kuznets-udvikling, jf. oversigstartiklen i Kijima mfl. (2010), mens andre ikke følger samme mønster. Der findes en række begrundelser for, hvorfor en sådan klokkeformet udvikling er tænkelig. Den kan således begrundes med, at et rent miljø er et såkaldt luksusgode, dvs. efterspørgslen efter godet stiger mere end proportionalt med indkomsten. For fattige og uudviklede samfund er der ikke megen forurening, fordi produktionen er lille. Efterhånden som produktionen stiger, følger forureningen med, men i takt med den stigende velstand får befolkningen også et større ønske om at gøre mere ved problemet. Derfor indføres efterhånden en skrapere miljøpolitik, som så igen reducerer problemet.

Ingen prædiktiv kraft

Selvom miljø-Kuznetskurven har kunnet eftervises i nogle konkrete tilfælde, eksempelvis svovldioxid og partikelforurening, udgør den ingen lovmæssighed og har således ikke speciel prædiktiv kraft. Man kan altså ikke regne med, at alle nutidens – eller fremtidens – miljøproblemer vil følge samme mønster, jf. Schou (2010).

Hvor stor er hæmskoen for væksten?

Udover undersøgelser af substitutionselasticiteter og miljø-Kuznetskurven har en tredje gruppe undersøgelser forsøgt at kvantificere den hæmsko, som ressource- og miljøbegrænsningerne lægger på økonomien i forhold til et hypotetisk

alternativ, hvor der ingen miljøproblemer findes, og der heller ikke skal tages hensyn til særlige knaphedsproblemer for naturressourcer.

Typiske skøn er nogle få promille årligt

Foregangsmanden her er den amerikanske økonom William Nordhaus, der i 1992 vurderede, at den gennemsnitlige årlige vækstrate i nationalindkomsten ville være ca. 0,3 pct. lavere i perioden 1980-2050 end i en situation, hvor man hypotetisk ser bort fra de begrænsninger, som hensynet til natur og miljø sætter. I regnestykket indgik skønnede omkostninger som følge af begrænsninger i energibrændsler, andre mineraler, jord, drivhusopvarmning og mere lokale forureningsproblemer, jf. Nordhaus (1992). Brock og Taylor (2005) lavede nogle tilsvarende beregninger for omkostningerne ved forurening, hvor de kom frem til estimater for hæmskoen på mellem 0,06 pct. og ½ pct. årligt, med et centralt skøn på 0,2 pct. Gordon (2012), der i en meget omtalt artikel stiller spørgsmål ved, om USA kan opretholde en nævneværdigt positiv økonomisk vækstrate i det 21. århundrede, anvender ligeledes et skøn for en hæmsko som følge af klima- og energiproblemer på 0,2 pct. årligt.

Hensynet til naturen begrænser væksten, men standser den næppe helt

Disse hæmsko-beregninger må betegnes som ret usikre overslag. Fælles for dem er, at de vurderer, at hensynet til naturens grænser medfører, at den gennemsnitlige økonomiske vækst er og også fremover vil blive lavere, end den ellers ville have været. Men hæmskoen er næppe i en størrelsesorden, så den i sig selv vil eliminere den økonomiske vækst i en overskuelig tidsperiode fremover.

III.3 Klimaet og den økonomiske vækst

Klimaproblemerne er efter mange eksperters mening det største globale miljøproblem, vi kender til i vores tid. Samtidig er det det miljøproblem, der først og fremmest har offentlighedens interesse i øjeblikket i diskussionen om forholdet mellem miljø og vækst. I dette afsnit diskuteres nærmere, hvor stor konflikten er mellem hensyn til klimaet og fortsat økonomisk vækst. Desuden præsenteres en række beregninger af klimaproblemernes omfang, foretaget ved hjælp af den klimaøkonomiske model DICE.

**Togradersmål er
referencepunkt
for FN's
klimapanel**

FN's klimapanel IPCC har i sin femte evalueringsrapport givet en række bud på, hvor store omkostningerne vil være ved at føre en effektiv klimapolitik, når de måles i forhold til væksten i det samlede forbrug på verdensplan, jf. IPCC (2014). IPCC's referencepunkt er, at den globale middeltemperatur ikke bør stige til mere end to grader over det forindustrielle niveau. Togradersmålet kan ses som en måde til at tage højde for fundamentale usikkerheder, sådan at der er en rimelig sandsynlighed for, at klimaforandringerne ikke kommer ud af kontrol, så længe man holder sig indenfor dette mål. Målet formodes at være foreneligt med en koncentration af drivhusgasser i atmosfæren på 450 ppm (parts per million) i 2100. Ved klimamødet COP15 i København i 2009 blev togradersmålet officielt udpeget som mål for verdenssamfundets klimapolitik.

**Effektiv
klimapolitik
reducerer kun
forbrugsvæksten
beskedent**

Det centrale skøn for omkostningen for verdenssamfundet ved at overholde dette mål beregner IPCC i en række scenarier til at udgøre, hvad der svarer til en reduktion i den årlige forbrugsvækst på mellem 0,04 og 0,14 pct.point i gennemsnit over hele det 21. århundrede. Det svarer til, at *niveauet* for de globale materielle forbrugsmuligheder i 2100 isoleret set vil ligge mellem 3 og 11 pct. lavere som følge af omkostningerne ved klimapolitikken. Tallene skal ses i sammenligning med, at den årlige vækst i det samlede globale forbrug i disse beregninger er mellem 1,6 og 3 pct. årligt over hele århundredet.

**Også
omkostninger ved
ikke at reagere**

I vurderingen af omkostningerne ved at opfylde togradersmålsætningen skal man samtidig tage hensyn til, at der også vil være omkostninger i form af større klimaskader forbundet med ikke at reducere udledningerne af drivhusgasser svarende til togradersmålet.

**Klimapolitikken
bør være
omkostnings-
effektiv**

De nævnte beregninger gælder for en situation, hvor klimapolitikken føres så effektivt som muligt. Det indebærer, at alle verdens lande antages at påbegynde reduktionerne med det samme, og at der etableres en ensartet global udledningspris, der sikrer, at udledningerne reduceres, hvor det kan ske billigst muligt. Opfyldes disse betingelser ikke, eller lægges der eksempelvis begrænsninger på teknologivalget, vil omkostningerne blive større.

**Hensigtsmæssigt
at adskille
fordelings- og
effektivitets-
hensyn**

En ensartet global afgift på alle drivhusgasser eller et tilsvarende globalt system med omsættelige kvoter for drivhusgasser er de mest oplagte instrumenter til at sikre en omkostningseffektiv løsning af klimaproblemerne. Disse instrumenter har også den fordel, at spørgsmålet om, hvilke lande der skal betale for klimatiltagene, kan adskilles fra spørgsmålet om, hvor reduktionerne i udledningerne skal finde sted. Denne adskillelse er hensigtsmæssig, fordi det globalt er en meget udbredt holdning, at de vestlige lande, der har de største økonomiske ressourcer og historisk har stået for den største udledning, bør betale en relativt stor del af omkostningerne. Skal en global aftale virkeliggøres, må den derfor formodentlig tage udgangspunkt i denne præmis. Samtidig bør de nødvendige reduktioner imidlertid finde sted, hvor det er billigst, hvilket ofte vil sige i mellemlands- og udviklingslande.

**Vekselvirkning
mellem naturens
processer og
økonomisk
aktivitet**

Beregninger af den ovenfor refererede slags er typisk foretaget ved hjælp af såkaldte IAM-modeller (Integrated Assessment Models), der kort kan beskrives som modeller, der forener naturvidenskabelige og makroøkonomiske elementer. De forsøger altså at illustrere vekselvirkningen mellem økonomiske aktiviteter og naturens processer: Udledningerne af CO₂, som afhænger af både omfanget og arten af den økonomiske aktivitet, påvirker via komplekse naturlige reaktioner det globale temperaturniveau, der igen påvirker den menneskelige velfærd og rammerne for den økonomiske aktivitet.

**Meget stor
usikkerhed i
model-
beregninger**

Det er vigtigt at understrege, at der er meget stor usikkerhed forbundet med de fremskrivninger af de fremtidige sammenhænge mellem samfundsøkonomien og klimaet, som foretages i disse modeller. En anvendelig IAM-model er nødvendigvis en meget kraftig forsimplicering af de mange forskellige komplicerede økonomiske og naturvidenskabelige processer, som løbende finder sted. For en række af de centrale naturvidenskabelige og samfundsøkonomiske sammenhænge gælder det, at vores viden i dag er så begrænset, at der ikke eksisterer enighed om, hvad der er den bedste fremgangsmåde, når sammenhængene skal gengives i formaliseret form i en computermodel. Det gælder eksempelvis klimafølsomheden, dvs. bestemmelsen af, hvor store

fremtidige temperaturstigninger den fremskrevne koncentration af drivhusgasser i atmosfæren vil medføre.

**Modelbyggere
ofte på bar bund**

Et mindst lige så vigtigt usikkerhedsmoment er, hvor stort tilbageslaget af en given stigning i middeltemperaturen vil være på vores økonomiske velfærd, jf. Pindyck (2013). Dette tilbageslag søges ofte indfanget i en såkaldt skadesfunktion, som omregner temperaturstigninger til en monetariseret værdi for tab af produktion eller menneskelig velfærd. Den nøjagtige udformning af denne tabsfunktion er dermed overordentlig vigtig for resultaterne. Her står modelbyggerne imidlertid ofte på relativt bar bund. Der eksisterer hverken en overbevisende økonomisk teori eller tilstrækkelige empiriske data, der med nogen særlig præcision kan bestemme det rette udseende. Forskellige valg, hvad angår de centrale parametre, kan føre til vidt forskellige størrelsesordener for omkostningerne ved CO₂-udledninger og dermed også af, hvad det fornuftigste reduktionsforløb vil være.

**Katastrofe-
scenarier særlig
vigtig – og endnu
uløst –
problemstilling**

En særlig vigtig omstændighed er faren for klimakatastrofer: Naturvidenskabsfolk har peget på muligheden for, at hvis temperaturen stiger over bestemte tærskelværdier, kan det udløse særlige begivenheder, hvor skaderne stiger voldsomt. Eksempler er ændringer i havstrømme som Golfstrømmen, et massivt udslip af metan fra smeltende permafrost eller kollaps af de antarktiske ismasser. Det er hændelser, som ikke er særlig sandsynlige, men omvendt ikke kan udelukkes, og som kan få katastrofale konsekvenser, hvis de indtræffer. Muligheden for sådanne klimakonsekvenser med lille sandsynlighed, men meget stor skadesvirkning, hvis de indtræffer, er en særlig udfordring at håndtere tilfredsstillende i de eksisterende klimamodeller. Denne udfordring kan endnu ikke siges at være tilfredsstillende løst i de toneangivende modeller, der p.t. bruges, jf. nedenfor.

**Politiske og etiske
spørgsmål**

Fastlæggelsen af andre parametre i modellen er grundlæggende et politisk eller etisk spørgsmål, som fagøkonomer ikke objektivt kan besvare. Det gælder ikke mindst spørgsmålet om den rette diskonteringsrate, dvs. afvejningen mellem omkostninger og gevinster, der optræder i dag i forhold til mange år ud i fremtiden, jf. nedenfor. Derudover er der

andre typer af usikkerheder, eksempelvis med hensyn til de samfundsmæssige reaktioner på klimaforandringerne som migrationer, flygtningestrømme og konflikter, jf. Heal og Millner (2014).

**Fornuftig
modelbrug er en
balancegang**

De store usikkerheder i grundlaget for modelberegningerne får somme tider folk til at stille spørgsmålet, om det overhovedet giver mening at anvende økonomiske modeller af denne og tilsvarende karakter til noget som helst. Det er dog formodentlig stadig bedre end det alternativ, der ville bestå i at arbejde i blinde uden noget talmæssigt grundlag overhovedet. Selv usikre modeller er blandt andet nyttige til at skabe overblik over sammenhænge og pege på, hvad vi har brug for at vide mere om. Samtidig kan modellerne bruges til følsomhedsanalyser, der sætter fokus på betydningen af de forskellige usikkerheder. Fornuftig modelbrug bygger derfor på en balancegang mellem at kunne bruge den indsigte, der faktisk kan fås fra beregningerne, og faren for at lægge større vægt på resultaterne, end de kan bære.

**Spænd fra -13 til
4860 kr. pr. ton
CO₂**

Som en illustration af de vidt forskellige resultater, som forskellige antagelser om de grundlæggende klimaøkonomiske sammenhænge fører frem til, præsenterer Tol (2011) en række opgørelser over de skønnede miljøomkostninger ved at udlede et ekstra ton CO₂. Opgørelserne spænder fra minus 13 kr. (altså en *gevinst* ved CO₂-udledning) til 4860 kr. pr. ton i 2005-priser, jf. også De Økonomiske Råd (2012). Gennemsnittet for alle de medtagne beregninger er i denne opgørelse 178 kr. pr. ton i 2005-priser.

Beregninger med DICE

**DICE er en kendt
global
klimamodel**

Et af de ældste og kendteste eksempler på en IAM-model er DICE (Dynamic Integrated model of Climate and the Economy), der er udviklet af William Nordhaus fra Yale University specielt til at analysere klimaøkonomiske spørgsmål. DICE kan anvendes til at illustrere konsekvenserne for global produktion og velfærd under forskellige forudsætninger. DICE-beregninger indgår blandt andet i grundlaget for IPCC's rapporter. Ligeledes anvender den amerikanske miljøstyrelse *Environmental Protection Agency* DICE som en af styrelsens tre hovedklimamodeller (ved siden af mo-

dellerne PAGE og FUND). Det bør understreges, at de ovenfor nævnte problemstillinger om usikkerheden og begrænsningerne i IAM-modeller også gælder for DICE. I boks III.5 præsenteres flere detaljer om DICE, og på de følgende sider illustreres en række sammenhænge mellem klimaproblemer, klimapolitik og økonomisk vækst, som de optræder ifølge forudsætningerne i denne model.

**Befolkningen
stiger fra 6½ til
10½ mia.**

I det her præsenterede grundforløb antages befolkningsudviklingen at følge det centrale scenarie i FN's befolkningsfremskrivning. Det indebærer, at befolkningen stiger fra ca. 6½ mia. i 2010 til 10½ mia. mennesker omkring 2100, hvorefter den antages at stabilisere sig på dette niveau. Samtidig stiger produktionen og forbruget pr. indbygger, dels på grund af teknologiske fremskridt og dels som følge af kapitalakkumulation. Den årlige forbrugsvækst pr. capita er i grundfremskrivningen ca. 2 pct. i det 21. århundrede og 1 pct. i det 22. århundrede.

**Laden-stå-til-
forløb**

Konsekvenserne af at fastholde den nuværende klima- og energipolitik fremadrettet i en slags laden-stå-til-forløb vil ifølge DICE være en tredobling af den årlige CO₂-udledning i løbet af det 21. århundrede fra 34 gigaton CO₂ i 2010 til 103 gigaton i 2100. Det vil ifølge modelfremskrivningen medføre en stigning i den atmosfæriske koncentration af drivhusgasser fra knap 400 ppm i 2010 til godt 850 ppm i 2100 og en fortsat stigning videre frem, jf. figur III.1. Konsekvensen bliver ifølge fremskrivningen en stigning i den globale middeltemperatur fra et niveau på knap en grad C over det før-industrielle niveau i 2010 til et niveau på fire grader i 2100 og en yderligere stigning til over seks grader 100 år senere.¹ Dette laden-stå-til-forløb betragtes i det følgende som modellens grundforløb, som de fleste øvrige scenarier sammenlignes med.

1) Modelteknisk antages i dette forløb, at udledningerne bremses fra ca. 2200, hvilket medfører, at klimaet stabiliseres i løbet af det 23. århundrede.

Boks III.5 Den klimaøkonomiske model DICE

DICE er en såkaldt *integrated assessment model* (IAM-model), der illustrerer samspillet mellem samfundsøkonomien og klimaet. I modellen tages højde både for økonomiens påvirkning af klimaet (primært via afbrænding af fossile brændsler) og tilbagespillet i form af klimaforandringernes konsekvenser for produktions- og forbrugsmulighederne. Den er udviklet af professor William Nordhaus i starten af 1990'erne, jf. Nordhaus (1993). Den anvendte modelversion er udarbejdet i 2013 med henblik på at være forenelig med de naturvidenskabelige sammenhænge i IPCC's femte evalueringsrapport, jf. Nordhaus (2013).

Modellen kan opfattes som en såkaldt Ramsey-model, dvs. en traditionel økonomisk vækstmodel med en repræsentativ forbruger og produktionsvirksomhed. Værdiskabelsen i økonomien antages i modellen at fremkomme ved brug af kapital, arbejdskraft og energi. Teknologiske fremskridt medfører, at værdien af produktionen pr. capita alt andet lige stiger over tid. Produktionen anvendes dels til forbrug, dels til opsparing og dermed akkumulation af ny kapital. Produktionen og dermed også forbrugsmulighederne antages at blive påvirket negativt af stigninger i den globale middeltemperatur, blandt andet på grund af konsekvenserne for landbrugsproduktionen. Dette indfanges af modellens skadesfunktion, der angiver, hvor meget en given temperaturstigning vil formindske produktionen. Samtidig påvirkes produktionen isoleret set negativt af begrænsninger i brugen af fossile brændsler, mens stigende produktion (for en given CO₂-intensitet) vil medføre højere global middeltemperatur. DICE er en deterministisk model. Det betyder, at den ikke direkte tager højde for, at der er stor usikkerhed om, hvad de præcise virkninger på jordens økosystem vil være af en given temperaturstigning. Den tager dermed heller ikke eksplicit hensyn til risikoen for særlig uheldige katastrofale følger af den globale opvarmning.

Aktørerne i økonomien antages i DICE løbende at træffe to grundlæggende beslutninger: Dels et valg mellem, hvor stor andel af produktionen der skal anvendes på henholdsvis forbrug og opsparing, og dels et valg om, hvor CO₂-intensiv produktionen skal være. Forbrugerne antages at træffe et optimalt valg, hvad det første angår. Hvad klimapolitikken angår, kan modellen illustrere scenarier, hvor der føres en optimal klimapolitik (hvilket vil sige den klimapolitik, der sikrer den størst mulige diskonterede nytte), såvel som scenarier med en eksogent givet global klimapolitik, eksempelvis en fortsættelse af status quo.

Samfundsvelfærdsfunktionen (kriteriefunktionen) består af den tilbagediskonterede nytteværdi af pr. capita-forbruget fratrukket klimaskader, vægtet med hver

Boks III.5 Den klimaøkonomiske model DICE, fortsat

generations størrelse. Sidstnævnte antagelse medfører, at fremtidige tidsperioder alt andet lige får større vægt i grundforløbet, simpelthen fordi det forventes, at der vil leve flere mennesker i fremtiden end i nutiden.

Produktionsfunktionen antages at være af Cobb-Douglas-typen, hvilket vil sige, at substitutionselasticiteten mellem fossile brændstoffer, kapital og arbejdskraft er lig med én. Denne grundlæggende antagelse indebærer, at produktionen kan vokse i det lange løb, selvom der skæres ned på de fossile udledninger, jf. boks III.2.

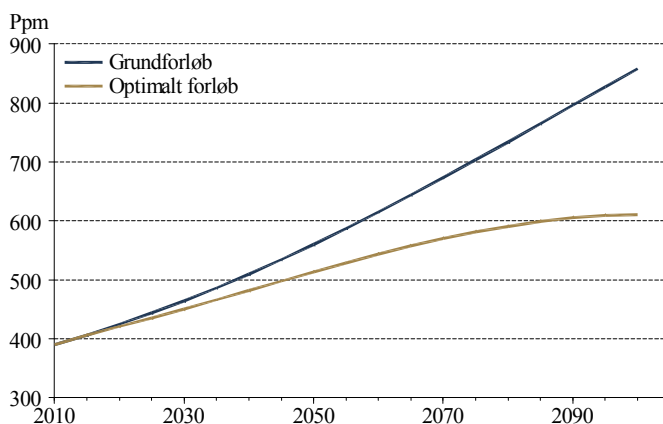
Modellen anvendes her til at illustrere udviklingen i perioden 2010-2300 med vægt på perioden frem til 2100.

Der er flere typer af teknologiske fremskridt i DICE. Dels antages generelle teknologiske fremskridt at forøge produktiviteten med godt $1\frac{1}{2}$ pct. årligt initialt, faldende til ca. 0,3 pct. årligt i 2300. Dels antages der forbedringer i energieffektiviteten, der alt andet lige formindsker udledningerne pr. produceret vare over tid med 1 pct. årligt i starten faldende til $\frac{3}{4}$ pct. Endelig antages der at være en bagstopperteknologi, dvs. en mulighed for at producere uden anvendelse af CO_2 , hvis pris i forhold til forbrugsvarer falder med $\frac{1}{2}$ pct. om året.

Det er antaget, at tidspræferenceraten er $1\frac{1}{2}$ pct. årligt. Det indebærer, at fremtidens nytte neddiskonteres i forhold til nutidens, jf. boks III.6.

Prisen på olie og andre fossile brændsler antages i grundforløbet i DICE at stige med 2 pct. årligt i forhold til almindelige forbrugsvarer. Det afspejler, at der vil blive stigende knaphed på disse råstoffer i takt med, at jordens eksisterende ressourcer bruges op, jf. afsnit III.4. Den begrænsede mængde af fossile reserver er også direkte afspejlet i DICE, hvor den kumulerede udvinding ikke kan overstige 6000 gigaton kulstof. Selv i grundforløbet uden skærpet klimapolitik overstiger den kumulerede udvinding i de kommende tre århundreder dog ikke 4700 gigaton, hvilket illustrerer, at forureningsproblemet forbundet med fossile brændsler er betydeligt større end knaphedsproblemet.

Figur III.1 Atmosfærisk koncentration af CO₂



Anm.: I grundforløbet er det antaget, at der ikke føres aktiv klimapolitik udover ambitionsniveauet fra 2010. I det optimale forløb indrettes den globale klimapolitik optimalt i henhold til antagelserne i DICE.

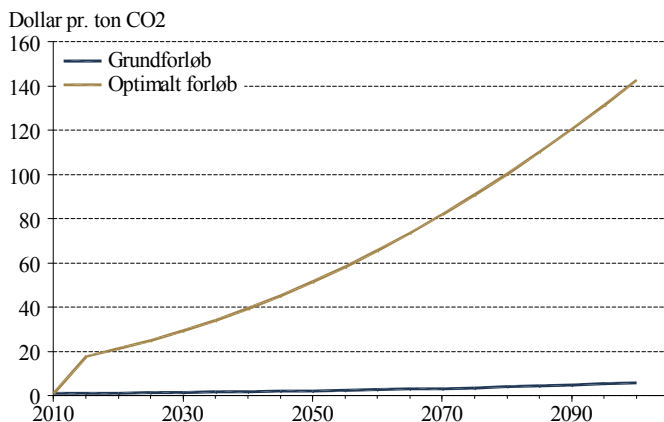
Kilde: Beregninger på DICE.

Optimal afgift stiger fra 18 til 143 dollar over århundredet

Som alternativ til det nævnte laden-stå-til-forløb kan det beregnes, hvad en optimal klimapolitik vil indebære ifølge modellens grundlæggende antagelser. En optimal klimapolitik skal her forstås som en situation, hvor der netop udledes så meget CO₂, at marginalomkostningerne ved at nedbringe udledningerne yderligere svarer til den opgjorte marginale skadesværdi. Det er muligt at fortolke forløbet med optimal klimapolitik som et forløb, hvor der indføres en global CO₂-afgift, der netop svarer til den marginale skadesvirkning, som udledningerne har på produktion og forbrug. En anden mulig udlægning er, at reduktionerne sker som resultat af indførelsen af et globalt system med omsættelige udledningskvoter. I dette tilfælde vil markedsprisen for kvoter svare til, hvad afgiften ville være under en afgiftsordning. I det optimale forløb i DICE er afgiften/kvoteprisen på knap 18 dollar pr. ton CO₂ i 2015 og stiger til 143 dollar i 2100 (2010-priser), jf. figur III.2. Til sammenligning var kvoteprisen i EU's kvotesystem primo februar 2015 ca. 7 euro pr. ton, hvilket svarer til omkring 8 dollar i årets priser (eller godt 7 dollar i 2010-priser). Den optimale globale afgift i

DICE er altså for tiden mere end dobbelt så høj som EU's nuværende kvotepris – og vil stige kraftigt i fremtiden.²

Figur III.2 CO_2 -afgiftsniveau



Anm.: I grundforløbet er det antaget, at der ikke føres aktiv klimapolitik udover ambitionsniveauet fra 2010. I det optimale forløb indrettes den globale klimapolitik optimalt i henhold til antagelserne i DICE. Afgiften er angivet i 2010-priser.

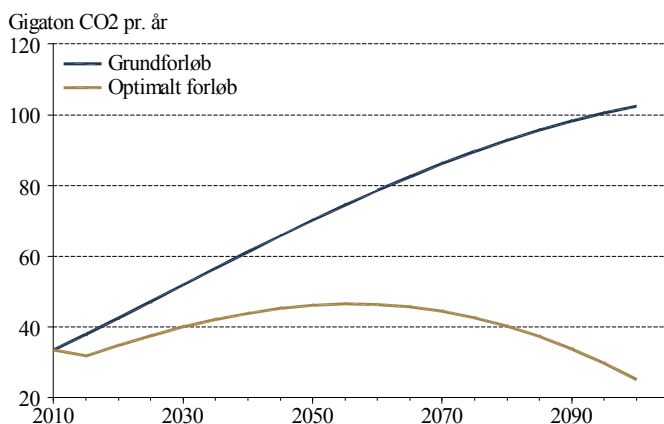
Kilde: Beregninger på DICE.

Klokkeformet udledningsforløb

I DICE-modellens optimale forløb får udledningerne i løbet af århundredet et klokkeformet forløb, som det fremgår af den følgende figur III.3. De globale udledninger stiger frem imod 2060 og falder derefter til et niveau, der er lavere end i dag. Når udledningerne ikke falder med det samme i det optimale forløb, hænger det sammen med afgiftens (eller kvotebegrænsningernes) udvikling over tid, hvor klimapolitikken gradvis bliver mere og mere restriktiv. I 2050 er BNP pr. capita en anelse (mindre end én promille) lavere i det optimale forløb end i grundforløbet.

- 2) Den globale afgift/kvotepris i DICE kan betragtes som en gennemsnitlig afgift på udledninger i hele verden. I 2010 var den gennemsnitlige globale nettoafgift, som er lagt ind i grundforløbet, ca. 1 dollar, jf. Nordhaus (2013).

Figur III.3 Industrielle emissioner



Anm.: I grundforløbet er det antaget, at der ikke føres aktiv klimapolitik udover ambitionsniveauet fra 2010. I det optimale forløb indrettes den globale klimapolitik optimalt i henhold til antagelserne i DICE.

Kilde: Beregninger på DICE.

Gevinsten ved at “investere” i klimaet stiger i kommende årtier

Den stigende profil i den optimale afgift ifølge DICE-modellen er karakteristisk for såvel denne som en række andre IAM-modeller, jf. Nordhaus (2007). Den grundlæggende årsag til, at det i disse modeller er optimalt med en gradvis stramning af klimapolitikken og dermed en stigende profil for CO₂-afgiften, er, at kapital i dag er relativt knap. Gevinsten ved at investere i mere kapital (inklusive f.eks. humankapital) er ifølge DICE og lignende modeller i dag relativt stor i forhold til alternativt at “investere” i yderligere nedbringelse af drivhusgas-udledninger. I det optimale forløb vil kapitalapparatet imidlertid stige, og det ekstra udbytte ved at investere endnu mere falder derfor. Samtidig øges skaden ved yderligere udledninger. Den relative gevinst ved at investere i klimaet stiger derfor i de kommende årtier.

Det grønne paradoks næppe et problem i disse forløb

Sinn (2008) har påpeget, at en CO₂-afgift, der forventes at stige over tid, paradoksalt nok risikerer at føre til en forværring af klimaproblemerne. Årsagen er, at udbyderne af fossile brændsler kan tænkes at fremskynde udvindingen for at nå at sælge deres beholdninger, inden skatten bliver for høj.

Denne problemstilling omtales ofte som det grønne paradoks. Skal det grønne paradoks materialisere sig, vil det dog i almindelighed kræve, at de årlige afgiftsstigninger er større end renten, hvilket ikke er tilfældet i det viste DICE-forløb. Også en række andre forhold som eksempelvis stigende udvindingsomkostninger gør risikoen for det grønne paradoks mindre, jf. van der Werf og di Maria (2012). Samtidig vil et globalt dækkende system med omsættelige udledningskvoter være immunt over for det grønne paradoks, idet det ikke vil give udvinderne kollektivt nogle muligheder for at fremskynde forbruget af fossile brændsler, jf. De Økonomiske Råd (2010).

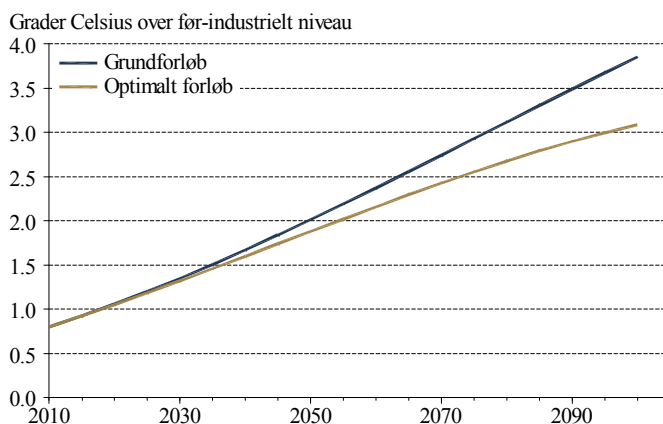
**Toppunkt på godt
600 ppm**

I det optimale forløb vil den atmosfæriske koncentration af drivhusgasser stige til et niveau på lige over 600 ppm i løbet af det 21. århundrede. Efter århundredskiftet vil dette niveau igen falde som følge af stadig mindre udledninger kombineret med en vis naturlig reduktion af koncentrationen. Den højeste koncentration nås dermed netop omkring 2100.

**I optimalt forløb
stiger
temperaturen op
til 3½ grader**

Udviklingen i udledninger og koncentrationer medfører, at den globale middeltemperatur i det optimale DICE-forløb stiger til godt tre grader over det før-industrielle niveau i løbet af 2000-tallet, jf. figur III.4. Temperaturstigningen øges yderligere efter 2100 og når ifølge beregningen op på omkring 3½ grader kort efter 2100, hvorefter temperaturen begynder at falde i takt med, at koncentrationen af drivhusgasser i atmosfæren mindskes. Det er således ifølge DICE ikke optimalt at begrænse de globale temperaturstigninger til to grader. Dette skyldes blandt andet den anvendte diskontering i modellen, hvilket diskuteres nærmere nedenfor.

Figur III.4 Global middeltemperatur



Anm.: I grundforløbet fortsætter temperaturen med at stige til ca. seks grader over før-industrielt niveau, mens temperaturen i det optimale forløb gradvis aftager og når et maksimalt niveau på $3\frac{1}{2}$ grad over førindustrielt niveau omkring 2130, hvorefter den aftager langsomt.

Kilde: Beregninger på DICE.

Togradersmålet

Togradersmål officielt referencepunkt

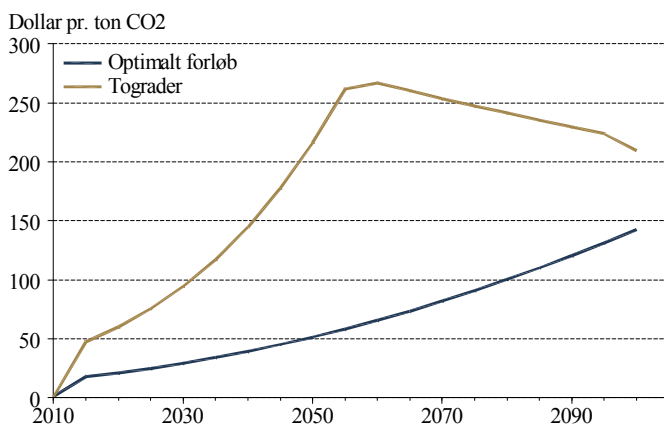
Man kan sammenligne det optimale DICE-forløb med et forløb, hvor man globalt fører en klimapolitik, der sikrer, at temperaturen aldrig overstiger et niveau på to grader over førindustrielt niveau. Togradersmålsætningen blev officielt knæsat på klimatopmødet COP15 i København i 2009 som mål for den maksimale temperaturstigning, verdenssamfundet bør acceptere. Bag denne målsætning ligger en vurdering af, at så længe man holder sig indenfor dette mål, er der en rimelig sandsynlighed for, at klimaforandringerne ikke kommer ud af kontrol. Det drejer sig ikke mindst om hensynet til en rimelig sikkerhed for, at de tidligere nævnte katastrofescenarier, der især er tænkelige ved ret høje temperaturstigninger, ikke vil indtræffe.

Togradersmål kræver afgift på 270 dollar

Ifølge DICE vil et forløb, hvor den maksimale temperaturstigning begrænses til to grader, kræve, at CO₂-afgiften straks hæves til omkring 50 dollar pr. ton, og at afgiften herefter gradvis hæves yderligere til et niveau på over 270

dollar omkring 2060, hvorefter den igen falder, jf. figur III.5.

Figur III.5 CO_2 -afgiftsniveau



Anm.: I det optimale forløb indrettes den globale klimapolitik optimalt i henhold til antagelserne i DICE. I togradersforløbet er yderligere pålagt den restriktion, at den globale middeltemperatur aldrig må overstige to grader over før-industrielt niveau.

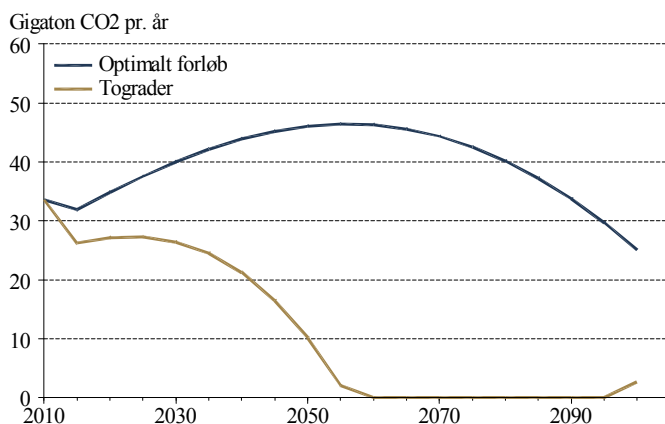
Kilde: Beregninger på DICE.

En sådan politik medfører, at udledningerne gradvis falder til nul i 2060, idet der dog levnes plads til en lille genoptagelse ved århundredets slutning, jf. figur III.6.

Behov for omkostnings-effektivitet

Overholdelse af togradersmålet vil altså kræve en betydeligt kraftigere indsats fra verdenssamfundets side, end man ser i dag. Dermed bliver det tilsvarende vigtigere, at indsatsen foretages omkostningseffektivt, så ressourceforbruget forbundet med at opretholde et stabilt klima ikke bliver større end nødvendigt på grund af ineffektive virkemidler.

Figur III.6 Industrielle emissioner



Anm.: I det optimale forløb indrettes den globale klimapolitik optimalt i henhold til antagelserne i DICE. I togradersforløbet er yderligere pålagt den restriktion, at den globale middeltemperatur aldrig må overstige to grader over før-industrielt niveau.

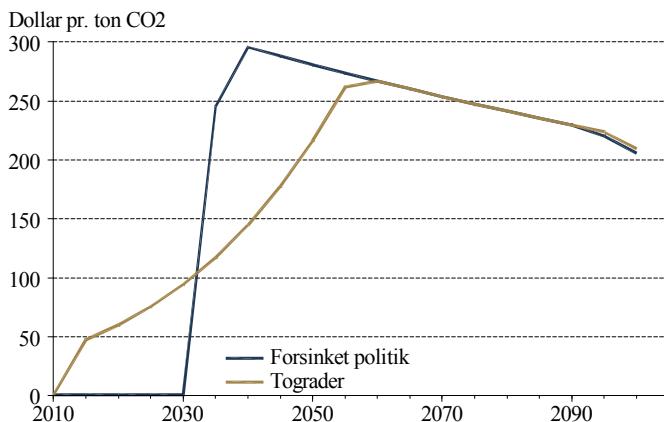
Kilde: Beregninger på DICE.

Togradersforløb giver først lavere og dernæst højere nettoforbrug

Omkostningerne forbundet med den mere ambitiøse klimapolitik i tograders-scenariet medfører, at produktionen pr. capita omkring 2050 er ca. 2½ pct. lavere i togradersforløbet end i det optimale forløb: Mens BNP pr. capita i det optimale forløb er knap 140 pct. større i 2050 end i 2010, er stigningen i togradersforløbet "kun" godt 130 pct. Fra omkring 2100 og videre frem vil BNP pr. capita fraregnet klimaskader imidlertid være permanent højere i togradersforløbet.

Forsinkes iværksættelsen i 20 år, kræves meget voldsom afgift fra 2035

Forestiller man sig, at togradersmålsætningen skal overholdes, men verdenssamfundet venter yderligere 20 år med at implementere den nødvendige politik, vil det ifølge DICE stadig være muligt at nå togradersmålet, men det kræver så en meget kraftig reduktion i udledningerne fra og med 2035. CO₂-afgiften vil i dette tilfælde skulle stige til ca. 250 dollar straks i 2035 og hurtigt derefter til 300 dollar, hvorefter den kan aftage i resten af århundredet, jf. figur III.7.

Figur III.7 CO₂-afgiftsniveau

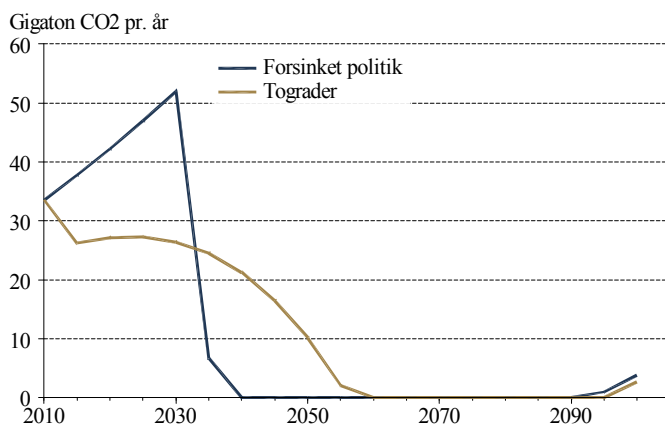
Anm.: I forløbet med forsinket politik antages det, at verden først påbegynder de reduktioner, der skal begrænse temperaturstigningen til to grader over før-industrielt niveau, i 2035 i stedet for 2015.

Kilde: Beregninger på DICE.

Forsinkelse kræver total udfasning fra 2040

I forløbet, hvor den klimapolitiske indsats udskydes, stiger de årlige emissioner indtil 2035 til over 50 gigaton CO₂. Derefter er der imidlertid behov for en næsten øjeblikkelig udfasning af fossile brændsler for at kunne undgå kraftige temperaturstigninger, jf. figur III.8. Verden må dermed i en længere periode fra 2040 indtil slutningen af århundredskiftet undgå industrielle netto-udledninger af CO₂ overhovedet. Et sådant forløb, hvor CO₂-udledningerne reduceres så markant på en meget kort tid, er i praksis næsten umuligt at forestille sig.

Figur III.8 Industrielle emissioner



Anm.: I forløbet med forsinket politik antages det, at verden først påbegynder de reduktioner, der skal begrænse temperaturstigningen til to grader over før-industrielt niveau, i 2035 i stedet for 2015.

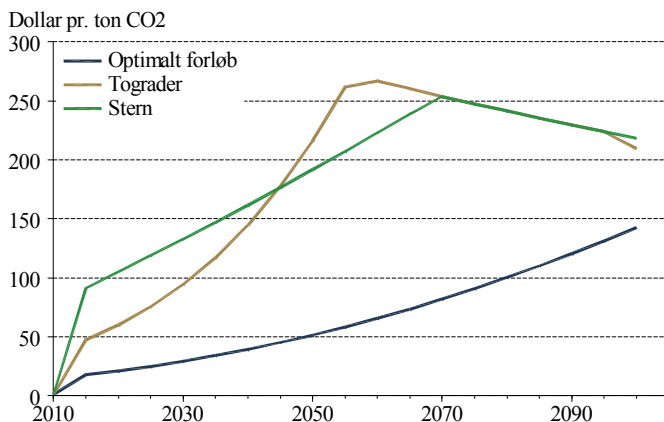
Kilde: Beregninger på DICE.

Togradersmål optimalt med Stern-lignende præferencer

Som det fremgår ovenfor, er togradersforløbet ikke optimalt under hovedforudsætningerne i DICE. Derimod er det optimalt at lade temperaturstigningerne flade ud på et højere niveau. En af årsagerne hertil er den anvendte diskontering af fremtiden, der medfører, at klimaskader, der finder sted i fremtiden, har mindre vægt i den anvendte kriteriefunktion, jf. boks III.6. Konklusionen i den meget omtalte britiske Stern-rapport fra 2007 var, at der var behov for en betydeligt mere ambitiøs klimapolitik end svarende til det optimale forløb i en model som DICE. En hovedforskel på Sterns og Nordhaus' beregninger er netop, at Stern-rapporten anvendte en lavere diskontering end DICE. Anvender man i DICE en tidsprefereencerate på 0,1 pct., som omtrentligt svarer til beregningsforudsætningerne i Stern-rapporten, i stedet for 1½ pct., vil det optimale forløb ligne det viste togradersforløb i langt højere grad. Den øjeblikkelige stigning i CO₂-afgiften er endnu højere på kort sigt, nemlig over 90 dollar pr. ton CO₂, og stiger derefter til et niveau på ca. 250 dollar omkring 2070, jf. figur III.9. I Stern-forløbet kræver den globale middeltemperatur netop op på omkring to grader

over førindustrielt niveau i nogle årtier fra 2075 og frem, men falder siden igen.

Figur III.9 CO_2 -afgiftsniveau



Anm.: I det optimale forløb indrettes den globale klimapolitik optimalt i henhold til antagelserne i DICE. I togradersforløbet er yderligere pålagt den restriktion, at den globale middeltemperatur aldrig må overstige to grader over før-industrielt niveau. I Sternforløbet anvendes en lavere diskontering end de normale DICE-antagelser.

Kilde: Beregninger på DICE.

Boks III.6 Diskontering i klimaspørgsmål

En meget betydningsfuld diskussion i klimaøkonomien er spørgsmålet om, hvordan fremtidige gevinster og omkostninger skal tilbagediskonteres til beløb i dag. Diskussionen føres ofte indenfor rammerne af den såkaldte Ramsey ligning:

$$r = \rho + e \cdot g,$$

Hvor r er diskonteringsraten, som afhænger af den rene tidspræferencerate ρ , vækstraten i forbruget g og den såkaldte grænsenytteelasticitet for forbruget e . Betydningen af disse parametre forklares nærmere i det følgende.

Ramsey ligningen indgår i mange enkle optimale vækstmodeller og således også i DICE, hvor diskonteringsratens størrelse er afgørende for, hvor stærk en klimapolitik det er optimalt for verdenssamfundet at føre. Man kan skelne mellem to hovedtilgange til, hvordan diskonteringsraten skal fastlægges. Nordhaus selv er talsmand for at anvende en deskriptiv empirisk tilgang. Her lægges vægt på, at diskonteringsraten skal svare til den realrente, man kan observere i virkelighedens økonomier. Nordhaus går på denne baggrund ud fra et globalt realt kapitalafkast på godt 5 pct. og fastsætter herudfra værdier for tidspræferenceraten ρ (1½ pct.) og grænsenytteelasticiteten e (1,45), der sammen med den initiale forbrugsvækstrate i DICE netop fører til en diskonteringsrate på godt 5 pct. i de første perioder. På grund af den aftagende vækstrate i forbruget falder også diskonteringsraten over tid i DICE-grundforløbet. I 2100 er den således knap 3½ pct.

En alternativ tilgang, som blandt andet Stern-rapporten har anvendt, er at opfatte Ramsey ligningen som en normativ regel. Ud fra denne tankegang er det irrelevant, hvad markedsrenten er i dag. Specielt parameteren ρ bør derimod fastsættes ud fra etiske og politiske overvejelser om, hvordan forholdet mellem nutidige og fremtidige generationer bør være. Tidspræferenceraten ρ bør således opfattes som et mål for samfundets utålmodighed: Hvor meget mindre vægt bør samfundet lægge på forbrug og velfærd for fremtidige generationer, udelukkende fordi de er født på et senere tidspunkt? Det er naturligt, at mange privatøkonomiske dispositioner indeholder et element af utålmodighed og derfor kræver en præmie for at udskyde forbrug. Når det drejer sig om overordnede samfundsøkonomiske problemstillinger (her i virkeligheden hele verdenssamfundets fremtidige forbrugsmuligheder i bred forstand), er der imidlertid et etisk problem forbundet med at lægge mindre vægt på fremtidige generationers velfærd. Der kan derfor argumenteres for, at man bør anvende en meget lav tidspræferencerate ved den slags beregninger. Dette er også konsistent med princippet om bæredygtighed, der tilsiger,

Boks III.6 Diskontering i klimaspørgsmål, fortsat

at fremtidige generationer ikke bør stilles ringere end nuværende. Der kan dog argumenteres for, at den samfundsmæssige tidspræferencerate trods alt bør være positiv. Der er nemlig en vis, omend meget lille, sandsynlighed for, at selve menneskeheden går til grunde som følge af en voldsom katastrofe (som meteornedslag eller atomkrig). Der er altså en meget lille risiko for, at der ikke vil være nogen mennesker om 100 år, hvilket er en selvstændig begrundelse for at give forbrug på dette tidspunkt lidt lavere vægt.

Som det fremgår af Ramseylikningen, indebærer en tidspræferencerate nær nul imidlertid ikke, at diskonteringsraten så også skal være meget tæt på nul. Det må nemlig forventes, at den økonomiske vækst fortsat vil være positiv og fremtidige generationer dermed rigere, end vi er i dag. Og nytteværdien af ekstra forbrug vil normalt blive mindre, jo rigere man er. Hvor meget grænsenyttens falder af en given forbrugsvækst, afspejles af grænsenytteelasticiteten e . For denne størrelse anvendes ofte værdien 1 eller højere. I det anførte såkaldte Stern-forløb i hovedteksten anvendes en årlig tidspræferencerate på 0,1 pct. og en grænsenytteelasticitet på 1. Det medfører en realrente på godt 3 pct. i starten af forløbet, der omkring 2100 er faldet til ca. 1½ pct. på grund af den faldende vækstrate i forbruget.

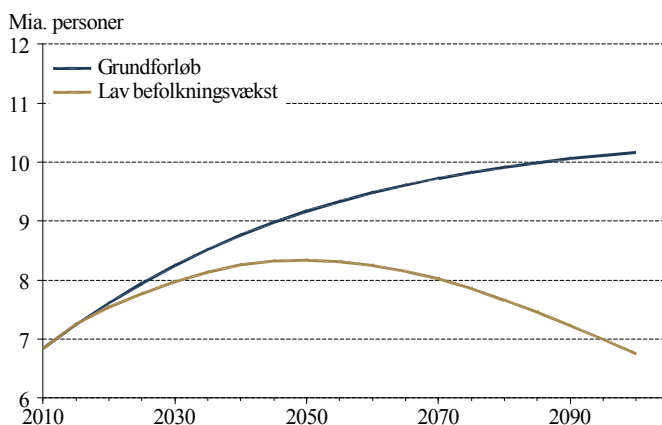
En tredje tilgang, som blandt andet Weitzman (2007) og Barro (2014) repræsenterer, stiller spørgsmålstegn ved, om Ramseylikningen som opstillet her overhovedet er den mest relevante ramme for en diskussion af den rette klimaindsats. De påpeger, at risikoen for katastrofiske udfald (altså udfald, der har en ringe sandsynlighed, men meget store skadesvirkninger, hvis de alligevel indtræffer) bør have en fremtrædende rolle i diskussionen af, hvor mange ressourcer verdenssamfundet bør ofre på en ambitiøs klimapolitik. Dette afspejles hverken af den deskriptive eller den normative tilgang til Ramseylikningen, men kan inkorporeres ved at anvende andre formuleringer af kriteriefunktionen, der mere direkte tager højde for, at der er en gevinst forbundet med at undgå usikkerhed, jf. boks III.7. Barro (2014) demonstrerer, at med en sådan tilgang kan også en høj effektiv diskonteringsrate på niveau med Nordhaus' være forenelig med, at det er optimalt at føre en ret skrap klimapolitik, eksempelvis på linje med togradersmålsætningen eller skrapere.

Lavere befolkningsvækst

Scenarie med lavere befolkningsvækst

Et spørgsmål, der somme tider diskuteres, er de klimatiske konsekvenser af befolkningsvækst. Her undersøges konsekvenserne i DICE af at forudsætte, at befolkningsudviklingen i det 21. århundrede ikke følger hovedscenariet i FN's befolkningsfremskrivning, men i stedet FN's scenarie for lav befolkningsvækst. Ifølge dette vokser befolkningen fra $7\frac{1}{4}$ mia. mennesker i dag til et toppunkt på knap $8\frac{1}{2}$ mia. omkring 2050 for derefter at falde til $6\frac{3}{4}$ mia. i 2100. Befolkningen er dermed ved århundredets slutning $3\frac{1}{2}$ mia. mindre end i grundforløbet, jf. figur III.10.

Figur III.10 Befolkningsvækst



Anm.: Grundforløbet bygger på de centrale forudsætninger i FN's befolkningsfremskrivning, mens scenariet med lav befolkningsvækst bygger på FN's befolkningsfremskrivning med samme betegnelse.

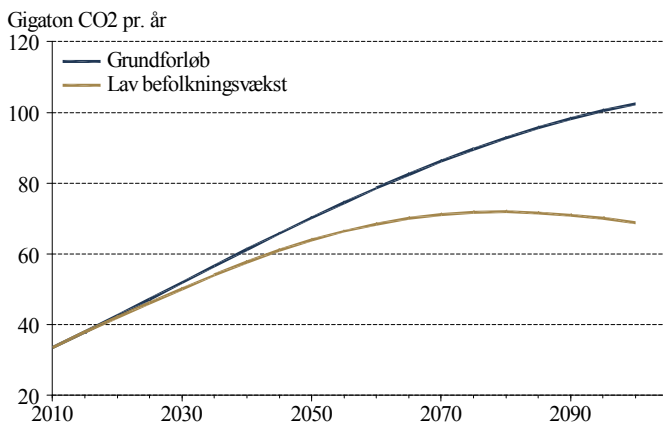
Kilde: Beregninger på DICE.

Lavere befolkningsvækst medfører færre udledninger, hvis politikken ikke indrettes optimalt

Den lavere befolkning fører naturligt til en lavere global produktion, hvilket alt andet lige indebærer lavere udledninger og dermed en mindre temperaturstigning. Det er imidlertid afgørende for de klimatiske konsekvenser af den ændrede befolkningsantagelse, om man forudsætter, at den globale klimapolitik fortsætter uændret i forhold til 2010, eller om det forudsættes, at verdenssamfundet begrænser

udledningerne i optimalt omfang ud fra modellens forudsætninger. I det førstnævnte tilfælde fører den lavere befolkningsvækst til en reduktion i de industrielle udledninger. I 2100 udgør forskellen en tredjedel i forhold til grundforløbet, jf. figur III.11. Det er proportionalt med forskellen i befolkningsstørrelse. Stigningen i den globale middeltemperatur er dermed også lavere: Den stiger “kun” til godt $3\frac{1}{2}$ grad over førindustrielt niveau i 2100 og knap $5\frac{1}{2}$ grad over i 2200. Dette er henholdsvis 0,2 grad og knap 1 grad lavere end i grundforløbet.

Figur III.11 Industrielle emissioner



Anm.: Her sammenlignes to forløb, hvor der ikke føres aktiv klimapolitik udover ambitionsniveauet fra 2010 (“laden-stå-til-forløb”), med hhv. høj og lav befolkningsvækst.

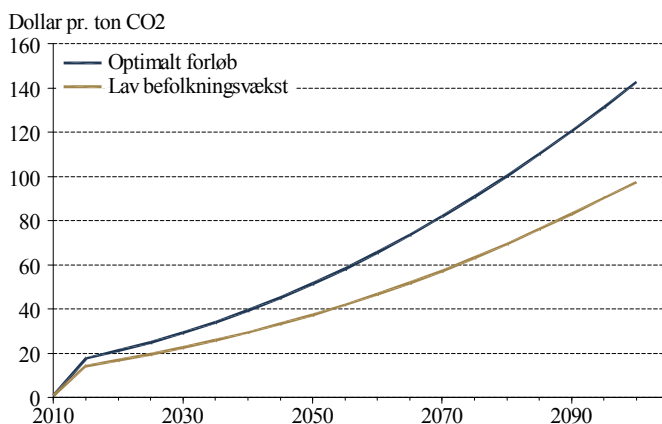
Kilde: Beregninger på DICE.

Lav befolkningsvækst medfører lavere optimal afgift ...

Går man alternativt ud fra, at man på verdensplan indretter klimapolitikken optimalt i forhold til de øvrige forudsætninger i DICE, medfører den mere beskedne befolkningsudvikling, at klimapolitikens ambitionsniveau nedsættes i forhold til det tidligere omtalte optimale forløb. Den optimale CO₂-skat bliver i hele forløbet med den lavere befolkningsvækst tilsvarende lavere, jf. figur III.12. I 2015 er den optimale afgift ca. 20 pct. lavere end i grundforløbet, og forskellen vokser til godt 30 pct. i 2100 – omtrent samme procentvis forskel som befolkningsstørrelsen. Den optima-

le indsats ligger dog også i dette forløb langt over den aktuelle globale indsats.

Figur III.12 CO₂-afgiftsniveau



Anm.: Her sammenlignes to forløb, hvor der føres optimal global klimapolitik i henhold til antagelserne i DICE, med hhv. høj og lav befolkningsvækst.

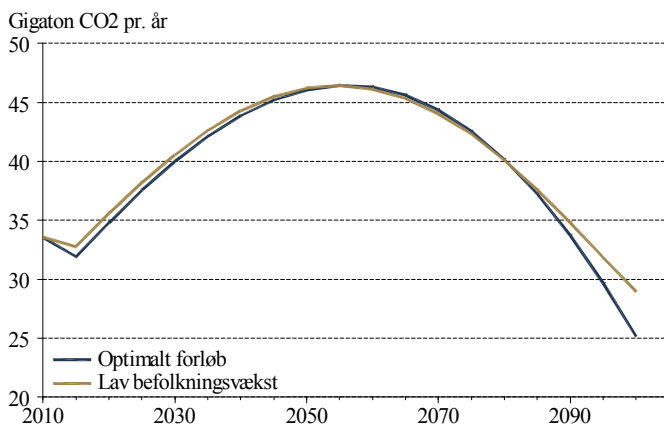
Kilde: Beregninger på DICE.

... og dermed flere udledninger under optimal politik

Dermed er der ikke de store forskelle i det samlede emissionsniveau, der er stort set sammenfaldende i de to optimale forløb i det meste af det 21. århundrede, jf. figur III.13. Henimod slutningen af århundredet ses imidlertid det umiddelbart paradoksale, at de samlede udledninger bliver større i scenariet med den laveste befolkning. Denne forskel fortsætter efter århundredskiftet og skyldes, at de fremtidige generationer med den anvendte samfundsvelfærdsfunktion vil få mindre vægt, når beslutningen om klimapolitikens ambitionsniveau skal træffes – simpelthen fordi disse generationer nu er noget mindre end i grundforløbet. Det betyder, at ambitionsniveauet i klimapolitikken reduceres. Det lavere ambitionsniveau og de tilsvarende større udledninger bevirker, at temperaturstigningerne er større i forløbet med den mindste befolkning. I 2200 er den modelberegnedte forskel på $\frac{1}{2}$ grad. I henhold til DICE vil en mindre befolkning altså ikke medføre færre samlede udledninger, hvis verdenssamfundet inddrager konsekvenserne af befolk-

ningsændringerne, når klimapolitikken tilrettelægges. Dette skyldes, at det hensyn, man tager til generationer, der lever på forskellige tidspunkter, i DICE afhænger af generationernes størrelse.

Figur III.13 Industrielle emissioner



Anm.: Her sammenlignes to forløb, hvor der føres optimal global klimapolitik i henhold til antagelserne i DICE, med hhv. høj og lav befolkningsvækst.

Kilde: Beregninger på DICE.

Højere vurdering af klimaskader

En række potentielle skader beregnes ikke

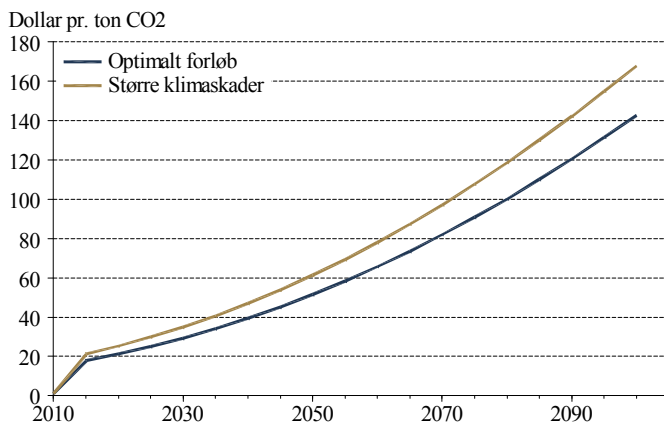
Skadesfunktionen i DICE er som udgangspunkt dannet til at afspejle estimer fra en oversigt over den estimerede monetære værdi af klimaskaderne ved forskellige temperaturstigninger, jf. Tol (2009) og Nordhaus (2013). Disse estimer omfatter omkostninger som produktionstab mv. En række vigtige potentielle skadesvirkninger indgår imidlertid ikke, herunder tab som følge af mindre biodiversitet, forsurening af havene, politiske reaktioner samt ekstreme hændelser som ændrede havstrømme og risikoen for andre katastrofiske hændelser. Estimerne tager heller ikke højde for meget langsigtede virkninger, som rækker udover en tidshorisont på nogle hundrede år.

DICE håndterer ikke muligheden for katastrofe-scenarier

For at tage højde for disse mangler er der i DICE tillagt en merskade på 25 pct. af de medtagne omkostninger. En lignende størrelsesorden anvendes i andre studier, men afspejler i sidste ende et rent subjektivt jugement. Samtidig er skadesfunktionen i DICE formuleret således, at den ikke inkluderer muligheden for særlige tærskelværdier, hvor skaderne stiger voldsomt, og de samlede klimaskader i et år kan i DICE aldrig overstige 100 pct. af BNP. Dermed er såkaldte katastrofescenarier udelukket alene på grund af modellens konstruktion, jf. Nordhaus (2013). Nordhaus gør desuden opmærksom på, at skadesfunktionen er konstrueret til især at kunne vurdere skaderne for temperaturstigninger på mellem 0 og 3 grader. Estimer af skader for temperaturstigninger på mere end tre grader er stort set ikke eksisterende, hvilket gør modellen mindre pålidelig i scenarier, hvor temperaturen stiger meget.

Scenarie med højere vurdering af klimaskader

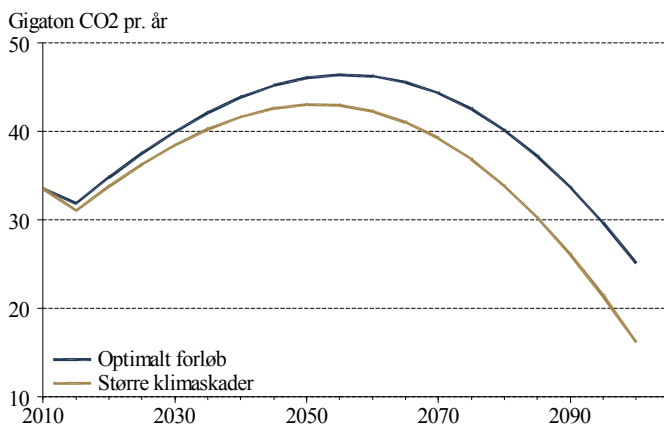
Som en illustration af følsomheden kan det alternativt antages, at et centralt skøn for de ikke-medtagne risici udgør 50 pct. i stedet for 25 pct. af de medtagne omkostninger. Dette svarer til at forhøje værdien af klimaskaderne ved ethvert temperaturniveau med 20 pct. i forhold til DICE's normale skadesfunktion. I dette tilfælde bliver den optimale CO₂-skat i 2015 godt 21 dollar i stedet for knap 18, hvilket er en stigning på knap 20 pct., jf. figur III.14. I resten af århundredet vil den optimale skat fortsat ligge ca. 20 pct. højere i tilfældet med de større skadesomkostninger. Det medfører lavere emissioner. I 2050 er de således 7 pct. lavere i scenariet med de største skadesomkostninger, og forskellen stiger over århundredet, jf. figur III.15.

Figur III.14 CO₂-skat

Anm.: Her sammenlignes to forløb, hvor der føres optimal global klimapolitik i henhold til antagelserne i DICE. I det ene forløb er omkostningerne ved klimaskaderne ved ethvert temperatur-niveau 20 pct. højere end i DICE's normale skadesfunktion.

Kilde: Beregninger på DICE.

Figur III.15 Industrielle emissioner



Anm.: Her sammenlignes to forløb, hvor der føres optimal global klimapolitik i henhold til antagelserne i DICE. I det ene forløb er omkostningerne ved klimaskaderne ved ethvert temperatur-niveau 20 pct. højere end i DICE's normale skadesfunktion.

Kilde: Beregninger på DICE.

Epstein-Zin-præferencer – en alternativ tilgang

Vigtigt at håndtere usikkerhed mere direkte

I de senere år er der blevet sat spørgsmålstegn ved, om den enkle Ramseylikning, der er præsenteret i boks III.6, er det bedste udgangspunkt for en diskussion af klimapolitikens ambitionsniveau. Det skyldes, at den måde, hvorpå typiske økonomiske modeller som eksempelvis DICE repræsenterer befolkningens præferencer, ikke håndterer folks risikovilje særlig hensigtsmæssigt, jf. blandt andet Weitzman (2007, 2009). I stedet har en række forskere peget på, at klimaproblestillingen mere hensigtsmæssigt bør analyseres ved anvendelsen af en samfundsvelfærdsfunktion, der eksplicit tager højde for, at graden af usikkerhed om et problems størrelse kan have stor betydning for, hvor meget man rationelt vil ønske at bruge på forebyggelse. En særlig form for præferencer, der gør dette muligt, er de såkaldte Epstein-Zin-præferencer, jf. boks III.7.

Stokastisk version af DICE ...

Cai mfl. (2013) har konstrueret en stokastisk udgave af DICE-modellen, hvor de anvender sådanne Epstein-Zin-præferencer. I modellen DSICE indarbejdes eksplicit en række usikkerheder, blandt andet i form af eksistensen af forskellige tærskelværdier, der med en vis sandsynlighed vil medføre skader af ukendt størrelsesorden, hvis de overskrides. Skaderne antages at være irreversible, hvis de først indtræffer.

... medfører langt højere optimale CO₂-afgifter

Cai mfl. (2013) finder frem til, at indførelse af eksplicit usikkerhed med hensyn til skadernes størrelse medfører en betydelig stigning i den optimale CO₂-skat. Tilsvarende vil indførelsen af de omtalte tærskelværdier resultere i et højere niveau for den optimale CO₂-afgift, selv for tærskelbegivenheder med lav sandsynlighed og relativt beskedne konsekvenser. Eksempelvis vil et scenarie, hvor der med 0,1 pct.s sandsynlighed under uændret adfærd indtræffer en hændelse i 2100, der reducerer BNP med 20 pct., medføre en optimal CO₂-afgift i dag på 521 dollar pr. ton, hvis nutidens beslutningstagere er tilstrækkelig risikoaverse. Forfatterne opfatter det som en central konklusion fra deres beregninger, at fraværet af usikkerhed i DICE og tilsvarende modeller kan føre til en betydelig undervurdering af gevinsterne ved en klimapolitik, der begrænser udledningerne.

Boks III.7 Epstein-Zin-præferencer

I mange anvendte økonomiske modeller anvendes en simpel matematisk gengivelse af befolkningens præferencer (en nyttefunktion), der ikke skelner klart mellem de intertemporale substitutionsmuligheder og graden af risikoaversion. Begge disse afhænger af den samme parameter (ofte benævnt grænsenytteelasticiteten, jf. boks III.6). Imidlertid viser undersøgelser, at de to begreber langtfra er størrelsesmæssigt sammenfaldende. Forskerne Epstein og Zin præsenterede i 1989 en anden form for nyttefunktion, der skelner klart mellem de to forhold, jf. Epstein og Zin (1989). Denne type nyttefunktioner, som især anvendes, hvor risikomønter er af afgørende betydning, er siden blevet opkaldt efter dem.

I Barro (2014) anvendes eksempelvis følgende udgave af Epstein-Zin-præferencerne:

$$U_t = \frac{\left(C_t^{1-e} + \left(\frac{1}{1+\rho} \right) [(1-\gamma)E_t U_{t+1}]^{\frac{1-e}{1-\gamma}} \right)^{\frac{1-\gamma}{1-e}}}{1-\gamma}.$$

Her repræsenterer U_t den samlede nytte eller velfærd i periode t , mens $E_t U_{t+1}$ betegner den forventede nytte i den næste tidsperiode. Parametrene ρ og e betegner ligesom i boks III.6 henholdsvis tidspræferenceraten (et udtryk for utålmodighed) og grænsenytteelasticiteten (hvor $1/e$ udtrykker den intertemporale substitutionselasticitet). Det afgørende nye i ovenstående formulering er parameteren γ . Den betegnes den relative risikoaversionskoefficient. En høj værdi af γ angiver stor modvilje mod at tage risici, men udtrykker ikke noget om afvejningen mellem forskellige tidsperioder.

I mange almindelige anvendte økonomiske modeller, bl.a. DICE, anvendes en simplere formulering (en såkaldt isoelastisk nyttefunktion), som svarer til specialtilfældet, hvor $\gamma = e$. Til sammenligning har e værdien 0,5, mens γ har værdien 3,3 i Barros kalibrering, som bygger på makroøkonomiske empiriske undersøgelser. Barro (2014) demonstrerer, at denne ændring kan have meget stor betydning for det optimale klimaambitionsniveau.

Andre analyser får samme resultat

Flere andre bidrag har taget udgangspunkt i DICE-modellen, men ændret specifikationen af befolkningens præferencer til en Epstein-Zin-formulering. Crost og Traeger (2012) finder, at med det, de opfatter som en realistisk kalibrering, bliver den optimale klimainsats dobbelt så stor som i standardudgaven af DICE. Ligeledes præsenterer Ackerman mfl. (2013) modellen EZ-DICE, der implemente-

rer Epstein-Zin-præferencer i en i øvrigt standard-udgave af DICE med værdier af Epstein-Zin-parametrene fra finansieringslitteraturen og værdier for klimausikkerheden fra naturvidenskabelige undersøgelser. Også de finder, at den resulterende marginale skadesomkostning for CO₂ – og dermed det optimale niveau for klimapolitikens ambitionsniveau – er langt højere, når den mere generelle Epstein-Zin-formulering anvendes.

Opsamling

Økonomisk vækst forenelig med effektiv klimapolitik

Sammenfattende er det et hovedresultat under antagelserne i klimamodellen DICE, at det er muligt at forene fortsat økonomisk vækst med en fornuftig klimapolitik, der overholder togradersmålsætningen. Det samme resultat understøttes af mange andre beregninger, jf. IPCC (2014). En afgørende forudsætning herfor i DICE og andre modeller er antagelsen om, at der er tilstrækkelig gode substitutionsmuligheder mellem fossile brændstoffer og andre produktionsfaktorer, specielt menneskeskabt kapital. Den fortsatte økonomiske vækst i det kommende århundrede vil især hvile på, at der fortsat vil finde væsentlige teknologiske fremskridt sted.

Behov for mere ambitiøs global klimapolitik

Med de grundlæggende forudsætninger i DICE er den klimapolitik, verden fører i dag, for uambitiøs. Der er behov for en betydelig stærkere global indsats for at forhindre for store stigninger i den globale middeltemperatur. Det er tilfældet, selvom forudsætningerne i DICE på flere måder kan siges at give et konservativt estimat af de potentielle klimaproblemers størrelse. En årsag hertil er, at modellen ikke tager eksplicit højde for risikoen for såkaldte katastrofiske scenarier, som er en meget vigtig problemstilling i klimaspørgsmålet. Nyere forskning, som søger at tage mere direkte højde for sådanne risici, når typisk frem til, at der er behov for betydelig kraftigere klimapolitiske tiltag, end traditionelle modelberegninger har peget på.

III.4 Naturressourcer og økonomisk vækst

Vækst i den økonomiske velstand bliver ofte kædet sammen med forbrug af naturens ressourcer som eksempelvis fossile

brændsler, metaller og mineraler. Hvis det ikke er muligt gennem ændret adfærd eller teknologisk udvikling at begrænse og i sidste ende erstatte brugen af ikke-fornybare naturressourcer, vil det før eller siden betyde, at de økonomiske aktiviteter vil ophøre.³ Formålet med dette afsnit er at forsøge at give en indikation af graden af knaphed for de pågældende ressourcer. Sammenhængen mellem knaphed, økonomisk vækst og priser på ikke-fornybare naturressourcer diskuteres, og det belyses, om der har været en afkobling af forbruget af naturressourcer fra økonomisk aktivitet i det seneste århundrede.

Reserver af ikke-fornybare naturressourcer

Ressourcebase og reserver

Den mest direkte måde at vurdere graden af knaphed af en naturressource på er at betragte den tilbageværende kendte mængde af ressourcen. Mængden af naturressourcer opgøres ofte som ressourcebasen henholdsvis reserven. Ressourcebasen omfatter hele den kendte mængde af naturressourcen. Reserverne er den andel af ressourcebasen, som er økonomisk rentabel at udvinde med den nuværende teknologi og prisniveau, jf. Cuddington og Moss (2001). Ressourcebasen er derfor typisk større end reserven. Stigende priser på den pågældende naturressource og fremskridt i udvindingsteknologien vil øge reserven. Nye fund vil øge ressourcebasen, og hvis disse med de nuværende priser og teknologi er profitable at udvinde, vil nye fund også øge reserven.

Hvor langt rækker reserverne?

Et ofte anvendt mål for graden af knaphed kan fås ved at sætte det nuværende årlige forbrug i forhold til reserverne. Herved fås et udtryk for, hvor mange år der går, inden reserven af ressourcen er opbrugt med det nuværende forbrug.

- 3) Brugen af og hensynet til fornybare naturressourcer som eksempelvis fisk, træ og grundvand kan også lægge en dæmper på den økonomiske aktivitet. Problemstillingen med hensyn til disse er dog potentielt mindre alvorlig, da man permanent vil kunne opretholde et konstant løbende forbrug, hvis disse naturressourcer forvaltes hensigtsmæssigt. I modsætningen hertil vil man nødvendigvis på et tidspunkt skulle bruge mindre af enhver ikke-fornybar ressource.

**Fossile brændsler
til mange års
forbrug**

Et konkret eksempel er olie. Oliereserven var i 2013 omkring 1690 mia. tønder, mens det årlige forbrug var ca. 32 mia. tønder, jf. BP (2014). Med den nuværende teknologi og forbrug vil der dermed gå omkring 53 år, før olie-reserven er udtømt. Olie er blot én type af fossile brændstoffer. Tilsvarende kan det beregnes, at der vil gå omkring 55 år, før reserven af naturgas er udtømt, og over 100 år for kul, jf. BP (2014).

**Hensyn til klima
vil begrænse
forbruget af
fossile brændsler**

Der er flere årsager til, at sådanne beregninger har en tendens til at over- eller undervurderer problemet med ressourceknaphed, jf. nedenfor. For fossile brændstoffer kan endvidere argumenteres for, at det ikke er den fysiske knaphed, der er den største begrænsning. Afbrændingen af fossile brændsler medvirker nemlig til klimaforandringer, og hensynet til klimaet vil forventeligt også i fremtiden begrænse ønskeligheden af at forbruge disse ressourcer, jf. også afsnit III.3. Et studie af McGlade og Ekins (2015) finder, at den potentielle CO₂-udledning ved afbrænding af den globale reserve af fossile brændstoffer er omkring tre gange højere, end hvad der kan udledes, hvis man ønsker at nå målsætningen om at begrænse temperaturstigninger til maksimalt to grader i forhold til det førindustrielle niveau. I studiet vurderes ud fra en IAM-model (TIAM-UCL) således, at det fra et samfundsøkonomisk synspunkt vil være mest hensigtsmæssigt, at omkring en tredjedel af olie-, halvdelen af naturgas- og firefemtedele af kulreserverne forbliver uudnyttet i perioden 2010-50, hvis togradersmålsætningen skal nås. Hensynet til klimaet vil derfor være en mere begrænsende faktor for forbrug af fossile brændsler end fysisk knaphed af ressourcer.

**Nogle ressourcer
er en
nødvendighed
for overlevelse**

I tilfældet med fossile brændsler findes dog med den allerede kendte teknologi flere alternativer til fremstilling af energi eksempelvis med vedvarende energikilder som vind og sol. For andre naturressourcer kan problemstillinger om ressourceknaphed være potentielt mere alvorlige, da reduceret forbrug af disse er mere fundamentale for samfundets velfærd. Fosfor er et eksempel på en naturressource, der for år siden blev anset som værende et af de største ressourceproblemer, jf. De Økonomiske Råd (2014).

Fosfatsten til 369 år med nuværende forbrug

Fosfor er et livsnødvendigt næringsstof for levende organismer. Global mangel på fosfor vil risikere at føre til et markant fald i verdens fødevarerproduktion. Fosfor tilsættes afgrøder blandt andet i form af kunstgødning, hvilket produceres af især fosfatsten. Substitutionsmulighederne for fosfor er ringe, hvorfor mangel på denne ressource vil påvirke overlevelsesmulighederne for verdens befolkning. I 2010 blev der forbrugt ca. 176 mio. ton fosfatsten, mens reserven var på ca. 65000 mio. ton, jf. Rosemarin mfl. (2010). Ved det nuværende forbrug vil verdens fosfatstensreserver være udtømt om ca. 369 år.

Vurdering af grad af knaphed er forsimplet

De nævnte beregninger lider imidlertid af en række problemer, der gør, at de bør fortolkes med stor varsomhed. Problemerne knytter sig til såvel opgørelsen af reserverne som til anvendelsen af det aktuelle forbrug som indikator for det fremtidige forbrug. Ændringer i efterspørgsel, ny teknologi, ændrede priser og nye fund vil således ændre forudsætningerne for beregningen og dermed vurderingen af, hvor lang tid det kan forventes, at naturressourcen vil række.

Højere efterspørgsel kan øge knaphedsproblem ...

Højere efterspørgsel og befolkningsvækst vil for uændret ressourceintensitet øge den fremtidige efterspørgsel efter naturressourcer og trækker i retning af en hurtigere udtømming af ressourcerne. I eksemplet med fosfatsten vil en stigning i efterspørgslen på henholdsvis 1 og 2,5 pct. i 50 år medføre, at fosfatstensreserven vil være udtømt om henholdsvis 235 og 128 år i stedet for 369 år med konstant efterspørgsel, jf. Rosemarin mfl. (2010).⁴

... mens andre forhold trækker modsat

Der er imidlertid også forhold, der trækker i retning af, at den fremtidige efterspørgsel efter naturressourcer kan falde, og at den givne reserve derved kan række længere. Som diskuteret nedenfor vil der være en tendens til, at prisen på naturressourcer stiger i takt med, at de bliver mere knappe. Dette vil øge tilskyndelsen til at spare på anvendelsen af den pågældende ressource både i produktion og forbrug. Stigende priser vil også øge tilskyndelsen til at udvikle nye res-

4) I eksemplet antages efterspørgslen at være konstant på det nye, højere niveau efter 50 år. Den gennemsnitlige vækst i efterspørgslen af fosfatsten var 2,8 pct. p.a. i perioden 1994-2012, jf. U.S. Geological Survey (diverse årgange).

sourcebesparende teknologier og give et øget incitamentet til genanvendelse, jf. også afsnit III.2. En større grad af genanvendelse indebærer, at efterspørgslen efter den basale naturressource reduceres, og den givne ressource kan dermed række længere.

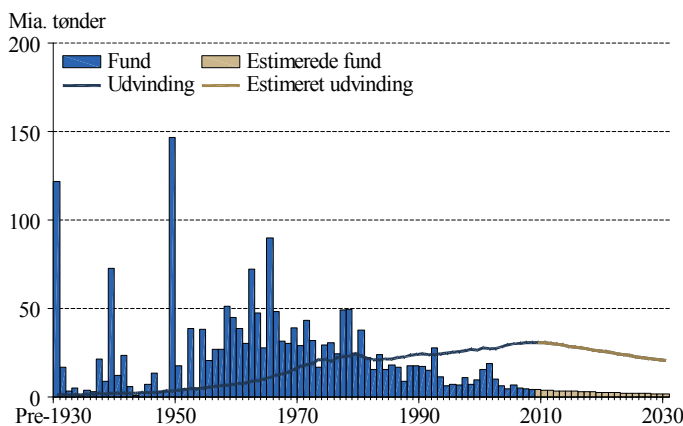
Nye fund og ny teknologi kan også strække ressourcen

En anden årsag til, at beregningen af, hvor langt den nuværende reserve vil række, kan være misvisende, er, at der typisk bliver gjort nye fund, som øger ressourcebasen. Samtidig kan stigende priser og ny udvindingsteknologi gøre, at en større del af ressourcebasen kan udnyttes og dermed forøge reserven.

Fund af olie har oversteget udvinding i en længere periode

For mange ikke-fornybare naturressourcer har nye fund i en længere periode oversteget udvindingen, og den samlede ressourcebase er dermed steget, jf. Krautkraemer (1998). Det har blandt andet været tilfældet for olie, hvor opdagelsen af nye fund oversteg udvindingen frem til omkring 1980, jf. figur III.16.

Figur III.16 Fund og udvinding af råolie



Anm.: I figuren vises fund til ressourcebasen.

Kilde: The Association for the Study of Peak Oil and Gas (2009).

Oliereserven er steget over de seneste årtier

I de seneste 20-30 år har udvindingen af råolie, som det fremgår af figur III.16, været større end de nye fund. Alligevel er de skønnede globale oliereserver steget fra ca. 680

mia. tønder i 1980 til knap 1690 mia. tønder i 2013, jf. BP (2014).⁵ Dette kan lade sig gøre, fordi stigende priser og forbedret udvindingsteknologi har gjort det muligt og økonomisk rentabelt at udvinde en større del af ressourcebasen. Denne udvikling har betydet, at det antal år, reserven kan række, er steget fra ca. 30 år i 1980 til omkring 53 år i 2013, jf. BP (2014).

**Mængden af
ressourcer kan
stige markant**

Som nævnt øger nye fund ressourcebasen, og der sker løbende revurderinger af reserveerne som følge af ændrede priser og ny teknologi. Nogle gange er disse revurderinger meget store og kan påvirke vurderingen af graden af knaphed ganske voldsomt. Eksempelvis blev den opgjorte reserve af fosfatsten fra 2009 til 2010 næsten firedoblet fra ca. 16 mia. ton i 2009 til ca. 65 mia. ton året efter. Stigningen skyldtes en opjustering af estimerer på størrelsen af reserveerne i Marokko på baggrund af information fra marokkaniske producenter og International Fertilizer Development Center, jf. U.S. Geological Survey (2011). Stigningen i reserven mellem de to år betød, at forventningerne til, hvor mange år reserven af fosfatsten kan række, steg fra 91 til 369 år givet et årligt forbrug på 176 mio. ton.

Udvikling i priser på ikke-fornybare naturressourcer

**Prisen vil som
udgangspunkt
afspejle knaphed
på ressourcen**

Prisen på naturressourcer vil alt andet lige stige, når ressourcen bliver mere knap. Dette skyldes flere forhold, herunder at det typisk er de forekomster af ressourcen, der er billigst at udvinde, der vil blive udvundet først. Dette medfører, at det vil blive stadigt dyrere at udvinde naturressourcen i takt med, at de billigste forekomster udtømmes.

Hotelling-reglen

Stigende priser på naturressourcer er også det centrale resultat i den klassiske økonomiske Hotelling-model. Modellen bliver ofte brugt som udgangspunkt til at forklare udviklingen i udvinding af og priser på ikke-fornybare naturressourcer. Givet en række forsimplende antagelser leder denne model frem til, at prisen på ikke-fornybare naturres-

5) I dette tal indgår flere stigninger i den danske oliereserve i Nordsøen, som er blevet opjusteret ad flere omgange, jf. Energistyrelsen (2012).

sourcer (eller mere præcist prisen fratrukket de marginale omkostninger af udvinding – den såkaldte marginale ressourcerente) over tid vil stige svarende til renten, jf. boks III.8. Derved vil prisen på ikke-fornybare naturressourcer have en tendens til at stige hurtigere end det generelle prisniveau.

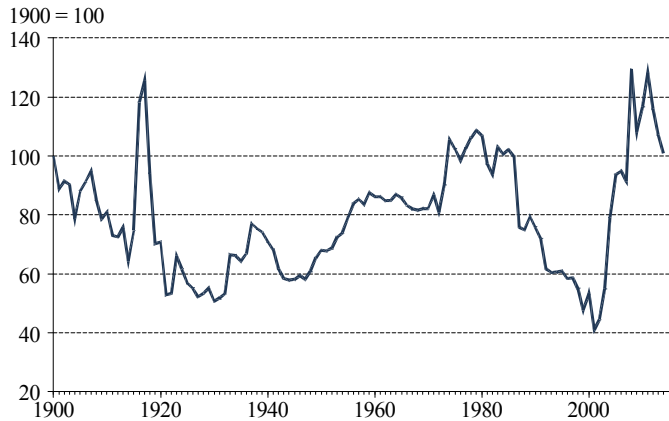
Modifikationer af model kan forklare faldende priser

Det er velkendt, at Hotelling-modellen i sin simple form ikke passer på den udvikling, der har været i råvarepriserne i de seneste 100 år. Uventede fund og bedre udvindings-teknologi vil alt andet lige føre til prisfald. En stigning i efterspørgslen, f.eks. som følge af stigende økonomisk velstand eller befolkningsvækst, vil resultere i højere priser, mens et fald i efterspørgslen, f.eks. på grund af øget genanvendelse, vil resultere i lavere priser. Hvis den teknologiske udvikling i en periode sker tilstrækkeligt hurtigt, og der løbende gøres nye (uventede) fund, vil det kunne modvirke den underliggende tendens til stigende udtømmning og dermed stigende priser, som ellers ligger bag Hotelling-reglen. Der findes en omfattende økonomisk litteratur, der modificerer Hotelling-modellen, så den også kan forklare konstante eller sågar faldende priser, jf. blandt andet Pindyck (1978), Devarajan og Fisher (1981), Krautkraemer (1998) og Managi mfl. (2004).

Prisen på metal og mineraler i det 20. århundrede

Set over hele perioden siden 1900 har der ikke været nogen entydig trend i de reale priser på metaller og mineraler, jf. figur III.17. Frem til omkring midten af forrige århundrede var der nærmest tale om en aftagende trend, og efter en periode med stigende priser, især under oliekriserne i 1970'erne, faldt prisen på metaller og mineraler igen fra omkring 1980 og frem til årtusindeskiftet. Dette kan skyldes teknologiudvikling, nye fund og substitution af naturressourcer med andre input i produktionen, jf. Krautkraemer (2005).

Figur III.17 Realprisudvikling for metaller og mineraler



Anm.: Indekset er et vægtet gennemsnit af prisen for 17 metaller, ædelmetaller og mineraler. Sammenvejningen er baseret på produktionsværdier i 2011. Ændring i indeks for 2014 er beregnet ud fra prisstigninger opgjort af World Bank og Macrobond.

Kilde: Jacks (2013), World Bank (2015), Macrobond og egne beregninger.

Stigende priser efter 2000 ...

... men stadig på niveau med 1900

Ingen langsigtet trend i energipriserne

Fra 2001 til 2011 er prisen på metaller og mineraler tredoblet. Stigningen kan formentlig delvist tilskrives en markant stigning i efterspørgslen efter metaller og mineraler fra de nye vækstmarkeder. Samtidig har antallet af store nye fund været faldende i de seneste årtier, og udvindingsomkostningerne har været stigende blandt andet på grund af stigende energipriser og geologiske udfordringer, jf. McKinsey (2013). Den kraftige stigning i prisen på metaller og mineraler skal dog også ses i lyset af et historisk lavt prisniveau i slutningen af 1990'erne. Realprisen på metaller og mineraler faldt igen efter 2011 og var i 2014 på samme niveau, som den var i begyndelsen af 1900-tallet.

Prisen på energiresourcer har heller ikke udvist nogen klar stigende trend. Fra slutningen af 1800-tallet og frem til begyndelsen af 1970'erne var den reale oliepris nogenlunde stabil med enkelte, kortvarige udsving. Et tilsvarende relativt konstant prisniveau er også observeret for kul, mens prisen på naturgas udviste en tendens til fald i perioden 1900-70, jf. figur III.18.

Boks III.8 Hotelling-modellen

I Hotelling-modellen antages ejeren af en ikke-fornybar naturressource at fastlægge en udvindingsprofil ved at sammenholde renten med ændringen i den marginale ressourcerente. Den marginale ressourcerente er prisen på naturressourcen fratrukket de marginale udvindingsomkostninger.

Intuitionen bag Hotelling-reglen er, at ejerne af naturressourcen søger at skabe sig et maksimalt afkast af ressourcen. Afkastet af den del af ressourcen, som ligger i jorden, er den forventede prisstigningstakt. Ejerne sammenholder derfor renten, som er det fremtidige afkast af at udvinde (noget af) ressourcen i dag, med afkastet ved at udskyde udvindingen, nemlig den forventede fremtidige prisstigning. Hvis den forventede fremtidige stigning i den marginale ressourcerente er mindre end renten, vil ejeren øge sin udvinding nu og placere sit overskud andetsteds med et større afkast (svarende til renten). Den højere udvinding vil presse prisen på naturressourcen ned, men samtidig øge graden af knaphed, hvilket vil trække i retning af højere priser i fremtiden. Det vil føre til, at stigningstakten i prisen og dermed marginale ressourcerente øges og nærmer sig rentens niveau. Omvendt vil en forventet højere prisstigningstakt trække i retning af, at ejeren vil reducere udvindingen nu. Det lavere udbud vil øge den nuværende pris, men fordi prisen stiger kraftigt nu, vil den fremtidige prisstigning reduceres. I ligevægt vil den forventede fremtidige marginale ressourcerente netop svare til renten.

Under antagelse af perfekt information, given efterspørgsel og givne konstante marginale udvindingsomkostninger medfører Hotelling-reglen derfor, at stigningstakten i den marginale realressourcerente på en ikke-fornybar ressource vil svare til realrenten, jf. Hotelling (1931). I det særlige tilfælde, hvor de marginale udvindingsomkostninger er beskedne, vil realprisstigningstakten på naturressourcen over tid være lig realrenten. Prisudviklingen over tid, t , er skitseret i figur A.

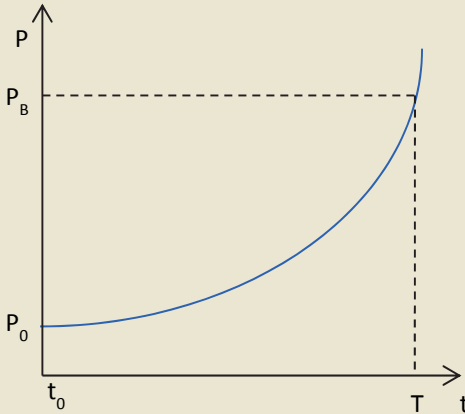
Antages de marginale udvindingsomkostninger at stige i takt med, at den tilbageværende mængde af ressourcer mindskes, vil prisen på ressourcen stige ligesom vist i figur A, men ressourcerenten vil falde på grund af de højere omkostninger ved udvinding, jf. Hanley mfl. (1997).

I modellen antages det, at der findes en alternativ teknologi, der gør det økonomisk attraktivt at substituere væk fra naturressourcen, når prisen på den overstiger prisen på en sådan bagstopperteknologi. Prisen, hvor denne bagstopperteknologi tager over, er i figur A betegnet P_B .

Boks III.8 Hotelling-modellen, fortsat

Et eksempel på en bagstopperteknologi for fossile brændsler er solenergi. På det tidspunkt, T , hvor prisen på ressourcen overstiger prisen på bagstopperteknologien, vil naturressourcen ikke blive efterspurgt, og udvindingen vil derfor stoppe.

Figur A Prisudvikling i Hotelling-modellen

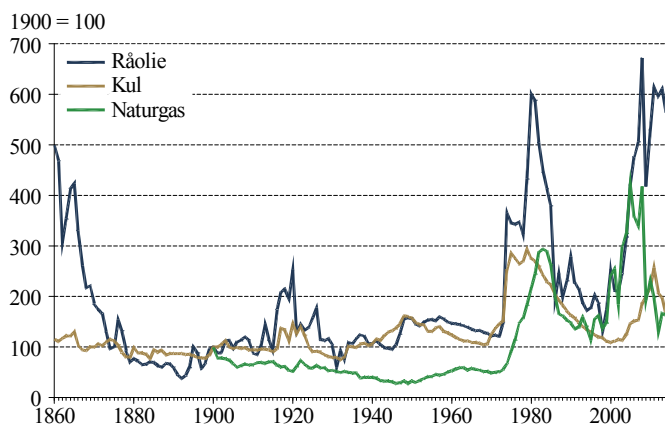


Kilde: Inspireret af Perman mfl. (2011).

Større udsving i energipriser de seneste årtier

Som konsekvens af oliekriserne i 1973 og 1979 steg prisen på råolie voldsomt. Prisen på råolie i 1980 var næsten fem gange højere end bare ti år tidligere. De høje priser øgede eftersøgningen efter nye oliefelter og førte til energibesparelser og substitution i udvinding, produktion og forbrug, jf. Krautkraemer (2005). Ændringerne i udbud og efterspørgsel førte til faldende priser gennem 1980'erne og 1990'erne, og omkring årtusindeskiftet var realprisen på olie igen på næsten samme niveau som før den første oliekrise. Prisen på naturgas og kul steg også i forbindelse med oliekriserne, hvilket hænger sammen med, at disse naturressourcer er substitutter for råolie i eksempelvis el- og varmeproduktion.

Figur III.18 Realprisudvikling for energiresourcer



Anm.: Ændring i indeks for 2014 er beregnet ud fra prisstigninger opgjort af IMF.

Kilde: Jacks (2013), IMF (2015) og egne beregninger.

Lavere realpris i 2014 end lige efter oliekriserne i 1970'erne

I lighed med prisen på metaller og mineraler og en række andre råstoffer er realprisen på råolie steget kraftigt i 2000'erne, hvilket blandt andet kan tilskrives en stigende efterspørgsel fra nye vækstøkonomier. Prisen på råolie er primo 2015 omkring 60 pct. lavere end bare et halvt år tidligere, jf. World Bank (2015).⁶ Det markante prisfald i anden halvdel af 2014 har resulteret i, at gennemsnitsprisen på råolie faldt fra 2013 til 2014. Det gennemsnitlige realprisniveau i 2014 er dog stadig noget over niveauet før 2000, men det er ikke højere end lige efter den anden oliekrise i 1979.

Prisen kan påvirkes af politik

De udeblevne tendenser til stigende priser på ikke-fornybare ressourcer gennem det 20. århundrede er udtryk for, at udbuddet af de ikke-fornybare ressourcer generelt har været rigeligt til at imødekomme efterspørgslen. Det er imidlertid ikke kun størrelsen af reserveerne, der påvirker udbuddet af og dermed prisen på naturressourcer. For nogle natur-

6) Prisfaldet tilskrives ifølge World Bank (2015) en stigning i olie-reserven, særligt som konsekvens af øget produktion af skiferolie i USA, men også produktion baseret på tjæresand og biobrændsel har øget udbuddet.

ressourcer gælder det, at der kun er et begrænset antal udbydere. Dette kan give producenterne markedsmagt, som det f.eks. blev set i forbindelse med oliekriserne i 1970'erne. Hvis ressourcerne er geografisk koncentreret i få lande med politisk ustabilitet, kan det endvidere rejse problemer med forsyningssikkerhed i andre lande, også selvom ressourcen findes i rigelige mængder.

Afkobling mellem ressourceforbrug og økonomisk vækst

Afkobling af samlet ressourceforbrug fra vækst

Forbrug af naturressourcer kan være foreneligt med økonomisk vækst, hvis det er muligt at afkoble dem fra hinanden. Afkoblingen kan betegnes som absolut, hvis forbruget af naturressourcer er konstant eller faldende, mens der er økonomisk vækst. Hvis stigningstakten i forbruget af naturressourcer er mindre end den økonomiske aktivitet, er der tale om en relativ afkobling. Sagt med andre ord skal der nu bruges færre naturressourcer til at producere den samme produktionsværdi. Hvis der er en absolut afkobling, vil det være muligt at have vækst på lang sigt. Relativ afkobling kan muliggøre forbrug i længere tid, men på det meget lange sigt kan der opstå problemer med ressourceknaphed.

Ingen absolut afkobling af forbrug og vækst

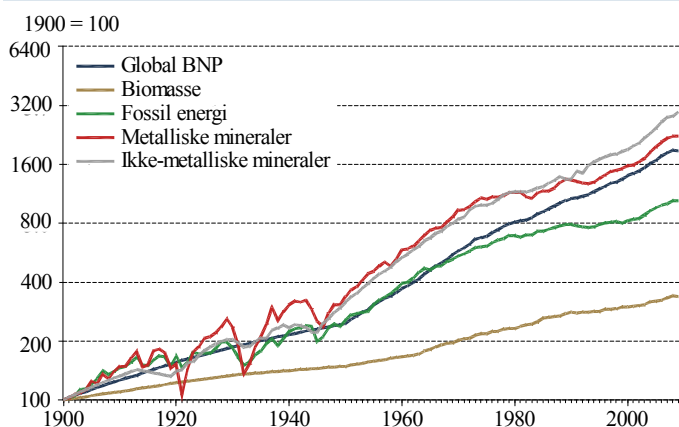
Forbruget af alle naturressourcer målt i ton er steget omkring 850 pct. i det seneste århundrede, hvorfor der på et globalt plan ikke har været en absolut afkobling mellem forbruget af naturressourcer og økonomisk vækst, jf. Krausmann mfl. (2009). Fokuserer man på forbruget af enkelte ressourcekategorier, er udviklingen den samme, jf. figur III.19. Særligt forbruget af ikke-metalliske mineraler så som sand og grus samt metalliske mineraler er steget markant og er 43- hhv. 31-doblet i perioden 1900-2009.

Relativ afkobling af forbrug af biomasse og fossil energi

I perioden 1900-2009 er væksten i velstanden målt som globalt BNP steget næsten 2500 pct., hvilket er større end stigningen i det samlede naturressourceforbrug. Det vil sige, at der for alle naturressourcer tilsammen er sket en relativ afkobling mellem forbrug og økonomiske vækst. Denne udvikling er styret af en relativ afkobling mellem forbrug og økonomisk vækst for fornybare naturressourcer (biomasse) og fossile brændsler, jf. figur III.19. Væksten i forbruget af ikke-metalliske og metalliske mineraler er omvendt noget

højere end væksten i BNP i den observerede periode, og der har dermed ikke været en relativ afkobling mellem forbruget af disse naturressourcer og økonomisk vækst.

Figur III.19 *Udvikling i globalt forbrug af naturressourcer og BNP*



Anm.: For udviklingen i økonomisk vækst er brugt udviklingen i global BNP i 1990-priser (opgjort i dollar), mens forbruget af naturressourcer er lig udvindingen målt i ton. Biomasse omfatter fornybare ressourcer som afgrøder, træ og fisk mv., mens ikke-metalliske mineraler f.eks. indeholder forbruget af sand og grus.

Kilde: Krausmann mfl. (2009).

Substitution mellem to ikke-fornybare naturressourcer

Muligheden for at afkoble forbrug af naturressourcer fra den økonomiske aktivitet handler om substitutionsmuligheder mellem naturressourcen og andre input i produktionen, jf. også afsnit III.2. Herudover kan der også substitueres mellem naturressourcer, så ressourcer, man er ved at løbe tør for, kan erstattes af andre ressourcer, der findes i rigelige mængder. Dette kan eksempelvis ske, hvis prisen på en ressource stiger relativt til en anden. Aluminium kan eksempelvis substitueres med stål til både emballage og i konstruktioner, jf. U.S. Geological Survey (2014). Tilsvarende ser man på energimarkedet især i USA for tiden en markant substitution mellem råolie og skiferolie. Substitution mel-

lem to ikke-fornybare ressourcer vil dog kun kunne løse problemer med knaphed for en begrænset periode.

III.5 Danmarks økonomiske vækst i ressource- og miljøperspektiv

Fokus på dansk vækst, selvom de største problemer er globale

Såvel klimaproblemer som overordnede spørgsmål om ressourcemangel er globale i deres karakter. Det giver dermed også mest mening at tage hånd om dem i et globalt perspektiv. Debatten herhjemme og en række politiske tiltag og målsætninger handler alligevel i høj grad om udviklingen i og sammenhængen mellem Danmarks økonomiske vækst, ressourceforbrug og bidrag til drivhuseffekten. Dette afsnit ser derfor nærmere på disse forhold.

Danmarks økonomiske vækst siden 1990

Hvad består den danske vækst af?

Danmarks samlede produktion målt ved bruttoværditilvækst (BVT) steg sammenlagt knap 40 pct. fra 1990 til 2013, jf. tabel III.1.⁷ Det svarer til en gennemsnitlig årlig realvækst på 1,4 pct. Men hvad er det, der er kommet mere af, og i hvilke sektorer er væksten sket? Mange har formodentlig en uklar opfattelse af, hvad realvækst egentlig indebærer. Eksempelvis kan man ofte møde opfattelser af, at økonomisk vækst er lig med produktion og forbrug af flere og flere fysiske varer og dermed proportionalt større forbrug af naturressourcer.

90 pct. af væksten består af tjenester

I den forbindelse er det mest slående ved de seneste 20 års økonomiske vækst, at den helt dominerende del, ca. 90 pct. af den samlede stigning i BVT, er drevet af vækst i de tjenesteydende erhverv. Offentlige tjenesteydelser har bidraget med ca. 10 pct. af den samlede BVT-vækst i perioden, og den løbende værdi af boligydelseerne med ca. 3 pct. De øvrige private tjenesteerhverv har stået for godt tre fjerdedele af

7) Bruttoværditilvæksten (BVT) bruges typisk i stedet for BNP i sammenligninger af enkelte brancher. De to begreber er nært beslægtede, men BVT udtrykker værditilvæksten i basispriser, mens BNP udtrykker værditilvæksten i markedspriser. Forskellen udgøres af varetilknyttede afgifter og subsidier.

den samlede danske værditilvækst siden 1990. Det er blandt andet brancher som handel og transport. De vareproducerende erhverv, det vil sige landbrug, råstofudvinding, industri og bygge- og anlægssektoren, har tilsammen kun bidraget med ca. 11 pct. af den samlede værdistigning i perioden. Det er dermed de erhverv, der har en mere immateriel karakter, der står for næsten hele værdistigningen.⁸

Tabel III.1 Erhvervenes andel af Danmarks BVT-vækst

Branche	Vækst 1990- 2013 ^{a)}	Andel af BVT i 2013	Andel af samlet BVT-vækst ^{b)}
		Pct.	
Primære erhverv	1,8	3,8	-0,3
Industri og forsyning	29,9	15,4	13,1
Bygge og anlæg	-1,1	4,4	-1,5
Offentlig service	21,2	22,0	9,7
Boligbenyttelse	17,7	8,0	3,2
Øvrig privat service	67,5	46,5	75,8
BVT	37,9	100,0	100,0

a) Samlet vækst i BVT over hele perioden 1990-2013.

b) Den enkelte branches andel af den samlede danske BVT-vækst i perioden 1990-2013.

Anm.: Udviklingen er i faste priser. Primære erhverv omfatter landbrug mv. og råstofudvinding. Privat service dækker over en lang række erhverv, herunder handel og transport.

Kilde: Danmarks Statistik, ADAM's databank og egne beregninger.

Private tjenester er det største erhverv og har højest vækstrate

De forskellige branchers bidrag til den samlede vækst afhænger af branchens størrelse og væksten i den pågældende branche. Den eneste branche, der har haft en højere BVT-vækstrate end økonomien som helhed, er øvrige private tjenesteydende erhverv, der også er langt den største bran-

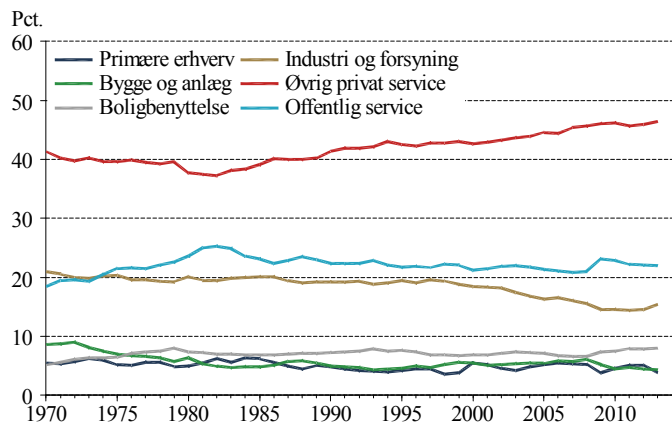
8) Tjenesteydelser har dog ikke udelukkende immateriel karakter. Transport, herunder søtransport, har et betydeligt direkte energiforbrug. Herudover trækker serviceerhverv via køb af fysiske varer indirekte på de vareproducerende erhverv.

che. Det er derfor ikke så overraskende, at denne branche helt dominerer stigningen i den samlede værditilvækst.

Service vinder frem, mens industri og bygge og anlæg viger

Den høje vækst i de private serviceerhverv medfører også, at disse efterhånden kommer til at fylde en større og større andel af økonomien. Denne sektorforskydning over mod de tjenesteydende erhverv er vist i figur III.20. Her ses det, at de private tjenesteerhverv, der allerede i 1970 var dominerende, er steget yderligere, mens især industrien og bygge- og anlægssektoren udgør en klart mindre andel af den samlede økonomi end i 1970.

Figur III.20 BVT-andele



Kilde: Danmarks Statistik, ADAM's databank og egne beregninger.

Erhvervsforskydninger bidrager til lavere ressourceforbrug

Forskydningen af produktionens sammensætning fra vareproducerende til tjenesteydende erhverv trækker i retning af, at produktionen er blevet relativt mindre ressourceforbrugende. Det næste underafsnit præsenterer en mere direkte opgørelse af materialeforbruget baseret på Danmarks Statistiks materialeregnskab.

Det danske forbrug af naturressourcer

Hvad består det danske materialeforbrug af?

Danmarks Statistik offentliggør i forbindelse med opgørelsen af det miljøøkonomiske regnskab det danske materialeforbrug opgjort i ton. Opgørelsen dækker forbruget af materialer udvundet i Danmark og importerede materialer fra trukkets eksport. Opgørelsen dækker ikke kun den direkte tilgang af basale materialer, men også det indirekte materialeforbrug, der ligger i import af hel- og halvfabrikata. Opgørelsen af materialeforbruget er nærmere beskrevet i boks III.9.

Sand og grus dominerer det samlede materialeforbrug

En meget stor del af det indenlandske materialeforbrug består af sand, grus og andre ikke-metalliske mineraler. Biomasse, herunder primære produkter fra landbruget, og fossile brændsler vejer også tungt i det danske materialeregnskab, og tilsammen udgør disse tre materialegrupper mere end 99 pct. af det samlede materialeforbrug opgjort i ton i Danmark. Metalliske mineraler og andre produkter såsom plastik bidrager kun minimalt til den samlede materialeanvendelse.

Ingen trend i materialeanvendelse, men den følger konjunktur

Det samlede materialeforbrug svinger med konjunkturbevægelserne, men set over de seneste 20 år har materialeforbruget været mere eller mindre uændret, jf. figur III.21. I perioden steg vægten af materialeforbruget ca. 9 pct. fra 107 ton i 1993 til 116 mio. ton i 2013. I den betragtede periode er BNP i 2010-priser steget med omkring 35 pct., hvilket indebærer, at materialeforbruget pr. kr. BNP er faldet. I 1993 blev der således brugt ca. 80 gram materiale til at skabe 1 2010-kr. BNP, mens man i 2013 skulle bruge omkring 65 gram materiale til at skabe 1 2010-kr. BNP. Udviklingen i forbruget er dog meget forskellig for de enkelte materialegrupper, jf. nedenfor.

Boks III.9 Materialeforbruget i Danmark

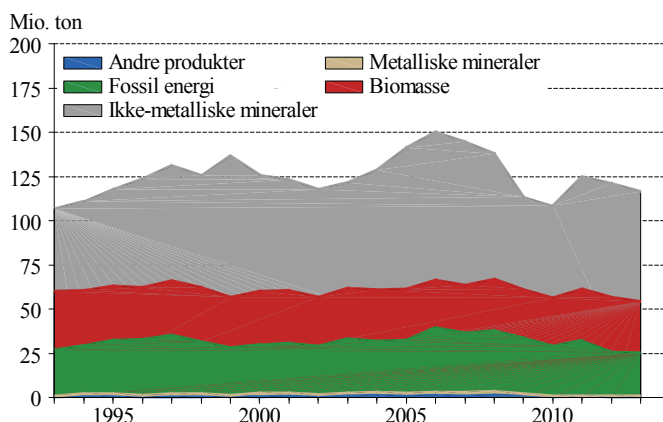
Danmarks Statistik offentliggør som led i opstillingen af et samlet Miljøøkonomisk Regnskab et såkaldt materialestrømsregnskab. Opgørelsen dækker materialestrømme relateret til dansk ressourceudvinding samt import og eksport af materialer, og ud fra disse opgørelser kan den indenlandske materialeanvendelse og den fysiske handelsbalance beregnes. Materialeregnskabet opgør materialestrømmene for hele økonomien under et (dvs. uden erhvervsfordeling) i fem hovedkategorier og en række underkategorier. Hovedkategorierne er: Biomasse, metalliske mineraler og produkter heraf, ikke-metalliske mineraler og produkter heraf, fossil energi og produkter heraf samt "andre produkter".

Alle materialestrømmene opgøres i ton, og opgørelsen dækker såvel råvarer som materialer, der er indeholdt i andre varer. Materialestrømsregnskabet er opstillet i overensstemmelse med de definitioner og afgrænsninger, der benyttes i nationalregnskabet, og følger i øvrigt de internationale retningslinjer, der gælder på området, og som blandt andet er beskrevet af Eurostat (2001). Internationalt betegnes denne type af materiale regnskaber EW-MFA (Economy Wide Material Flow Accounts).

Materialeregnskabet opgøres for hele økonomien, og materialestrømmene kan derfor ikke knyttes til de enkelte erhverv eller konkrete endelige anvendelse. Dette er en begrænsning i forhold til analytisk anvendelse af statistikken. En anden væsentlig udfordring er håndteringen af sammensatte varer, hvor der indgår flere råstoffer. Da disse sammensatte varer (hel- og halvfabrikata) udgør en stor del af den samlede produktion, er håndteringen heraf af stor betydning, men samtidig en stor udfordring, der gør det vanskeligt at følge materialestrømmene for enkelt(rå)varer, f.eks. jern, rundt i systemet.

Kilde: Danmarks Statistik (2008).

Figur III.21 Indenlandsk materialeforbrug



Anm.: Materialeanvendelse dækker over vægten af de naturressourcer, der udvindes i Danmark, og naturressourcer i import af varer og tjenesteydelser fratrukket eksporten.

Kilde: Danmarks Statistik, *Statistikbanken*.

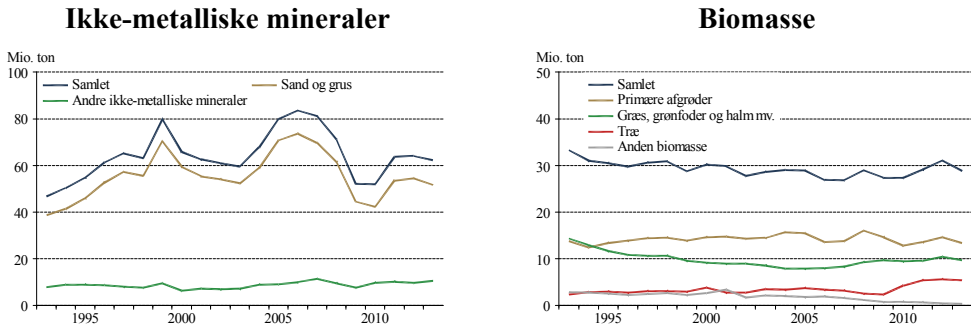
Forbrug af sand og grus påvirkes af konjunkturer

Udviklingen i forbruget af ikke-metalliske mineraler er helt domineret af sand og grus. Der spores ingen klar tendens, men til gengæld klare konjunkturtræk, jf. figur III.22. Sand og grus anvendes især i bygge- og anlægssektoren, hvilket forklarer konjunkturudsvingene. Forbruget i 2013 var 33 pct. højere end forbruget i 1993.

Svagt fald i forbruget af biomasse

De tungestvejende bidrag til udviklingen i forbruget af biomasse kommer fra primære afgrøder (særligt korn), foder og træ. Vægten af forbruget af biomasse er i perioden 1993-2013 faldet med 13 pct.

Figur III.22 Dansk materialeforbrug af ikke-metalliske mineraler og biomasse



Anm.: Andre ikke-metalliske mineraler omfatter blandt andet kridt, marmor og ler, mens anden biomasse dækker over fisk, produkter fra levende dyr mv.

Kilde: Danmarks Statistik, *Statistikbanken*.

Forbrug af kul og råolie faldet, men bunkring er steget kraftigt

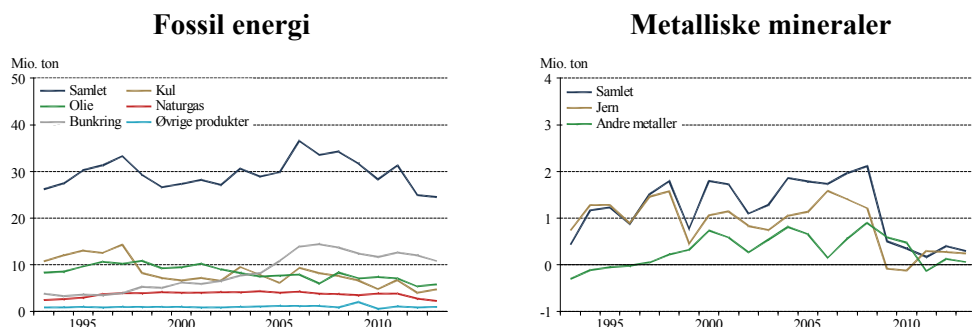
Man kan inddele forbruget af fossil energi i fem kategorier: Råolie, kul, naturgas, bunkring og øvrige produkter.⁹ Forbruget af fossil energi har med undtagelse af konjunkturbetingede og andre midlertidige udsving været nogenlunde konstant, jf. figur III.23. Denne udvikling dækker imidlertid over en klar nedadgående tendens i anvendelsen af råolie og kul. Samtidig er der sket en markant stigning i bunkring, særligt som følge af en kraftig stigning i dansk eksport af søfartsydeler.

Stort fald i forbrug af metaller

Anvendelsen af metaller står for en forsvindende lille del af det samlede danske materialeforbrug målt i ton. Størstedelen af metalforbruget kommer fra jern – særligt i begyndelsen af perioden. Forbruget af metaller afhænger meget af konjunktursituationen, jf. figur III.23. Det samlede forbrug har generelt udvist en svag tendens til stigning, men er faldet til et væsentlig lavere niveau under den nuværende lavkonjunktur.

9) Bunkring omfatter forbruget af energi af danskopererede fly, køretøjer og skibe i udlandet.

Figur III.23 Dansk materialeforbrug af fossil energi og metaller



Anm.: Der er ingen metaludvinding i Danmark, hvorfor negativt forbrug af metalkomponenterne er et udtryk for, at eksporten overgår importen. Det skyldes udsving i lagerbeholdninger og gruppering af sammensatte varer, jf. også boks III.9.

Kilde: Danmarks Statistik, *Statistikbanken*.

Ressource- produktivitet opgøres ofte meget summarisk

Muligheden for at afkoble forbruget af naturens ressourcer fra økonomisk vækst afhænger som beskrevet i afsnit III.2 af muligheden for at skabe mere værdi med brug af færre naturressourcer; det vil sige at øge ressourceproduktiviteten. En meget summarisk måde at opgøre ressourceproduktiviteten på, er ved at sammenholde udviklingen i BNP med udviklingen i det samlede ressourceforbrug målt i ton. Denne metode er blandt andet udvalgt af EU-Kommissionen som hovedindikator til belysning af ressourceeffektivitet, jf. EU-Kommissionen (2011).

Dansk ressource- produktivitet er steget

Set over perioden 1993-2013 har der været en stigning i den danske ressourceproduktivitet, jf. figur III.24. Sagt med andre ord har der været en relativ afkobling mellem det samlede forbrug af naturressourcer og økonomisk vækst. Dette svarer således til udviklingen i det samlede globale ressourceforbrug, jf. afsnit III.4. Konkret er den danske ressourceproduktivitet steget 20 pct. i perioden 1993-2013.

Figur III.24 Dansk ressourceproduktivitet



Anm.: Ressourceproduktiviteten er opgjort som BNP delt med det samlede indenlandske materialeforbrug i ton. BNP-udviklingen er i faste priser.

Kilde: Danmarks Statistik, *Statistikbanken*.

Indikatoren er for overordnet

Dette simple mål for ressourceproduktivitet har imidlertid nogle betydelige begrænsninger. Det danske ressourceforbrug er, som nævnt, kraftigt domineret af udviklingen i forbruget af sand og grus, der findes i rigelige mængder. Disse materialer anvendes særligt i bygge- og anlægsbranchen, og ændringer i byggeaktiviteten kan dermed påvirke den summariske ressourceproduktivitet betydeligt, uden at dette siger noget om forbruget af de naturressourcer, der er større fokus på, som eksempelvis fossile brændsler. Ønsker man en mere målrettet vurdering heraf, er det nødvendigt at se nærmere på effektiviteten i anvendelse af de enkelte naturressourcer. Datagrundlaget udgør dog en betydelig udfordring for sådanne analyser, jf. også boks III.9.

Sammenhæng mellem ressourceforbrug og CO₂-udledning

Udledningen af drivhusgasser er tæt knyttet til forbruget af fossile brændsler. Da CO₂-indholdet i forskellige typer af fossile brændsler ikke er det samme, er der imidlertid ikke en en-til-en sammenhæng mellem forbrug af fossile brændsler og klimabelastningen. I det følgende ses derfor nærmere på udviklingen i den danske energirelaterede CO₂-udledning.

Den danske CO₂-udledning

Produktions- baserede udledninger

Typisk opgøres CO₂-udledningen fra et land ved at fokusere på emissioner afledt af det direkte forbrug af fossile brændsler indenfor landets grænser. Denne afgrænsning indebærer, at den danske produktion betyder noget for CO₂-udledninger, uanset om produktionen går til eksport eller anvendelse i Danmark. Omvendt indgår CO₂-indholdet i importen af varer og tjenester ikke i opgørelsen. Det er denne afgrænsning, som blandt andet Kyoto-aftalen bygger på.

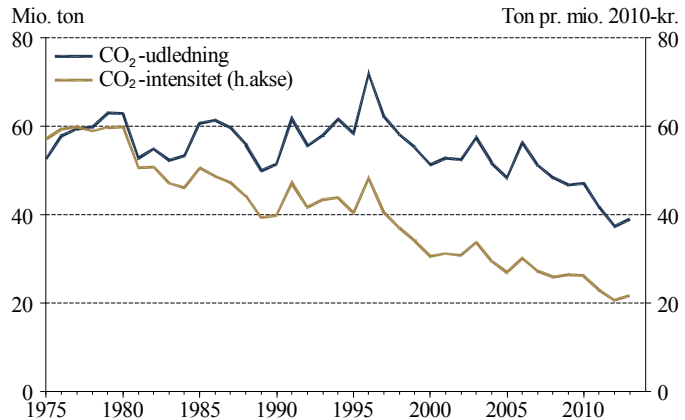
Lavere CO₂- udledning fra dansk produktion

Fra 1975 til omkring 2000 lå niveauet af CO₂-udledningen indenfor den danske grænse relativt stabilt mellem 50 og 60 mio. ton, jf. figur III.25.¹⁰ Herefter er den danske udledning faldet og var i 2013 omkring 39 mio. ton. Samlet set er CO₂-udledningen faldet med godt ¼ i løbet af de seneste 35-40 år. Udviklingen skyldes især fald i udledninger fra forsyningssektoren, men også at husholdningerne har reduceret udledninger betydeligt. CO₂-udledningen fra den indenlandske transport er derimod steget over perioden, og transportsektoren tegner sig i slutningen af perioden for godt en tredjedel af de danske CO₂-udledninger, jf. Energi-styrelsen (2014a).

CO₂-intensitet er faldet over de seneste 40 år

Sætter man CO₂-udledningen i forhold til BNP, har faldet været endnu større. Set over de seneste 40 år er CO₂-intensiteten faldet. Hvor der i Danmark blev udledt ca. 57 ton CO₂ pr. mio. 2010-kr. BNP i 1975, var udledningen faldet til knap 22 ton CO₂ pr. mio. 2010-kr. BNP i 2012, jf. figur III.25.

10) Den høje udledning i 1996 skyldes en særlig kold vinter.

Figur III.25 CO₂-udledning og -intensitet

Anm.: CO₂-intensitet er beregnet som CO₂-udledning i forhold til BNP i faste priser. CO₂-udledning er ekskl. bunkring, mens BNP også omfatter transport, herunder søfart.

Kilde: Energistyrelsen (2014a), Danmarks Statistik, *Statistikbanken*, og egne beregninger.

CO₂-udledning fra bunkring indgår ikke i opgørelse

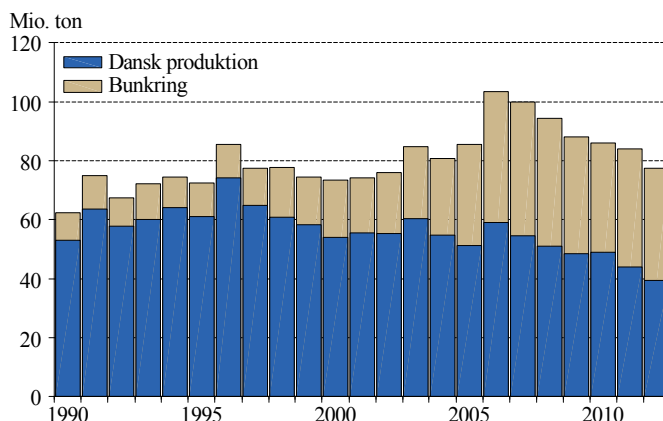
I den traditionelle produktionsbaserede CO₂-udledning medregnes udledninger relateret til bunkring ikke. Bunkring vedrører forbrug af energi af danskopererede fly, køretøjer og skibe i udlandet. Et argument for at se bort fra bunkring er, at der i forbindelse med forpligtelser i forhold til EU's klimapolitik netop fokuseres på udledninger, der finder sted som følge af aktiviteter indenfor de nationale grænser. Dette afspejler blandt andet, at det er svært at opnå internationale aftaler omkring behandling af udledninger fra den internationale søfart. I relation til den traditionelle opgørelse af CO₂-intensiteten opstår imidlertid en problemstilling ved at undlade bunkring, da værditilvæksten fra eksport af søfartsydelser indgår i opgørelsen af dansk BNP. Dette giver en inkonsistens mellem afgrænsningen i tæller og nævner, jf. også De Økonomiske Råd (2008).

Bunkring har betydning for udvikling i udledning af CO₂

International skibsfart med danskopererede fartøjer er steget kraftigt de senere år, og udledningen relateret til bunkring er som følge heraf mere end firedoblet fra 9 mio. ton i 1990 til 39 mio. ton i 2012, jf. figur III.26. Medregnes bunkring i den samlede udledning fra Danmark, har klimabelastningen

ikke alene været væsentligt højere, men set over hele perioden fra 1990 også stigende, idet den samlede udledning dog har udvist et fald de seneste fem-ti år. Tages der højde for bunkring i CO₂-udledningen, er CO₂-intensiteten ca. 43 ton pr. mio. 2010-kr. BNP i 2012.

Figur III.26 CO₂-udledning fra dansk produktion og bunkring



Kilde: Danmarks Statistik, *Statistikbanken*.

Forbrugs- baserede CO₂- udledninger

En anden omdiskuteret problemstilling i forbindelse med opgørelser af CO₂-udledning er, om man i stedet for at have fokus på udledning fra et lands produktion bør fokusere på borgernes aftryk på klimaet ved at beregne udledningen som følge af deres forbrug. Et argument for at fokusere på den forbrugsbaserede udledning er, at efterspørgsel efter importerede varer og tjenesteydelser fra danske erhverv og husholdninger medfører klimabelastninger i udlandet, der ellers ikke ville have fundet sted. Et modargument er ofte, at det er nemmere at styre produktionen og dermed regulere CO₂-udledninger den vej igennem, end det er at styre forbruget.

**Opgørelse af
CO₂-udledning
fra dansk forbrug**

Rockwool-fonden har i en nylig analyse forsøgt at opgøre CO₂-udledningen af det danske forbrug i perioden 1996-2009, jf. Ghosh mfl. (2014).¹¹ I opgørelsen er ikke medregnet CO₂-udledning fra bunkring. Andre studier har også opgjort CO₂-udledningen fra forbruget, men i disse analyser opgøres kun udledning for et enkelt år, jf. Danmarks Statistik (2009) og Energistyrelsen (2014b).¹²

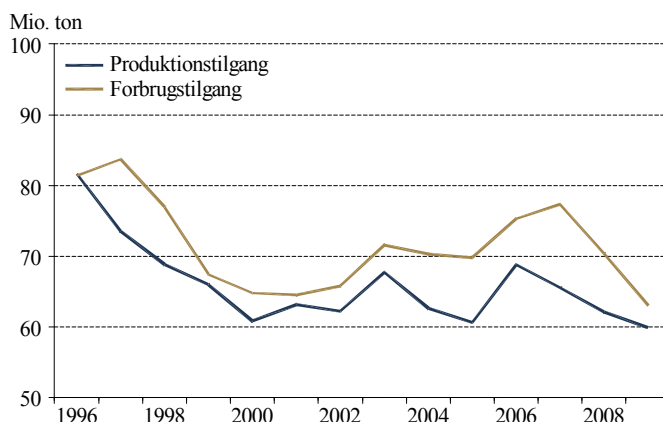
**Udvikling i CO₂
fra forbrug følger
samme trend som
for produktion**

Klimabelastningen fra det danske forbrug følger nogenlunde den samme trendens som CO₂-udledningen fra den danske produktion, men udledningen fra forbruget er i gennemsnit over årene knap 10 pct. højere end fra produktionen, jf. figur III.27. Denne niveauforskel er et udtryk for, at den danske import af varer og tjenester er en smule mere energitung end den danske eksport. Dette kan blandt andet skyldes, at importerede varer bliver produceret i lande med højere energiintensitet i produktionen, hvilket kan være et udtryk for, at den energitunge industri er flyttet fra Danmark til andre lande med mindre restriktiv energipolitik. Samlet set er forbrugets klimabelastning faldet 23 pct. fra 82 mio. ton CO₂ i 1996 til 63 mio. ton CO₂ i 2009. Opgjort ud fra produktionstilgangen er faldet i samme periode ca. 27 pct.

11) I analysen forsøges at opgøre CO₂-udledninger fra danskernes forbrug (ekskl. bunkring og inkl. biomasse). Opgørelsen bygger på input-output-tabeller fra World Input-Output Database.

12) I Energistyrelsen (2014b) opgøres ikke kun CO₂-udledningen, men også klimabelastningen fra drivhusgasemissioner af forbruget og emissioner fra "indirect land use changes". Disse vedrører udledninger som følge af afskovning og andre ændringer i arealanvendelsen. Ændringerne kan eksempelvis være et resultat af øget efterspørgsel efter landareal til produktion af biomasse, infrastruktur eller byudvikling.

Figur III.27 Danske CO₂-udledninger



Anm.: Udledninger omfatter også CO₂-udledninger fra biomassen.

Kilde: Ghosh mfl. (2014).

III.6 Sammenfatning

Sætter naturen grænser for vækst?

Økonomisk aktivitet trækker på naturens ressourcer og giver anledning til forurening. Det er nødvendigt at tage hensyn til disse forhold, og et af tidens vigtige økonomiske spørgsmål er derfor, om naturen sætter grænser for den økonomiske vækst i den forstand, at bestemte former for ressourcebegrænsninger vil forårsage, at den fortsatte fremgang i realt BNP fremover bliver mindre eller helt må ophøre. Dette spørgsmål er omdrejningspunktet i dette kapitel. Den overordnede tidshorisont for kapitlet er et-to hundrede år frem i tiden, hvilket omtrent svarer til de nulevende menneskers og deres børns og børnebørns levetid.

Forurening og ressourceforbrug de to vigtigste potentielle naturlige grænser

Om naturen sætter grænser for vækst, opdeles ofte i to forskellige underspørgsmål. Det ene handler om, hvorvidt forurening afledt af materiel produktion og forbrug efterhånden bliver så betydelig, at det bliver enten umuligt eller i hvert fald uønskeligt at lade produktionen vokse. Det andet handler om, hvorvidt de naturressourcer, der indgår som input i produktionen, efterhånden slipper op. Her drejer det sig ofte om ikke-fornybare ressourcer som mineraler og fossile brændsler, men også knaphed på fornybare ressour-

cer som fisk, landbrugsafgrøder og tømmer kan begrænse den økonomiske vækst, især hvis forvaltningen af disse ressourcer ikke er hensigtsmæssig.

Økonomisk vækst er ikke nødvendigvis lig med rent fysisk produktionsvækst

I offentligheden sættes der ofte lighedstegn mellem fortsat økonomisk vækst og større belastning af naturen i form af mere forurening og/eller større resourceforbrug. Det er imidlertid ikke sådan, at økonomisk vækst nødvendigvis indebærer et større forbrug af ressourcer eller flere skadelige udledninger. Økonomisk vækst måler stigningen i værdien af det, vi producerer, og værdien af vores produktion kan godt stige, selvom det rent fysiske input af naturressourcer, målt eksempelvis i ton eller kilojoule, er konstant eller direkte falder. Skift i forbrugsmønstret og teknologiske fremskridt vil kunne bidrage til at spare på resourceanvendelsen, uden at det nødvendiggør en lavere velstand.

Substitutionsmuligheder et centralt nøgleord

Det helt afgørende for, om den fremtidige økonomiske vækst vil være forenelig med en situation, hvor resourceforbrug og forurening falder eller i hvert fald ikke stiger, er, om substitutionsmulighederne mellem naturens input (ressourcer i bred forstand, herunder miljøet) og de menneskeskabte input i produktionsprocesserne er tilstrækkelig gode. Substitutionsmulighederne er dermed det centrale nøgleord for spørgsmålet om bæredygtig vækst.

Ressourceforbrug

Prismekanismen afgørende for, at substitutionsmulighederne udnyttes

En meget vigtig mekanisme, der kan sikre, at substitutionsmulighederne udnyttes, er, at stigende resourceknaphed fører til stigende priser på ressourcen. Disse prisstigninger vil bidrage til, at der i produktion og forbrug spares på resourceanvendelsen. Samtidig vil prisstigningerne give en tilskyndelse til forskning og udvikling af alternative produkter og produktionsmetoder, der anvender færre ressourcer. Stigende priser på knappe naturressourcer vil også øge tilskyndelsen til genanvendelse og gøre efterforskning efter nye fund mere rentabel. Disse afledede effekter kan så på lidt længere sigt omvendt medføre, at prisen falder igen.

**De fremtidige
substitutions-
muligheder
kendes ikke**

Selvom prissignaler er vigtige, kan man dog ikke være sikker på, at stigende priser vil kunne løse problemer med ressourceknaphed i alle tilfælde og i al fremtid. Det vil afhænge af, hvor gode de grundlæggende fremtidige substitutionsmuligheder er. De fremtidige substitutionsmuligheder er i sagens natur ukendte, og man kan derfor ikke udelukke, at ressourceknaphed en dag vil forhindre yderligere vækst eller ligefrem føre til faldende produktion. Hidtil har erfaringen på de fleste vigtige ressourceområder dog været, at substitutionsmulighederne i bred forstand, herunder udnyttelsen af ny teknologi og forekomsten af nye fund, har været tilstrækkelig gode til, at den økonomiske vækst har kunnet opretholdes.

**Stigende reserver
trods løbende
forbrug**

Indtil nu har problemerne med knaphed på naturressourcer således ikke været akutte. Blandt andet har nye fund af mange naturressourcer betydet, at den tilbageværende reserve ikke er faldet til trods for, at der løbende bliver forbrugt af ressourcen. Eksempelvis vurderede man i 1980, at de globale oliereserver ville række til 30 års fortsat forbrug. I 2013 var det tilsvarende estimat steget til over 50 år. Fortsat efterforskning og teknologisk udvikling, blandt andet induceret af forventningen om stigende priser, har bidraget til, at reserven af olie trods et betydeligt forbrug i den mellemliggende periode er steget. Tilsvarende løbende opjusteringer af de tilbageværende reservelagre er sket for mange andre ressourcer.

**Priser på
råstoffer er ikke
steget historisk**

Forbedringer i udvindingsteknologien og nye fund har sammen med skift i efterspørgslen gjort, at den relative pris på råstoffer set over lange tidsperioder ikke er steget. Hidtidige kraftige stigninger i ressourceprisen har typisk ført til ændringer i udbud og efterspørgsel, der igen har medført et efterfølgende prisfald. Denne udvikling kan tages som tegn på, at knaphed på naturressourcer ikke er et akut problem. Selvom de historiske erfaringer ikke bør fremføres i det uendelige, er der dog ikke noget, der tyder på, at alvorlig ressourcemangel vil sætte en stopper for økonomisk vækst i de kommende årtier. Hvad de fossile brændsler angår, har den stigende bevidsthed om drivhuseffekten endda skiftet fokus til, at problemet snarere er, at der er for mange end for få tilgængelige ressourcer af denne type.

Den globale klimaudfordring

Klimaproblemet kræver langt stærkere global indsats

Klimaproblemet er måske det vigtigste miljøproblem, verden umiddelbart står overfor. Beregninger i kapitlet foretaget ved hjælp af den økonomiske klimamodel DICE peger på, at der er behov for en betydelig skarpere klimapolitik på globalt plan end den, der føres i dag. I det præsenterede grundforløb, hvor ambitionsniveauet for den globale klimapolitik ikke ændres i forhold til i dag, stiger temperaturen på et tidspunkt til seks grader over førindustrielt niveau. For at overholde målet om, at den globale middeltemperatur ikke må stige mere end to grader, skal udledningerne af drivhusgasser således reduceres. Ifølge DICE-beregninger kan den nødvendige reduktion i udledningerne opnås ved indførelsen af en global afgift, der i 2015 skal være på 50 dollar pr. ton CO₂. Det svarer i beregningerne til en ottedobling af klimaindsatsen i forhold til i dag. I løbet af de kommende årtier skal afgiften ifølge DICE-beregningerne stige yderligere, sådan at den i 2060 er over 270 dollar.

Togradersmål vil ikke hindre fortsat økonomisk vækst

Selvom der er omkostninger forbundet med at føre en ambitiøs klimapolitik, er de langt fra af en størrelsesorden, som hindrer en fortsat vækst i det globale BNP. DICE-beregningerne viser, at en omkostningseffektiv opfyldelse af målsætningen om en temperaturstigning på maksimalt to grader vil føre til, at det globale BNP vil være 2½ pct. mindre i 2050 og knap 1 pct. mindre i 2100, end hvis man ikke ændrer ambitionsniveauet i klimapolitikken i forhold til i dag. Tager man højde for den økonomiske værdi af de klimaskader, der undgås ved togradersmålsætningen, reduceres omkostningen i 2050 til omkring 2 pct., og der vil være en netto-gevinst på 1 pct. i 2100 under togradersmålsætningen i forhold til laden-stå-til-forløbet. Disse effekter må betegnes som ret små, når de sammenlignes med stigningen i BNP og forbrug pr. capita, der i grundforløbet er på over 400 pct. fra 2010 til 2100.

Meget stor usikkerhed forbundet med konkrete modelberegninger

Der er meget stor usikkerhed forbundet med sådanne beregninger, og resultater fra DICE og tilsvarende klimamodeller skal derfor fortolkes med stor forsigtighed. En række andre beregninger og betragtninger bl.a. fra FN's klimapanel IPCC understøtter dog, at en effektiv klimapolitik, der stabi-

liserer den globale middeltemperatur på et moderat niveau, næppe vil være i konflikt med fortsat økonomisk vækst. Substitutionsmulighederne mellem fossile brændsler og andre produktionsfaktorer vurderes generelt at være tilstrækkelig store til, at det vil være muligt at reducere udledningerne, samtidig med at værdien af den samlede produktion af varer og tjenesteydelser fortsat kan vokse.

Antagelserne i DICE peger umiddelbart på, at togradersmålet er for ambitiøst

Ifølge de grundlæggende antagelser i DICE er togradersmålsætningen lovlig ambitiøs. Den optimale klimapolitik ud fra grundantagelserne i DICE tilsiger et ambitionsniveau, der svarer til en global afgift eller kvotepris på knap 18 dollar pr. ton CO₂ i 2015 stigende til 143 dollar i 2010-priser ved århundredets slutning. Et sådant forløb vil i henhold til modellen begrænse udledningerne i forhold til situationen, hvor man ikke pålægger nogen global afgift, men stadig føre til en stigning i udledningerne i den første del af det 21. århundrede. Den resulterende stigning i temperaturen er omkring 3½ grader over forindustrielt niveau omkring 2100. Som nævnt er der dog overordentlig stor usikkerhed forbundet med sådanne klimaøkonomiske modelberegninger.

Traditionelle klimamodeller undervurderer gevinst ved at forebygge

En af de problemstillinger, hvor der er overordentlig stor usikkerhed, er risikoen for såkaldt katastrofiske udfald som følge af det varmere klima. Det vil sige udfald, der er usandsynlige, men som ikke helt kan udelukkes, og som kan have meget store konsekvenser, hvis de indtræffer. Eksempler kan være en vending af de store havstrømme som Golfstrømmen eller et massivt udslip af metan fra smeltende permafrost. En række nyere miljøøkonomiske forskningsbidrag peger på, at den traditionelle tilgang i de fleste eksisterende klimamodeller, heriblandt DICE, undervurderer værdien af at føre en forebyggende klimapolitik, der kan reducere risikoen for sådanne katastrofer. Tager man i højere grad højde for den sandsynlige modvilje mod at løbe sådanne risici (såkaldte Epstein-Zin-præferencer), vil det trække i retning af, at den optimale klimapolitik kan ligge på et betydelig højere niveau, end de toneangivende klimamodeller p.t. tilsiger.

**Også lavere
diskontering kan
begrunde
skrappere
klimapolitik**

En anden indvending mod forudsætningerne i DICE-grundforløbet er, at diskonteringsraten er temmelig høj. En lavere tidspræferencerate, som man kan argumentere for ud fra et etisk begrundet synspunkt om, at kommende generationers nytte grundlæggende ikke bør have lavere vægt end nuværende generationers, vil føre til, at diskonteringsraten skal være lavere. Dette vil også trække i retning af, at det vil være optimalt med en skrappere klimapolitik.

**Togradersmål
kan opfattes som
passende
kompromis**

Både hensynet til kommende generationer og behovet for at tage eksplicit hensyn til risikoen for mere ekstreme katastrofescenarier peger dermed i retning af, at det centrale forløb i DICE ligger til den optimistiske side med hensyn til behovet for at forebygge fremtidige klimaskader. Tager man hensyn hertil, kan togradersmålsætningen opfattes som et mere passende kompromis mellem hensynet til fortsat materiel velstandsfremgang og miljøet.

**Kræver fokus på
omkostnings-
effektiv
klimaindsats**

Behovet for en betydelig stærkere indsats i klimapolitikken på internationalt plan gør det samtidig tilsvarende vigtigere, at klimapolitikken føres omkostningseffektivt. Ellers bliver ulemperne unødigt høje. En omkostningseffektiv klimapolitik vil blandt andet indebære, at reduktionerne foretages de steder i verden, hvor det er billigst. Dette kræver en global løsning, der som udgangspunkt bør være baseret på økonomiske styringsmidler. Modelberegninger tyder på, at verdenssamfundet bør påbegynde opstramningen af klimapolitikken med det samme, idet der kan være væsentlige velfærdstab forbundet med en yderligere udskydelse. Samtidig peger beregningerne på, at der er fordele forbundet med at lade kravene stige gradvis over tid.

**Hensigtsmæssigt
at adskille
fordelings- og
effektivitets-
hensyn**

En ensartet global afgift på alle drivhusgasser eller et tilsvarende globalt system med omsættelige kvoter for drivhusgasser er de mest oplagte instrumenter til at sikre en omkostningseffektiv løsning af klimaproblemerne. Disse instrumenter giver samtidig mulighed for at adskille spørgsmålet om, hvilke lande der skal betale for klimatiltagene, fra spørgsmålet om, hvor reduktionerne i udledningerne skal finde sted. Det kan ske via måden, afgiftsprovenuet fordeles mellem landene, eller via forhåndstildelingen af kvoter. Denne adskillelse er hensigtsmæssig, fordi det globalt er en

meget udbredt holdning, at de vestlige lande, der har de største økonomiske ressourcer og historisk har stået for den største udledning, bør betale en relativt stor del af omkostningerne. Skal en global aftale virkeliggøres, må den formentlig tage udgangspunkt i denne præmis. Samtidig bør de konkrete reduktioner imidlertid finde sted, hvor det er billigst, hvilket ofte vil sige i mellemindkomst- og udviklingslande.

Danmarks vækst og ressourceforbrug

**90 pct. af
Danmarks
realvækst siden
1990 udgøres af
tjenester**

Produktionen består i de fleste lande i stigende grad af tjenesteydelser og i mindre grad af fysiske varer. Dermed bidrager ændringer i erhvervsstrukturen til et relativt set mindre træk på naturens ressourcer. Af den samlede stigning i produktionen på knap 40 pct., som Danmark har oplevet siden 1990, skyldes ca. 90 pct. således vækst i den private og offentlige servicesektor, mens kun en tiendedel af væksten stammer fra de vareproducerende erhverv.

**BNP vejer 116
mio. ton**

Af det samlede danske materialeforbrug målt i ton består over halvdelen af materialer til byggebranchen som sand og grus. Fornybare naturressourcer som planteafgrøder og træ samt fossile brændsler fylder ca. en fjerdedel hver, mens det indenlandske forbrug af andre materialer som metaller og plastic fylder forsvindende lidt opgjort i vægt. I alt vejede materialeforbruget 116 mio. ton i 2013. Lidt populært kan man sige, at dette er vægten af BNP.

**Ingen klar
udvikling i
materialeforbrug
trods betydelig
økonomisk vækst**

Der har samlet set været en lille stigning i det fysiske materialeforbrug i de sidste 20 år, hvor BNP er steget med ca. 40 pct. Det skyldes imidlertid udelukkende, at mængden af byggematerialer som sand og grus mv. er større i 2013 end i 1993. Omvendt er forbruget af metaller, fornybare naturressourcer og fossile brændsler alle faldet. Tallene tyder således ikke på, at økonomisk vækst nødvendigvis ledsages af større materialeforbrug. For alle typer materialer er forbruget de enkelte år dog præget af store udsving som følge af konjunkturer mv.

**Generel
ressource-
produktivitet
næppe et
meningsfuldt mål**

Der er vidt forskellige problemstillinger forbundet med forbruget af de forskellige typer af materialer. Udviklingen i det samlede materialeforbrug målt i ton er således ikke noget særlig meningsfuldt mål for ressourceforbruget. Eksempelvis dominerer mængden af sand og grus, som næppe opleves som særlig kritiske og problematiske ressourcer, fuldstændig i forhold til mere sjældne metaller. Generelle mål for udviklingen i ressourceproduktiviteten (materialeforbrug i forhold til BNP) forekommer derfor at være ret intetsigende, selvom EU-Kommissionen tidligere har peget på dette mål som en vigtig indikator til at belyse ressourceeffektiviteten.

**Ressource-
knaphed ikke i
sig selv god grund
til politisk
indgreb**

Det kan diskuteres, om det er hensigtsmæssigt fra politisk side at opstille målsætninger om at begrænse ressourceforbruget af hensyn til ressourceknapheden. Stigende ressourceknaphed vil som nævnt føre til prisstigninger, der vil give tilskyndelser til at begrænse forbruget. Det offentlige bør kun gribe ind, hvis der kan identificeres klare markedsfejl i selve prisdannelsen, eller hvis brugen af den pågældende ressource medfører negative påvirkninger af miljøet, som der ikke er taget højde for i prisen på ressourcen. I sådanne tilfælde bør der arbejdes for at løse problemet i en global sammenhæng, idet et enkelt land eller en mindre region kun kan gøre meget lidt for at påvirke verdens samlede udbud og efterspørgsel efter ressourcen.

**Ingen forskel i
trenden i CO₂-
udledninger fra
produktion og
forbrug**

Den mest almindelige opgørelse af Danmarks CO₂-udledninger anvender internationale principper, som blev fastlagt i forbindelse med Kyoto-aftalen. Disse opgørelser fokuserer på udledninger indenfor landets grænser, og vedrører dermed dansk produktion og ikke dansk forbrug. Det betyder blandt andet, at der ikke tages højde for, at der også er udledninger knyttet til den danske import af varer produceret i udlandet. Opgøres udledningerne knyttet til Danmarks forbrug i stedet for produktionen, bliver niveauet knap 10 pct. højere. Når det drejer sig om udviklingen over tid, er der dog ingen væsentlig forskel på trenden i de to opgørelsesmetoder. Beregninger baseret på forbrug frem for produktion er forbundet med metodiske vanskeligheder, men umiddelbart indikerer sammenligningen af de to opgø-

relser ikke, at der har været et større skift i produktionen af varer med højt CO₂-indhold fra Danmark til udlandet.

**Bunkring
påvirker
Danmarks CO₂-
udledninger
markant**

I begge de ovennævnte opgørelser indgår udledninger fra bunkring, dvs. danske skibe og flys brændstofforbrug i fremmede havne, ikke. Dette kan til vis grad opfattes som et skridt i retning af at fokusere på udledninger forårsaget af dansk forbrug frem for dansk produktion. Man kan dog argumentere for, at dette er inkonsekvent, når udviklingen i udledninger sammenholdes med BNP-udviklingen, idet indtjeningen fra de danske fly og skibe indgår i BNP. Inddrages udledninger fra bunkring, ændres både niveauet og trenden i de danske udledninger markant. Udledningerne fra bunkring er nemlig vokset meget kraftigt i den sidste snes år, så de nu er omtrent lige så store som udledningerne indenfor Danmarks grænser.

**Næppe én rigtig
måde at opgøre
udledningerne på**

Man kan dårligt entydigt fastslå, hvad der er den rigtigste opgørelse. Det afhænger af, hvad tallene skal bruges til. Under alle omstændigheder er klimaproblemet en global problemstilling, hvor det afgørende er udviklingen i de globale udledninger og ikke disses fordeling på enkeltlande. Opgørelsen heraf har primært betydning for diskussionen om fordelingen af byrderne.

BNP og velfærd

**Betænkeligt at
styre ubetinget
efter høj BNP-
vækst**

BNP-vækst er ikke i sig selv et særlig godt mål for udviklingen i velfærden og livskvaliteten i et land. Det er der mange velkendte grunde til. Det er derfor også betænkeligt at have som et ubetinget politisk mål at forøge BNP mest muligt uden hensyn til de mulige omkostninger ved denne vækst. Omkostningerne kan f.eks. være i form af tab af fritid eller forringelser på områder som miljø, sundhed og fordeling, der også kan have stor betydning for befolkningens velfærd. Det er vigtigt at være opmærksom på disse afvejninger, når ønsker om tiltag, der kan føre til et højere BNP, drøftes.

**Man fokuserer på
det, man kan
måle**

**Derfor bør
alternative mål
udvikles**

BNP spiller dog af praktiske grunde i mange sammenhænge en vigtig rolle som indikator for et lands økonomiske succes. Da det, man måler, påvirker det, man gør, kan det have den konsekvens, at der kommer en skævhed i retning af for stor vægt på materiel velstand i forhold til andre forhold. Der har i de senere år været en stigende erkendelse af, at det er vigtigt at udarbejde mere nuancerede mål, som i højere grad dækker forskellige aspekter af befolkningens velfærd. Ikke mindst Stiglitz-Sen-Fitoussi-kommissionen har sat dette arbejde på dagsordenen. Derfor er det positivt, at der internationalt arbejdes på forskellige planer for at udvikle bedre indikatorer for bæredygtighed og grønne regnskaber. Også mål som ægte opsparing, der inddrager flere aspekter end traditionelle opsparingsbegreber, kan ses som et led i disse bestræbelser.

Litteratur

Ackerman, F., E.A. Stanton og R. Bueno (2012): Epstein-Zin Utility in DICE: Is Risk Aversion Irrelevant to Climate Policy? Arbejdspapir, Stockholm Environmental Institute.

Andersen, A. og M. Spange (2012): Produktivitetsudviklingen i Danmark – Sammenfatning. *Nationalbankens Kvartalsoversigt*, 1. kvartal 2012, del 1.

Andersen, T.M., J. Bentzen, H. Linderoth, V. Smith og N. Westergård-Nielsen (2012): *Bekrivende dansk økonomi*. Bogforlaget HandelsVidenskab.

Barro, R.J. (2014): Environmental Protection, Rare Disasters, and Discount Rates. Oplæg ved *American Economic Association's* konference januar 2015.

BP (2014): *BP statistical review of world energy 2014*.

Brock, W.A. og M.S. Taylor (2005): Economic Growth and the Environment: A Review of Theory and Empirics.

Cai, Y., K.L. Judd og T.S. Lontzek (2013): The Social Cost of Stochastic and Irreversible Climate Change. NBER Working Paper No. 18704. National Bureau of Economic Research, Januar 2013.

Croft, B. og C. Traeger (2013): Risk and Aversion in Assessing Climate Policy. Arbejdspapir, UC Berkeley.

Cuddington, J.T. og D.L. Moss (2001): Technological change, depletion, and the U.S. petroleum industry. *The American Economic Review*, 91 (4), s. 1135-1148.

Daly, H.E. og Farley, J. (2011): *Ecological Economics*. Island Press, Washington, DC, USA.

Danmarks Statistik (2008): *Bilag til Miljøøkonomisk regnskab for Danmark 2006*.

Danmarks Statistik (2009): *GHG emissions embodied in trade*.

Devarajan, S. og A.C. Fisher (1981): Hotelling's "Economics of exhaustible resources": Fifty years later. *Journal of Economic Literature*, 19 (1), s. 65-73.

De Økonomiske Råd (2008): *Økonomi og miljø 2008*.

De Økonomiske Råd (2010): *Økonomi og miljø 2010*.

De Økonomiske Råd (2012): *Økonomi og miljø 2012*.

De Økonomiske Råd (2013): *Økonomi og miljø 2013*.

De Økonomiske Råd (2014): *Økonomi og miljø 2014*.

Det Økonomiske Råd (1998): *Dansk Økonomi*.

Energistyrelsen (2012): *Danmarks olie- og gasproduktion 2011*. Bilag.

Energistyrelsen (2014a): *Energistatistik 2013*.

Energistyrelsen (2014b): *The carbon footprint of Danish production and consumption – Literature review and model calculations*.

Epstein, L.G. og S.E. Zin (1989): Substitution, Risk Aversion, and the Temporal Behavior of Consumption and Asset Returns: A Theoretical Framework. *Econometrica*, 57 (4), 937-969.

EU-Kommissionen (2011): *Køreplan til et ressource-effektivt Europa*.

Eurostat (2001): *Economy-Wide Material Flow Accounts and Derived Indicators*.

Faber, M. (2008): How to be an ecological economist. *Ecological Economics* 66 (1):1-7.

Fisher, A. (1981): *Resource and environmental economics*. Cambridge surveys of economic literature. Cambridge University Press.

Ghosh, G.P., C.J. Levitt, M.S. Pedersen og A. Sørensen (2014): *Measuring Denmark's CO₂ emissions 1996-2009*. The Rockwool Foundation.

Gordon, R. (2012): Is U.S. Economic Growth Over? Faltering Innovation Confronts the Six Headwinds. NBER Working Paper 18315.

Hanley, N., J.F. Shogren og B. White (1997): *Environmental economics in theory and practice*. Palgrave Macmillan.

Heal, G. og A. Millner (2014): Reflections: Uncertainty and Decision Making in Climate Change Economics. *Review of Environmental Economics and Policy*, 8 (1), s. 120-137.

Hotelling, H. (1931): The economics of exhaustible resources. *The Journal of Political Economy*, 39 (2), s. 137-175.

IMF (2015): *Commodity market monthly*.

IPCC (2014): *Assessment Report 5*.

Jacks, D.S. (2013): From boom to bust: A typology of real commodity prices in the long run. NBER Working Paper 18874. Updated March 2014.

Jevons, W.S. (1865): *The coal question*. Macmillan & Co.

Kijima mfl. (2010): Economic Models for the Environmental Kuznets curve: A survey. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 34, 1187-1201.

Krausmann, F., S. Gingrich, N. Eisenmenger, K.H. Erb og M. Fischer-Kowalski (2009): Growth in global material use, GDP and population during the 20th century. *Ecological Economics*, 68 (10), s. 2696-2705. Updated 2011.

Krautkraemer, J.A. (1998): Nonrenewable Resource Scarcity. *Journal of Economic Literature*. 36 (4), s. 2065-2107.

Krautkremer, J.A. (2005): Economics of natural resource scarcity: The state of the debate. Discussion paper 05-14. Resources for the Future.

Malthus, T. (1798): *An essay on the principle of population*. J. Johnson.

Managi, S., J.J. Opaluch, D. Jin og T.A. Grigalunas (2004): Technological change and depletion in offshore oil and gas. *Journal of Environmental Economics and Management*. 47, s. 388-409.

Markandya og Pedroso-Galinato (2007): How substitutable is capital? *Environmental and Resource Economics*, 37, 297-312.

McGlade, C. og P. Ekins (2015): The geographical distribution of fossil fuel unused when limiting global warming to 2°C. *Nature*, 517, s. 187-190.

McKinsey (2013): *Resource Revolution: Tracking global commodity markets*.

Meadows, D.H., D.L. Meadows, J. Randers og W.W. Behrens III (1972): *The limits to growth. A report for The Club of Rome's project on the predicament of mankind*. Universe Books.

Neumayer (2000): Scarce or Abundant? The Economics of Natural Resource Availability. *Journal of Economic Surveys*, 14, 307-35.

Nordhaus, W. (1992): Lethal Model 2: The Limits to Growth Revisited. *Brookings Papers on Economic Activity*, 2.

Nordhaus, W. (1993): Rolling the 'DICE': An Optimal Transition Path for Controlling Greenhouse Gases. *Resource and Energy Economics*, 15.

Nordhaus, W. (2013): DICE 2013R: Introduction and User's Manual.

Pedersen, F.I. (2014): BNP undervurderer væksten i dansk velstand. Notat, Arbejderbevægelsens Erhvervsråd, 4. november 2014.

Perman, R., M. Ma, M. Common, D. Maddison og J. McGilvray (2011): *Natural resource and environmental economics*. 3. udgave. Pearson.

Pindyck, R.S. (1978): The optimal exploration and production of nonrenewable resources. *Journal of Political Economy*, 86 (5), s. 841-861.

Pindyck, R.S. (2013): Climate Change Policy: What Do the Models Tell Us? *Journal of Economic Literature*, 51(3), s. 860-872.

Ploug, N. (2014): Økonomisk vækst og livskvalitet. *Samfundsøkonomen* nr. 1, marts 2014.

Rosemarin, A., J. Schröder, L. Dagerskog, D. Cordell og B. Smit (2010): *Future supply of phosphorus in agriculture and the need to maximize efficiency of use and reuse*. Revised 2011. International Fertiliser Society.

Schou, P. (2000): Miljøproblemer og endogen vækst. *Nationaløkonomisk Tidsskrift*, 138, s. 301-313.

Schou, P. (2010): Den økonomiske vækst og miljøet – nogle centrale forskningsresultater i det 21. århundrede. *Nationaløkonomisk Tidsskrift*, 148, 3, s. 353-372.

Sinn, H.-W. (2008): Public policies against global warming: a supply side approach. *International Tax and Public Finance*, 15 (4), s. 360-394.

Smulders, S. (1995): Entropy, Environment, and Endogenous Economic Growth. *International Tax and Public Finance*, 2, s. 319-340.

Stiglitz, J.E., A. Sen og J.-P. Fitoussi (2009): *Report by the commission of the measurement of economic performance and social progress*. www.stiglitz-sen-fitoussi.fr.

The Association for the Study of Peak Oil and Gas (2009): Newsletter No. 100 – April 2009.

Tol, R.S.J. (2009): The Economic Effects of Climate Change. *Journal of Economic Perspectives*, 23(2), s. 29-51.

Tol, R.S.J. (2011): The Social Cost of Carbon. *Annual Review of Resource Economics*, 3, s. 21.1-21.25.

U.S. Geological Survey (1996-2014): *Mineral Commodity Summaries*.

Van der Werf, E. og C. Di Maria (2012): Imperfect Environmental Policy and Polluting Emissions: The Green Paradox and Beyond. *International Review of Environmental and Resource Economics*, 6(2), s. 153-194.

Weitzman, M.L. (2007): A Review of the ‘Stern Review on the Economics of Climate Change’. *Journal of Economic Literature*, 45, September, 703-724.

Weitzman, M.L. (2009): On Modeling and Interpreting the Economics of Catastrophic Climate Change. *The Review of Economics and Statistics*, 91, February, 1-19.

World Bank (2015): *Commodity markets outlook. January 2015*.

World Commission on Environment and Development (1987): *Our Common Future*. Oxford University Press.

