



Danmark på nedtrapning

Et målrettet energiscenarie

Juli 2010

GREENPEACE

Danmark på nedtrapning - Et målrettet energiscenarie

Greenpeace, juli 2010

Tekst: Ebbe Sønderriis

Layout: Ebbe Sønderriis og Christian Uhlenfeldt

Redaktion: Jon Burgwald og Tarjei Haaland

Tegninger: Palle Schmidt

ISBN no. 978-87-88807-08-0

Download: <http://www.greenpeace.org/denmark/press/rapporter-og-dokumenter/danmark-paa-nedtrapning>

Danmark på nedtrapning – Et målrettet scenarie er en beskrivelse af det i rapporten Klima og Energi. Ombygningen af energisystemet – problemstilling og fremgangsmåde fremstillede scenarie for ombygningen af det danske energisystem.

Klima og Energi. Ombygningen af energisystemet – problemstilling og fremgangsmåde, Greenpeace juni 2010:

<http://www.greenpeace.org/raw/content/denmark/press/rapporter-og-dokumenter/ombygningen-af-energisystemet.pdf>

Klima og Energi. Ombygningen af energisystemet – Resumé, Greenpeace juni 2010:

<http://www.greenpeace.org/raw/content/denmark/press/rapporter-og-dokumenter/ombygningen-af-energisystemet-2.pdf>

Greenpeace Nordic/København

Bredgade 20,

1260 København K

Tlf: 33938660

Mail: info@nordic.greenpeace.org

Energienheder:

1 Joule = 1 Ws (1 watt i et sekund)

1 PJ (Petajoule) = 10¹⁵ joule (en milliard joule)

1 TWh = 10⁹ kWh (en milliard kilowatttimer) = 3,6 PJ

1 tønde (barrel) olie = 158 liter

Indhold

Danmark kan igen blive et foregangsland	4
Klimakrisen: Der er ingen tid at spille	8
Afdæmpet vækst – faldende energiforbrug	10
SESAM lukker op	12
Fremtidens energisystem skal skabes nu	14
Scenariet: En effektiv nedtrapning	16
Samfundsøkonomisk giver det overskud	20



Blandede kilder
Produktgruppe fra velforvaltede
skove og andre kontrollerede kilder
www.fsc.org Cert.no. SW-COC-003062
© 1996 Forest Stewardship Council



1.

Danmark kan igen blive et foregangsland

Hidtil er det gået alt for langsomt med at begrænse udledningen af drivhusgasser i Danmark. Men vi kan nå det endnu: Hvis vi begynder straks, kan udledningerne af CO₂ fra fossile brændsler (kul, olie og naturgas) være nedtrappet med 46 procent i år 2020 og 73 procent i år 2030, sammenlignet med niveauet i 1990.

Teknisk er det muligt. Det viser det energiscenarie, som er beskrevet i det følgende. Men opgaven er stor. Den kalder på stærk vilje og politisk handlekraft. Hvis den lykkes, vil det både gavne klimaet og bringe Danmark godt på vej mod uafhængighed af importeret fossilt brændsel. Danmark kan forbedre sin forsyningssikkerhed og økonomi – og på ny blive et foregangsland. Med eksemplets magt kan vi være med til at vise vej mod en ambitiøs og fair international klimaafteale. Nogle af de løsninger, vi udvikler, kan eksporteres til resten af verden.

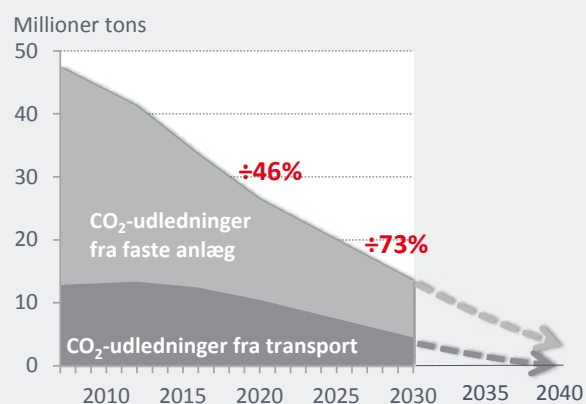
For at nå målet skal der investeres mange milliarder ekstra i omstilling af energisystemet. Det er dyrt og krævende. Men det bliver endnu dyrere at lade være. Det viser en sammenligning med et forløb, hvor investeringerne er meget mindre og CO₂-udledningerne tilsvarende større.

Der er udsigt til stærkt stigende oliepriser i de kommende år. På verdensplan tager produktionen fra billige oliefelter af, mens efterspørgselen vokser. Det smitter af på de øvrige energipriser. Med en høj pris viser beregningerne, at de sparede udgifter til køb af brændsel bliver 60 procent større end de ekstra omkostninger (investeringer, drift, vedligeholdelse og afskrivninger), der skal til for at realisere den beskrevne omstilling af energisystemet. Hvis energipriserne kun stiger halvt så meget, er der alligevel en samfundsøkonomisk fordel ved at gennemføre scenariet.

Investeringer i transportsektoren er holdt uden for sammenligningen, da de kun kan vurderes på grundlag af konkrete anlægsprojekter. Men beregningerne viser, at der er samfundsøkonomisk overskud til at foretage dem. Der skal investeres mere i jernbaner og tog, sporvognslinjer og sporvogne, havne

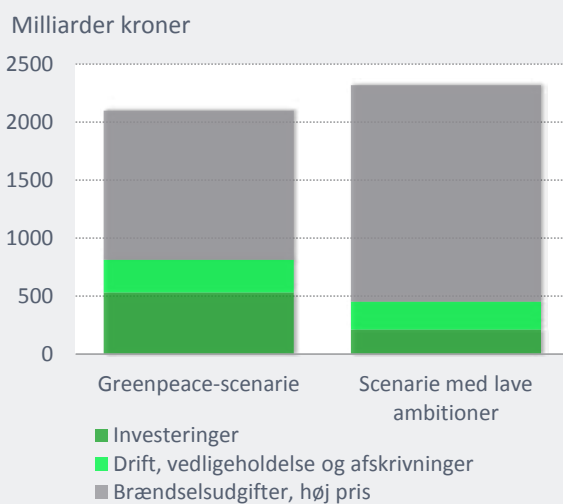
Det kan lade sig gøre

CO₂-udledningerne fra skorstene og udstødningsrør kan sænkes ved ændringer i hele energisystemet



Det kan betale sig

Store investeringer er nødvendige. Men pengene tjenes ind ved mindre brug af brændsel i fremtiden



Besparelserne bliver større end de ekstra omkostninger, også hvis priserne på olie, kul og gas imod forventning kun stiger moderat. En del af det samfundsmæssige overskud anvendes til transportinvesteringer.

og skibe – men mindre i veje, broer, personbiler og lastbiler. Det er sandsynligt, at biler bliver dyrere i anskaffelse, men billigere i drift. Udviklingen kan fremmes ved omlægning af afgifterne.

Scenariet er gennemregnet på en model af det danske energisystem. Målet er at opnå CO₂-reduktionerne uden unødige omkostninger og uden spild af ressourcer. Beregningerne viser, at de skiftende behov for energi kan tilfredsstilles på alle tidspunkter af døgnet og året, selv om meget af energien kommer fra kilder, der bogstavelig talt varierer som vinden blæser.

Det vil være en fordel at samarbejde med nabolandene. Men scenariet viser, at Danmark godt kan gennemføre de nødvendige forandringer alene.

Udenrigsflyvning og søfart er ikke medtaget. Olie- og gasudvinding, raffinaderier mv. er heller ikke taget med. Landbrugets energiforbrug er med, men ikke udledningen af drivhusgasser fra husdyrhold og jordbrug. I scenariet er der kun brugt teknologier som i dag er fuldt udviklede. Dyre, risikable og ikke bæredygtige teknologier som atomkraft og lagring af CO₂ i undergrunden er ikke medtaget. Af beregningstekniske grunde er der taget udgangspunkt i tal for 2007.

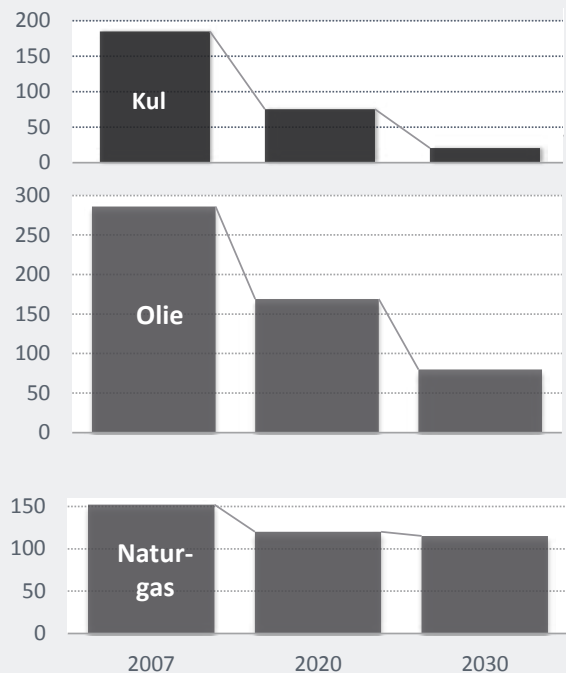
Det endelige forbrug af energi begrænses ved adfærdssændringer, der dæmper væksten, og ved at forbedre energieffektiviteten. På langt de fleste områder kan nye elektriske apparater yde det samme med mindre energiforbrug. Behovet for energi til opvarmning og drift af bygninger begrænses ved grundige renoveringer af deres isolering, ventilation og varmeanlæg. I nybyggeriet kan og skal man komme tæt på det helt CO₂-neutrale hus.

Transport med personbil og lastbil begrænses til fordel for kollektiv trafik, bane og skib. På grund af effektiviseringerne og de mange vindmøller vil der være strøm til at drive en stor del af transportmidlerne med el og brint i stedet for benzin og diesel. Elektriske biler, tog, busser og sporvogne udnytter energien bedre end køretøjer med forbrændingsmotor.

Den fossile afhængighed tager af

Forbruget af kul og olie falder mest

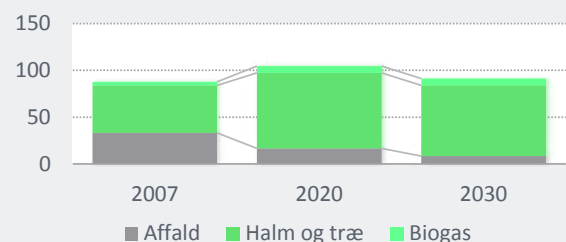
Brændværdi, PJ



Biomasse bruges med måde

Halm, træ og organisk affald udnyttes hovedsageligt til kombineret produktion af el og varme

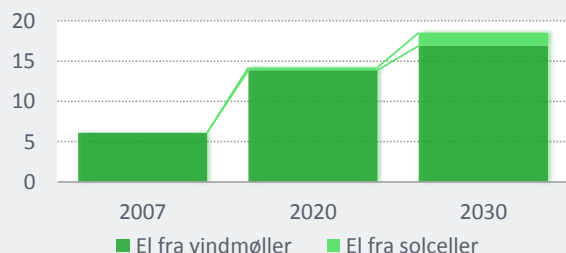
Brændværdi, PJ



Vind og sol vinder frem

Vindkraften dækker halvdelen af elforsyningen i 2030, solceller dækker fem procent.

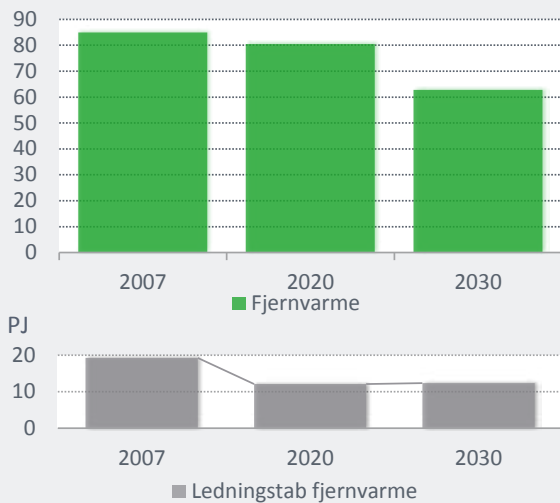
Elproduktion, TWh



Kølevand udnyttes til opvarmning

Kraftvarmeværkerne leverer halvdelen af varmen. Både bygninger og ledninger taber mindre varme.

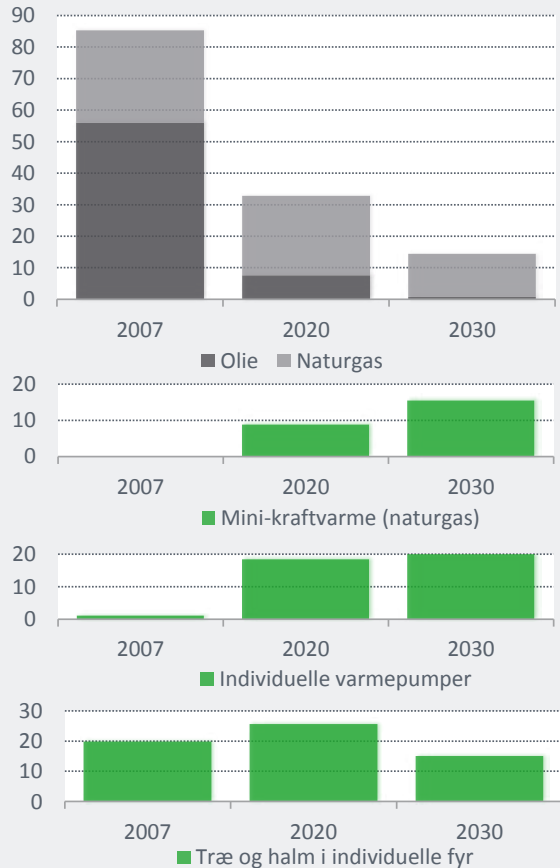
Varmeydelse netto, PJ



Oliefyr på teknisk museum

Uden for fjernvarmeområderne udfases opvarmning fra olie og naturgas i fyr og kedler

Varmeydelse netto, PJ



I det nye energisystem dækker vindkraft halvdelen af elproduktionen. Også solceller og biogas bidrager til produktionen af el. Brug af kul er næsten hørt op i 2030. Olieforbruget er skåret ned til en fjerdedel. Forbruget af naturgas er på vej ned.

Biomasse (halm, træ og organisk affald) er en begrænset ressource. Ved at anvende den som brændsel i kombineret produktion af el og varme opnås den største reduktion af CO₂-udledningerne. Derfor bruges der i scenariet hverken bioethanol eller biodiesel til transport. Biologisk nedbrydeligt affald regnes som vedvarende energi, men affaldsforbrænding er et spild af ressourcer, og nedtrappes derfor.

De kraftværker, der ikke udnytter kølevarmen til fjernvarme, tages gradvist ud af drift. Anvendelsen af kedler og fyr (først og fremmest oliefyr) trappes ned. Bygninger uden for fjernvarmeområderne opvarmes i stigende grad med varmepumper og i naturgasområderne med små naturgasfyrede kraftvarmeenheder.

Efterhånden som bygningerne bliver bedre isoleret, kan de varmes op med en lavere temperatur i radiatorerne. Derfor sænkes temperaturen i fjernvarmevandet. Det giver mindre tab af varme undervejs fra værk til forbruger – og mindre energiforbrug på værket.

For at klare elforsyningen på vindstille dage opretholdes en vis men aftagende kapacitet på kraftvarmeværkerne. Og værkerne benyttes i færre timer, efterhånden som der kommer mere strøm fra vindkraft og solceller.

Store varmepumper på kraftvarmeværkerne regulerer forholdet mellem produktion af el og varme. Når der er overskud af el i systemet – på kolde og blæsende dage – slår man pumperne til og sparer brændsel. En stigende del af fjernvarmen kommer fra disse varmepumper. Deres elforbrug formindskes, når temperaturen i fjernvarmevandet sænkes.

Geotermisk energi udnyttes i områder, hvor der i forvejen er fjernvarmenet. Når temperaturen i det geotermiske anlæg ikke er høj nok, hæves den med varmepumper.

Varmepumper og solfangere i de enkelte bygninger bidrager også til opvarmningen.

Anlæg til fremstilling af brint ved elektrolyse udnytter en del af overskuddet af strøm fra vindmøller og bidrager til at formindsker forbruget af olieprodukter i transportmidlerne. Brint kan anvendes til tunge transportmidler, f.eks. busser og skibe. Der kan også opstå andre muligheder. Det afhænger af fremtidens udvikling af brændselsceller, batterier og andre teknologier til lagring af elektrisk energi.

For klimaet vil det også være en god løsning at udveksle mere el med Norge og Sverige. De kan så tilbageholde vandkraft, der kan bruges, når der ikke er vind. Som det nordiske elmarked fungerer i dag, vil det dog betyde, at Danmark skal sælge el billigt og købe dyrt. I stedet burde udvekslingen med nabolandene være bestemt af den marginale pris på el fra et kulfyret kraftværk med tillæg af en forholdsvis høj pris på CO₂-kvoter.

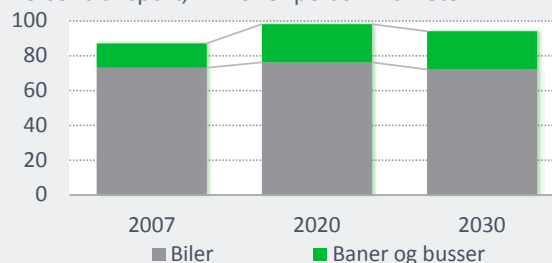
Scenariets forandringer af det danske energisystem hænger indbyrdes sammen. Størrelsen af investeringerne og takten i forandringerne er bestemt af ønsket om at opnå CO₂-reduktionen på en effektiv måde, uden unødige omkostninger. Andelen af vedvarende energi i forhold til summen af alle former for endeligt energiforbrug kan ikke bruges som målestok. For eksempel kan man godt forøge antallet af vindmøller eller formindske forbruget af fjernvarme uden at sænke forbruget af kulkraft. I begge tilfælde får man en højere VE-andel, uden at det gavner klimaet.

Af hensyn til sammenligningen med andre forslag er VE-andelen dog alligevel beregnet med den metode, som EU og den danske Energistyrelse anvender. Det endelige energiforbrug falder med 38 procent og brugen af vedvarende energi fordobles. VE-andelen stiger til 34 procent i år 2020 og 52 procent i år 2030.

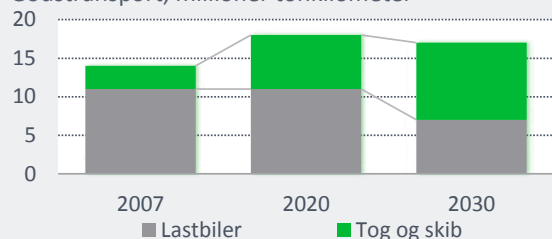
Energiforbrug i transportsektoren

Væksten dæmpes og el erstatter fossilt brændstof

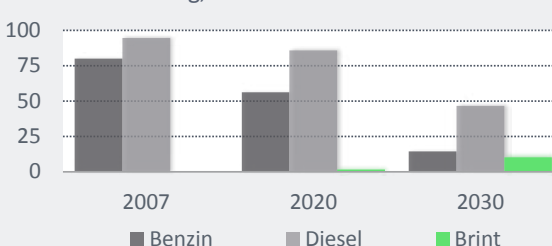
Persontransport, millioner personkilometer



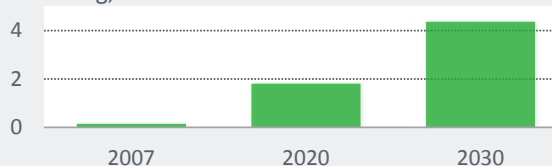
Godstransport, millioner tonkilometer



Brændstofforbrug, PJ



Elforbrug, TWh

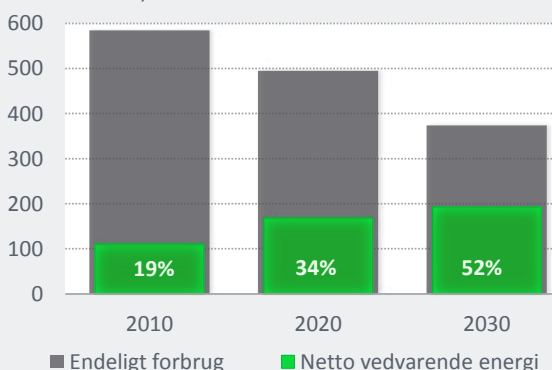


Eldrevne transportmidler er langt mere effektive end transportmidler med forbrændingsmotor

Andel af vedvarende energi

Beregnet efter EU's og Energistyrelsens metode

Brændværdi, PJ



2.

Klimakrisen: Der er ingen tid at spilde

FN's klimarapport fra 2007 var alarmerende. Mange mennesker ændrede mening, mange regeringer erklærede, at de ville ændre politik, mange virksomhedsledere brugte store ord om en grøn revolution. Men udledningerne? De stiger stadig. Og klimaet? Det hører ikke, hvad vi siger. Det reagerer på det, vi gør.

FN-rapporten bygger på det, man vidste i 2006. Nyere viden viser, at klimaet reagerer endnu stærkere end dengang antaget. For eksempel har det overrasket mange forskere, at isen på Grønland smelter langt hurtigere end ventet. Risikoen for, at klimaforandringerne løber løbsk, er rykket nærmere.

CO₂ og andre drivhusgasser holder på varmen, så Jordens klima kommer ud af balance. Isen smelter, havene stiger, klimabælterne flytter sig, og økosystemer forandres brat. På grund af den ekstra energi i klimasystemet, bliver vejret mere ekstremt: Værre oversvømmelser, længere tørkeperioder, stærkere hedebølger og kraftigere storme er nogle af konsekvenserne.

Selvforstærkende mekanismer forstærker den globale opvarmning. For eksempel opsuger mørkt havvand langt mere varme end den hvide is. Tundraen i Sibirien og Alaska rummer store mængder metan, som udledes når tundraen tør. Visse steder under havbunden er endnu mere metan bundet i frosen tilstand; det vil blive udledt hvis havvandet bliver ret meget varmere. Regnskov, der tørrer ud, vil frigøre store mængder CO₂. Nedsmeltning af indlandsis er også en selvforstærkende proces.

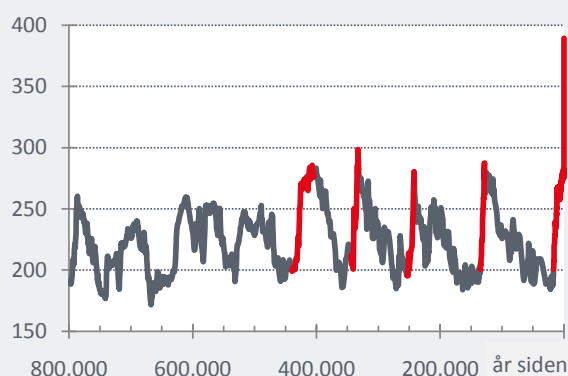
De positive virkninger af klimaets forandringer (f.eks. milde vintre og bedre udbytte af planteavl) findes især i de kølige, tempererede lande, hvor størstedelen af de økonomisk velstillede mennesker bor. De negative virkninger er værst for de fattige, der ikke har så meget at stå imod med.

Jordens middeltemperatur er allerede steget 0,8 grader i forhold til 1800-tallet, og en yderligere opvarmning på ca. 0,6 grader vil finde sted på grund af de drivhusgasser, vi allerede

Jordens klima er under pres

Atmosfærens indhold af CO₂ er steget mere end de naturlige udsving i 800.000 år

CO₂-koncentration (milliontedele)

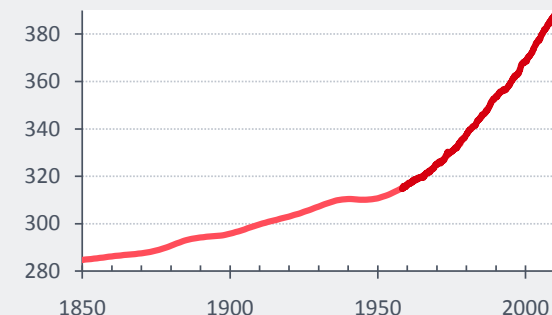


Vi kender atmosfærens indhold af CO₂ fra små luftbobler i borekerner af fortidens indlandsis. Koncentrationen er steget hver gang klimaet blev varmere efter en istid. Men i nyere tid er koncentrationen steget dobbelt så meget til.

Største CO₂-stigning fra 1950

Atmosfærens CO₂-indhold er forøget i takt med menneskets forbrænding af kul, olie og naturgas

CO₂-koncentration (milliontedele)



Kilder: www.ncdc.noaa.gov, www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends og cdiac.ornl.gov/trends/co2/lawdome.html

har sluppet løs i atmosfæren. Dertil kommer virkningen af de drivhusgasser, der udledes fra nu af.

De fleste lande har nu tilsluttet sig to-graders målet: Den globale opvarmning skal holdes under to grader i forhold til det førindustrielle niveau. Målet er bekræftet af de økonomiske stormagter (G20) og klimakonferencen COP15 i København 2009. Hvis den målsætning skal nås, skal stigningen i de globale udledninger vendes til et fald i løbet af de kommende fem til ti år. Derefter skal kurven bringes til at falde brat.

Men udviklingslandene har brug for større energiforsyning, især til de fattige. Samtidig har de dårligt råd til at investere i den bedst tilgængelige, bæredygtige teknologi. Derfor må de rigeste og ældste industrilande gå i spidsen – sådan som både FN's Klimakonvention, Baliaftalen og almindelig anstændighed kræver.

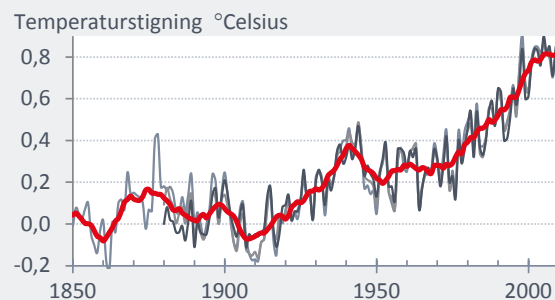
Greenpeace arbejder for en reduktion af danske udledninger af CO₂ og andre drivhusgasser på mindst 40 procent frem til år 2020 og mindst 70 procent i år 2030, sammenlignet med 1990.

40 procents reduktion i år 2020 er også kravet til i-landene fra de fleste udviklingslande i de internationale klimaforhandlinger. Ved at vise et godt eksempel kan Danmark derfor være med til at bane vej for en forpligtende, tilstrækkelig og retfærdig international klimaaf tale.

Det kræver en langt mere ambitiøs og målrettet energipolitik end den, regeringen har ført i de seneste ni år. De teknologier og systemløsninger, vi bliver nødt til at udvikle for at nå målet, kan gøre gavn i resten af verden: Som figuren til højre viser, skal alle lande, også udviklingslandene, hurtigt i gang med at afvikle forbruget af kul, olie og naturgas, satse massivt på energieffektivisering og forsyne deres befolkninger med vedvarende energiløsninger.

Varmen kan ikke slippe væk

Balancen er brudt. Vejret bliver mere ekstremt og der er risiko for selvforstærkende klimaforandringer

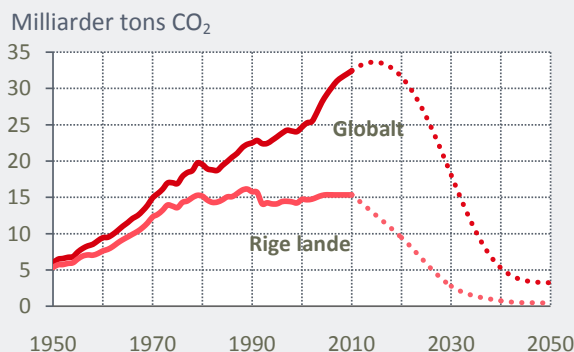


Jordens middeltemperatur ved overfladen svinger op og ned. Den er steget 0,8 grader siden 1800-tallet. Især efter 1950 er sammenhængen med menneskets udledning af drivhusgasser tydelig.

Kilder: metoffice.gov.uk, ncdc.noaa.gov, data.giss.nasa.gov

Kurverne skal vendes

Hvis opvarmningen skal holdes under 2 grader, er der et snævert råderum for udledning af mere CO₂



Verdens samlede udledninger af CO₂ fra forbrænding af kul, olie og naturgas (øverst) og udledningerne fra de rige lande (nederst). Hvis de globale udledninger begrænses til 1.000 milliarder tons fra år 2000 til 2050 (øverste punkterede linje), er der 75 procents chance for at undgå en global opvarmning på mere end to grader. Jo senere kurven vendes, jo stejlere skal den gå nedad. Men verdens befolkning vokser, og mange fattige har ikke engang elektrisk lys. De rige lande udleder langt mere CO₂ pr. indbygger end resten af verdens lande. I figuren ovenfor begrænser de rige lande deres udledninger med 40 procent i år 2020. Derved får de andre lande mulighed for at øge udledningerne en smule. Men også de skal hurtigt bremse op. I 2030 er udledningen pr. indbygger i alle lande lidt over 2 tons. Rige lande er her defineret som lande der ikke er med på OECD's liste over mulige modtagere af udviklingsbistand, DAC-listen

Kilder: cdiac.ornl.gov, eia.doe.gov, pbl.nl, un.org/esa/population
Malte Meinshausen et al: Nature 458, 30 april 2009

3.

Afdæmpet vækst – faldende energiforbrug

Hvis man sparer på energien og bruger den effektivt, er det i princippet muligt at 'afkoble' energiforbruget fra den økonomiske vækst. Og ved at bruge vedvarende energi, kan man 'afkoble' CO₂-udledningerne fra energiforbruget. Men hvis man hele tiden anskaffer flere apparater og større boliger og kører mere i bil, bliver de samlede udledninger ikke mindre.

I dette scenarie er der regnet med en vis vækst. Men det antages, at væksten i det energikrævende forbrug efterhånden bliver mindre. Det gælder både brugen af elektriske apparater, bygninger og transportmidler.

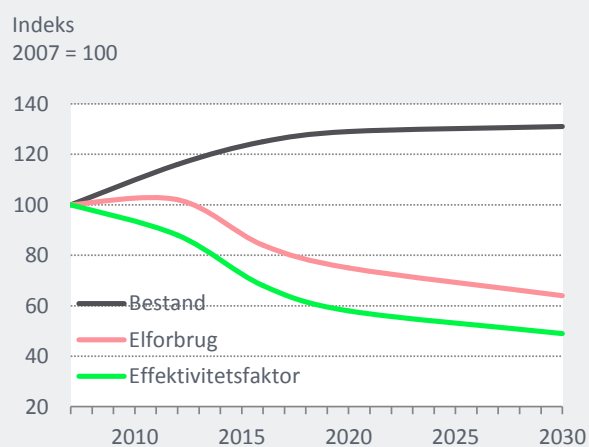
Mængden af elektriske apparater og andet elektrisk udstyr antages at stige 30 procent i gennemsnit for husholdninger, institutioner og erhverv. Alligevel vil deres forbrug af el falde, efterhånden som de gamle apparater skiftes ud med nye, der er mere effektive. Der er ikke regnet med nye teknologiske gennembrud. Men det er nødvendigt at skærpe gældende energikrav og støtte udbredelsen af det mest effektive udstyr med økonomiske incitamenter.

Arealet af opvarmede rum, både i boliger og erhverv, vokser 12 procent. Men varmemeforbruget falder langt mere. Det skyldes, at der i dette scenarie satses stærkt på at forbedre energistandarden både i nye og gamle bygninger. Nye bygninger kan i dag bygges sådan, at de næsten ikke behøver at få tilført energi udefra. Derfor er bygningsreglementet strammet – og det kan med fordel strammes yderligere. Men det, der tæller mest, er renovering af de gamle bygninger. I scenariet er der regnet med store investeringer i bedre isolering og varmeanlæg, varmegenvinding og udnyttelse af solindstrålingen i de eksisterende boliger og bygninger. Grundig energirenovering kan betale sig. Men der er mange barrierer at overvinde.

Industriens produktion antages at vokse 23 procent, målt i mængder. Det antages, at industrien lige som de øvrige sektorer sparer energi til opvarmning og elektriske apparater – og også effektiviserer de industrielle processer. Virkningen af, at særligt energikrævende produktion måske bliver flyttet bort fra Danmark, sådan som tendensen hidtil har været, er ikke medtaget.

Elektriske apparater

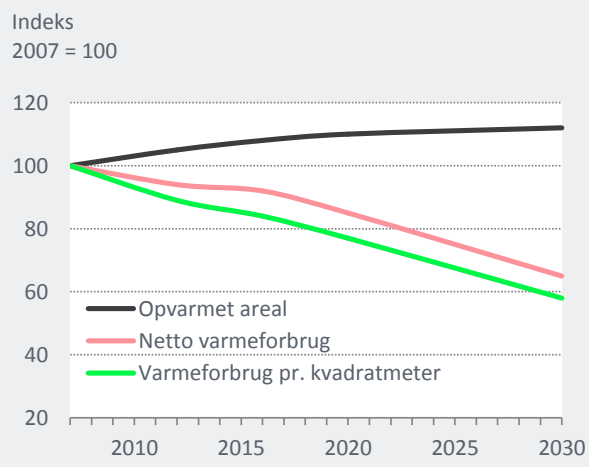
Antallet og ydelserne vokser - elforbruget falder



Det gennemsnitlige elforbrug pr. apparat fordobles. Da bestanden af apparater kun vokser 30 procent, falder det samlede elforbrug

Bygninger

Flere kvadratmeter kan varmes op med mindre energiforbrug fordi bygningerne forbedres



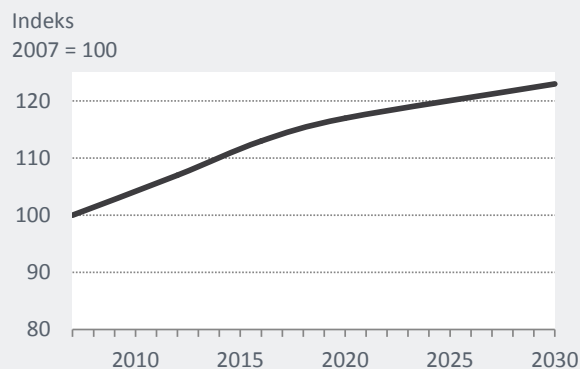
På transportområdet er der regnet med, at den nuværende stigning gradvis tager af. Godstransporten stiger 25 procent og persontransporten 11 procent frem til 2020, derefter falder de begge svagt. Kørsel med personbiler kan påvirkes ved at prioritere de kollektive transportmidler, påvirke priserne og ændre byernes struktur, boligpolitikken og den økonomiske politik sådan, at flere kommer til at bo tæt ved deres arbejde. Varetransporten kan blandt andet begrænses ved at ændre forbrugsmønstre og udnytte transportmidlerne bedre.

Hvis væksten i det energikrævende forbrug bliver mindre end her antaget, vil det være mere overkommeligt at sænke CO₂-udledningerne og frigøre Danmark fra afhængigheden af fossile brændsler. Hvis væksten bliver større, vokser både prisen for at omstille energisystemet og de tekniske vanskeligheder ved at gøre det.

Fremtidens pris på olie, naturgas og kul er af stor betydning for økonomien i projektet. Det er prisen på råolie, der slår takten an på det internationale energimarked. Priserne på raffinerede olieprodukter, naturgas og kul følger olieprisen, om end i en lavere takt. I de seneste ti år er olieprisen steget kraftigt, også selv om man vil se bort fra de store udsving i 2008, hvor olieprisen først steg brat og derefter faldt endnu mere brat som følge af den internationale finanskris. De samfundsøkonomiske beregninger er foretaget med to sæt antagelser om energipriserne.

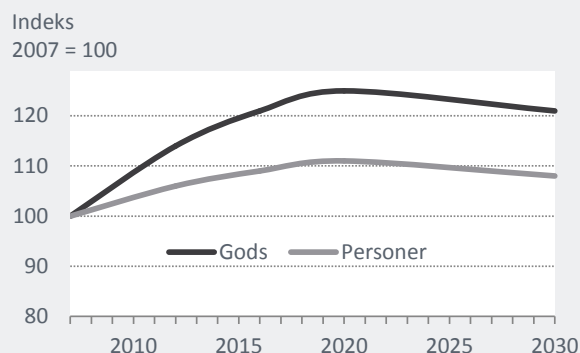
Industriel produktion

Mængden af produkter antages at vokse lidt mere end 20 procent i løbet af perioden



Transport

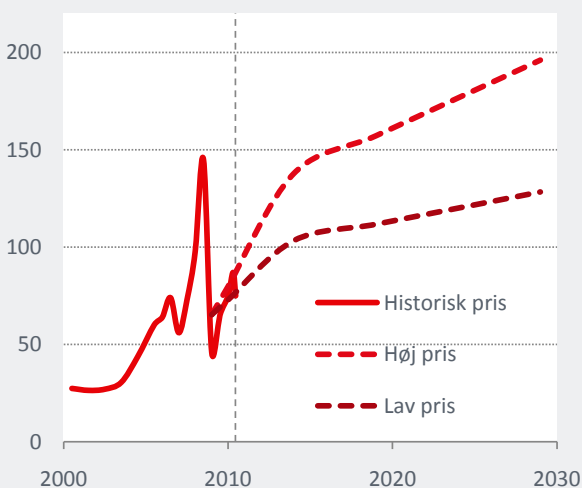
Den kraftige stigning i transport af personer og varer fortsætter i nogle år, men tager så af



Oliepriserne stiger

Scenarier er regnet igennem både med en høj og en lav olieprisstigning

Råoliepris i US\$/tønde:



SESAM lukker op

Scenariet er beregnet ved hjælp af multiscenariemodellen SESAM (Sustainable Energy Systems Analysis Model).

At gøre Danmark fri af den fossile afhængighed er en teknisk og økonomisk udfordring. Alt i alt skal der investeres beløb i størrelsesordenen 1.000 milliarder kroner i løbet af de kommende 20 år. For at tilrettelægge overgangen hensigtsmæssigt og undgå fejlinvesteringer og spild af energi, må man vide, hvordan de enkelte dele af energisystemet virker sammen i hele forløbet.

Denne viden er indhentet ved hjælp af SESAM. Modellen består af et computerprogram, der kan simulere samspillet mellem de mange forskellige energikilder, de forskellige former for energiomsætning og transmission og forbruget af energi i bygninger, industri og transportmidler. Dertil er knyttet en database med fysiske og strukturelle data for landets 64 byer og byområder, landsbyerne og landdistrikterne.

Ved at beskrive flow'et af energi gennem hele systemet, sørger modellen beregningsmæssigt for, at der på alle tidspunkter af døgnet og året er tilstrækkelig effekt til at levere den varme og elektricitet, der er brug for.

På forbrugssiden tager SESAM's database udgangspunkt i forbruget af el og varme i 2007 og ændrer det med de nye investeringer hen over den beregnede periode frem til 2030 ud fra forudsætningerne om de kommende års vækst og effektiviseringer. På forsyningsiden beskriver modellen samspillet mellem de mange forskellige energikilder og energiomsætninger efterhånden som energisystemet forandres.

Ud fra data om anlægspriser, vedligeholdelsesudgifter, afskrivninger og brændselspriser kan modellen beregne de samlede omkostninger ved forskellige scenarier – og følsomheden over for ændringer af priserne.

Med programmet kan man sammenligne forskellige scenarier, baseret på forskellige forudsætninger om den materielle vækst, energibesparelser, effektivisering og valg af energiteknologier.

SESAM-modellen

Databasen i modellen indeholder specifikationer af alle elementer i det nuværende energisystem og vekselvirkningerne mellem dem. Modellen kan beregne, hvad der sker, når man ændrer disse størrelser og deres sammenhæng. Den kan også beregne hvor meget brændsel og brændstof der bruges, og hvor stor en udledning af CO₂ det medfører. Desuden kan modellen bruges til økonomiske beregninger af investeringer, drift og vedligeholdelse, afskrivninger og brændselsudgifter. I scenarierne indgår:

Energikilder

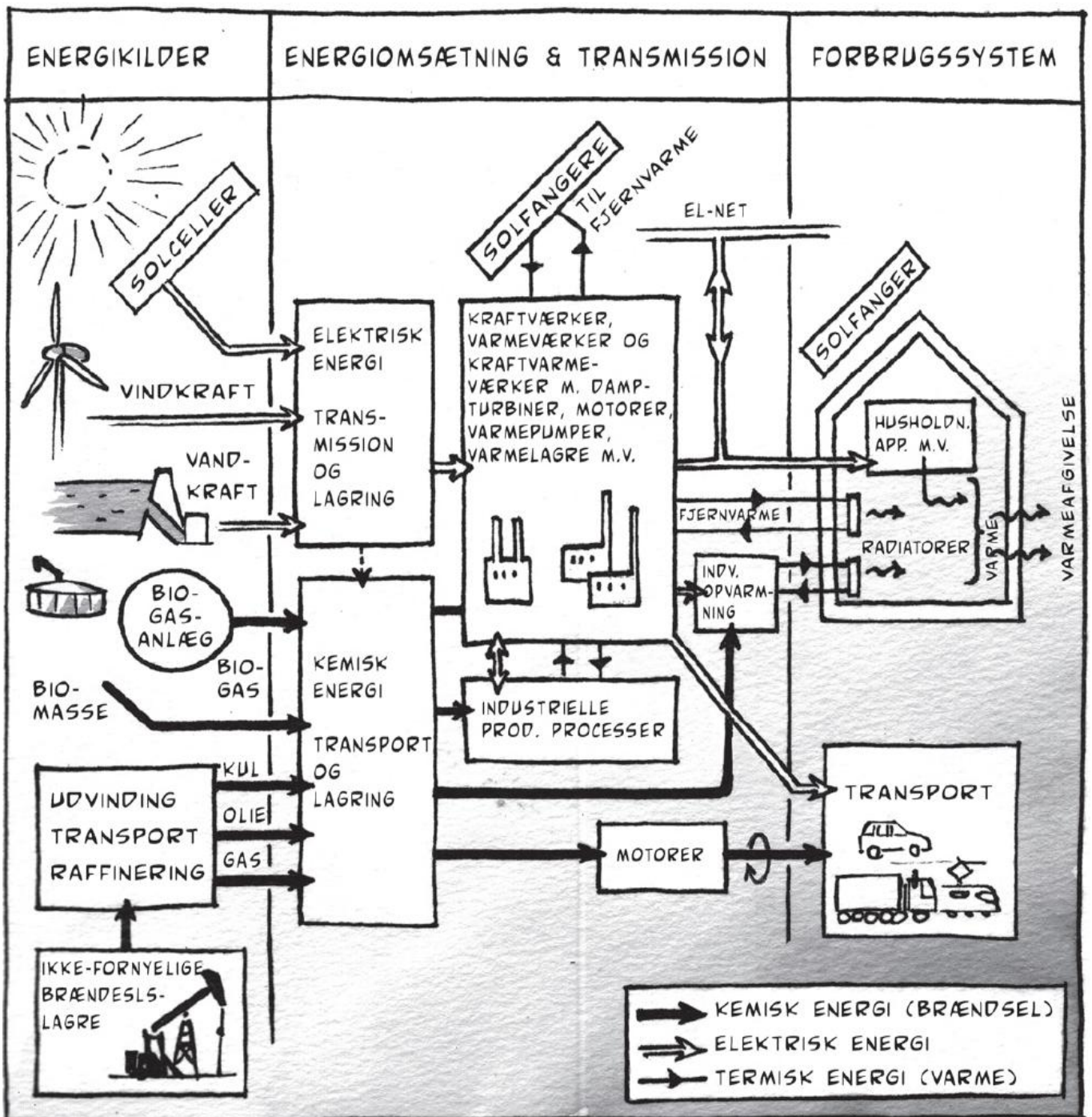
- Vedvarende: vindkraft, solceller, vandkraft, solfangere, geotermisk energi.
- Fornyelige: biomasse, biogas, organisk affald.
- Fossil energi: Kul, olie og naturgas.

Energiomsætning og transmission

- Fælles forsyningsanlæg: kraftværker, fjernvarmeværker, små og store kraftvarmeværker, industriel kraftvarme, varmepumper, solfangere, anlæg til udnyttelse af geotermisk energi mv.
- Individuelle forsyningsanlæg: varmekedler til olie, naturgas eller biomasse, solfangere, varmepumper, mikrokraftvarme mv.
- Anlæg til at lagre elektrisk energi eller konvertere elektricitet til kemisk energi f.eks. fremstilling af brint til køretøjer ved hjælp af elektrolyse.
- Energinet: el, fjernvarme, naturgas.

Forbrugssiden

- Bygninger: Opvarmning og drift af elektriske apparater både i boliger og erhvervsbygninger.
- Industriel produktion
- Transport af personer og varer, både individuelt og kollektivt.



5.

Fremtidens energisystem skal skabes nu

Fremtidens energisystem skal tilfredsstillere menneskers behov uden at destabilisere klimaet og undergrave vores sikkerhed og eksistensgrundlag på længere sigt. Jo før vi gør os fri af fossil energi, jo bedre er vi stillet. Vedvarende energi er et middel hertil, men de vedvarende energikilder varierer i deres egen takt: som vinden blæser, som solen skinner og som planterne gror. Menneskers behov for energiydelser varierer i en anden takt. Udfordringen er at udnytte de forskellige energikilder bedst muligt, omforme energien så den bliver til størst nytte og bruge så lidt energi som muligt til hvert enkelt formål.

I den fossile æra har vi vænnet os til at ødsle med energien. Energikilderne blev brugt hver for sig til at frembringe varme, kraft (bevægelsesenergi) og elektricitet. Derved gik megen energi til spilde. Men så længe de fossile brændsler var billige og rigelige, gjorde det ikke så meget. Nu er den billige olies tid forbi. Vi skal økonomisere med energien og tænke på sammenhængen i hele systemet. Det er i dag tydeligt, at et velfungerende energisystem, der udnytter knappe ressourcer uden spild, er en forudsætning for et velfungerende samfund.

Hvis Danmark ikke kan løse den opgave, er der ingen, der kan. Vi har de tekniske midler og den økonomiske formåen. Vi har allerede en høj andel af vindkraft – og en god tradition for at udnytte overskydende varme fra elproduktion til fjernvarme.

En høj andel af flukturerende, vedvarende energi er nødvendig for at nedbringe forbruget af fossile brændsler. Men systemet skal også virke, når der ikke kommer energi fra disse flukturerende energikilder. Derfor vil det stadig være nødvendigt – om end i aftagende grad – at fremstille el ved hjælp af generatorer, der drives af kraft fra en damp turbine eller en forbrændingsmotor, stor eller lille. Man opnår en stor forbedring af systemets samlede effektivitet ved at udnytte kølevandet fra disse kraftmaskiner til opvarmning i stedet for at bruge olie, naturgas og andre brændsler direkte til opvarmning i fyr og kedler.

Men med et sådant system vil der opstå situationer med overproduktion af el, især på blæsende og kolde dage. Varmepumperne løser en del af dette problem.

Tilbage til den naturlige energi

Klimaet er Jordens energisystem. Energibalancen er bestemt af forholdet mellem Solens indstråling af lys og Jordens udstråling af varme. En del af solstrålerne kastes tilbage i rummet. Resten opsuges og bliver til varme eller elektrokemisk energi (i planternes fotosyntese). Varmen forlader Jorden igen. Hvor hurtigt det sker, afhænger især af temperaturerne og af atmosfærens indhold af vanddamp, skyer, CO₂ og andre drivhusgasser. Klimaets vekslende temperaturer er den drivkraft, der skaber højtryk og lavtryk, vinde og havstrømme, fordampning og nedbør, tøj og frost, tørke og fugt, bække og floder. Alt sammen på en måde der giver mulighed for liv på Jorden.

Frem til 1800-tallet har mennesker udviklet deres samfund ved at nyttiggøre den energi, der er til rådighed i klimasystemet: Planternes og dyrenes vækst, solens direkte og indirekte varme, vandstrømme og vinde. Grænserne var sat af naturens betingelser og menneskers opfindsomhed. Ressourcerne blev hele tiden fornyet, undtagen når man ryddede skove, udryddede dyr eller udpinte agerjord. Nu har mennesket på rekordtid bragt Jordens klima ud af balance ved at forbruge en ressource, der blev bygget op gennem millioner af år ved algers og andre planters vækst: de fossile brændsler.

Billig olie, gas og kul gjorde det muligt at bruge energi uden at tage hensyn til naturens kredsløb. Det så ud til at produktion og forbrug kunne vokse frit og grænseløst, uafhængigt af naturens luner og de lokale forhold. Fråds og energispild blev anset for mindre problemer indtil oliekriserne i 1970'erne og 80'erne.

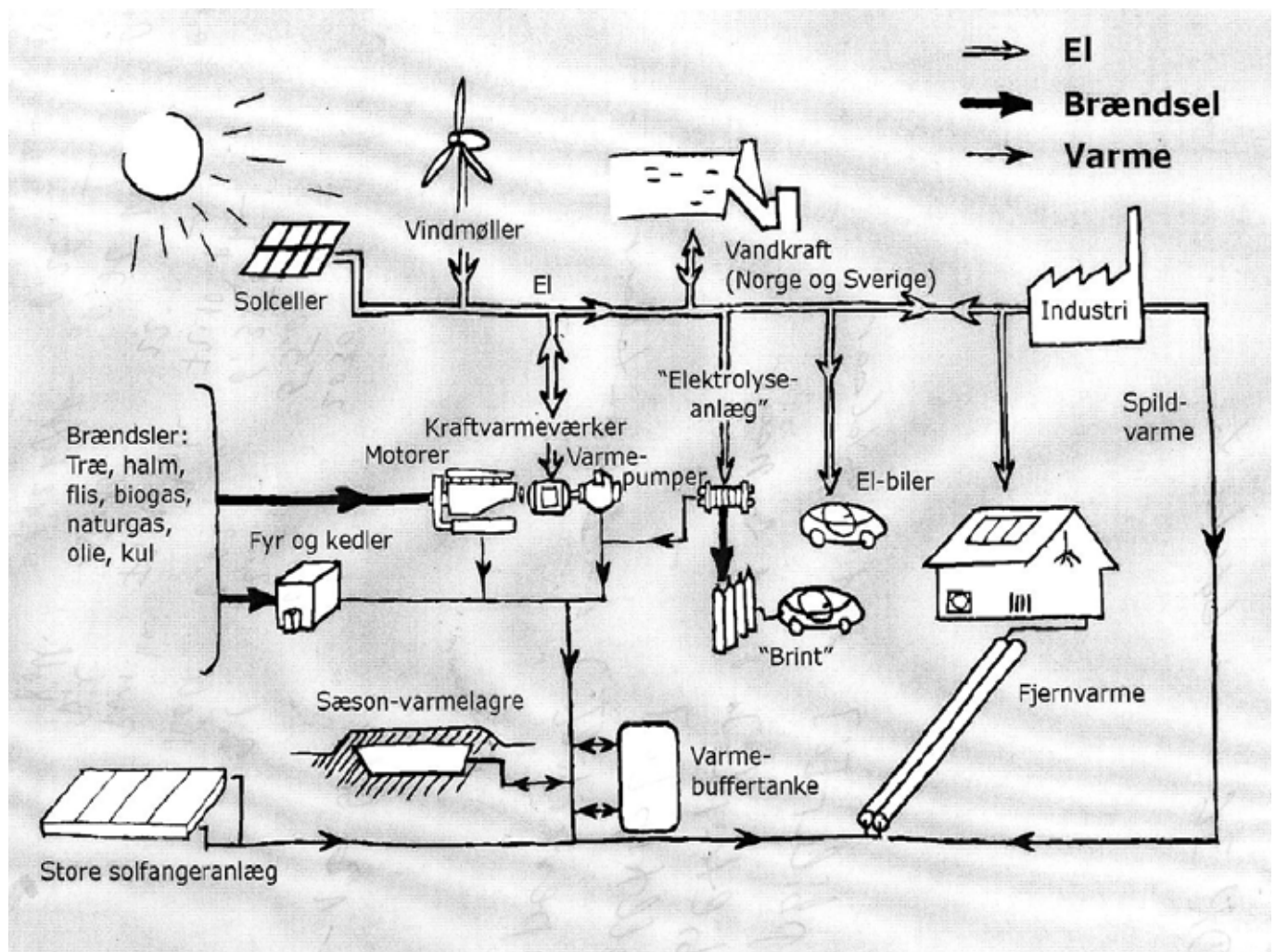
I dag ved vi, at det ikke kan blive ved. Og vi har teknologier til at skabe moderne energisystemer, der igen passer sammen med Jordens eget energisystem.

De store varmepumper på kraftvarmeværkerne slås til, når der er overskud af el i det samlede system. Samtidig sænkes kraftvarmeproduktionen og dermed brændselsforbruget. Det bidrager effektivt til at regulere forholdet mellem kraft og varme.

Fremstillingen af brint ved elektrolyse tjener på samme måde et dobbelt formål: Dels at udnytte overskydende strøm fra vindmøllerne, dels at producere et drivmiddel, der formindsker behovet for diesel i tungere transportmidler. På figuren er elektrolyse dog sat i anførselstegn, fordi der også kan blive tale om andre teknologier til lagring af elektrisk energi og frembringelse af alternative drivmidler.

Det vil være en fordel at udveksle strøm med Norge og Sverige, fordi vandkraft er et energilager, der egner sig glimrende til at udligne variationerne i vindkraft. I dette scenarie er udvekslingen dog meget begrænset. Scenariet viser, at et nationalt afgrænset bæredygtigt energisystem er en teknisk realisabel og samfundsøkonomisk fordelagtig mulighed.

Greenpeace har også udarbejdet et nordisk scenarie og et scenarie for EU, se www.greenpeace.org/denmark/kampagner/klima/energiscenarier



6.

Scenariet: En effektiv nedtrapning

Med årene bliver der flere lyskilder og mere elektronik, flere elektriske apparater og maskiner. Men deres elforbrug falder mere end ydelserne vokser. Det giver mulighed for at bruge mere el til transport.

Direkte elvarme er den mindst effektive måde at opvarme huse på. Den afskaffes derfor næsten fuldstændigt. Det øvrige elforbrug i husholdningerne, erhvervene og den offentlige sektor nedtrappes med en tredjedel.

Til transport bruges mere el i stedet for flydende brændstof. Det forøger transportmidlernes energieffektivitet og nedbringer CO₂-udledningerne. Elektriciteten bruges til drift af jernbaner, letbaner, sporvogne, trolleybusser og metro og til opladning af batterier i elbiler. For at nyttiggøre overskydende strøm og nedbringe CO₂-udledningerne fra transporten yderligere, fremstilles brint ved elektrolyse – især beregnet til tunge køretøjer.

Vindmøllernes andel af elproduktionen vokser stærkt. I år 2030 er vindmøllernes kapacitet fordoblet og halvdelen af elektriciteten kommer fra vindkraft. I den sidste del af perioden installeres der også mange solceller. De dækker dog kun fem procent af elproduktionen i 2030.

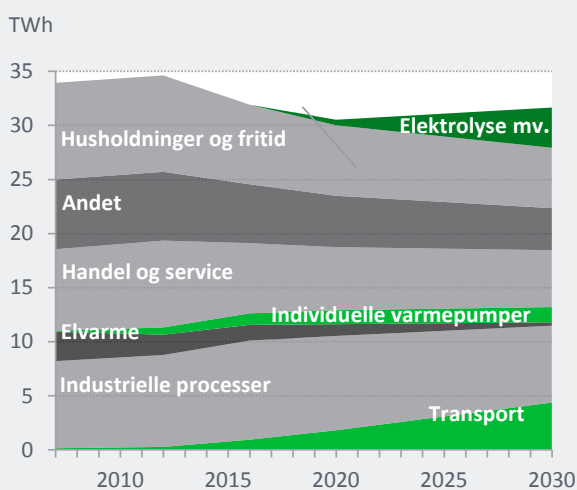
Kraftværker, der kun producerer el, mens varmen går til spilde, bliver næsten helt udfaset. Nogle kraftvarmeværker er nødvendige på vindstille og kolde dage, men i gennemsnit vil værkerne blive benyttet i færre og færre timer pr. år. Det gælder især de centrale kraftvarmeværker i de store byområder med fjernvarme.

Behovet for energi til opvarmning falder i takt med, at bygningerne og deres varmeanlæg forbedres til lavenergistandard. Det medfører i sig selv en reduktion af brændselsforbruget og CO₂-udledningerne. Dertil kommer, at hele energisystemets samlede effektivitet stiger, når både kraft- og varme udnyttes bedre.

Danmark er i forvejen kendt for samproduktion af el og varme.

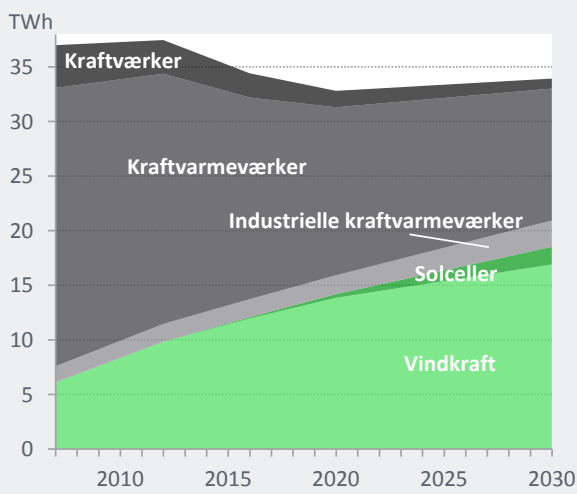
Forbrug af elektricitet

Det traditionelle elforbrug falder (de grå felter). Der er mere el til rådighed for transport og opvarmning



Produktion af elektricitet

Brugen af de store kulkraftværker begrænses og vindkraft overtager efterhånden halvdelen af elproduktionen



Den overskydende varme fra de turbiner og motorer, der driver elgeneratorerne, bliver udnyttet som fjernvarme. Der er godt for klimaet, miljøet og økonomien, at varmen ikke går til spilde, som det sker i de fleste andre lande. I scenariet forstærkes denne samproduktion af el og varme.

Fjernvarmenettene udvides og temperaturen på det varme vand, der sendes ud til forbrugerne, sænkes, efterhånden som bygningerne bliver bedre isoleret og derfor kan opvarmes med vand ved en lavere temperatur.

På kraftvarmeværkerne tjener store varmepumper til at regulere forholdet mellem el og varme. De sættes især i gang på kolde dage med kraftig vind. En del af den overskydende elektricitet i det samlede system bliver derved udnyttet til at producere fjernvarme og spare brændsel.

I årets koldeste måned, januar, vil varmepumperne på de centrale værker levere halvdelen af fjernvarmen i 2030. Især udnytter de energien effektivt, når temperaturen er forholdsvis høj, der hvor varmen optages.

Derfor bruges de også til at udnytte geotermisk energi og solvarme. Visse steder i Danmark kan man ved boringer i 1 - 3 kilometers dybde hente 30-90 grader varmt vand op fra undergrunden. Noget af denne varme kan bruges direkte i fjernvarmenettet. Resten udnyttes af varmepumper, som der ved bidrager endnu mere til at sænke brændselsforbruget.

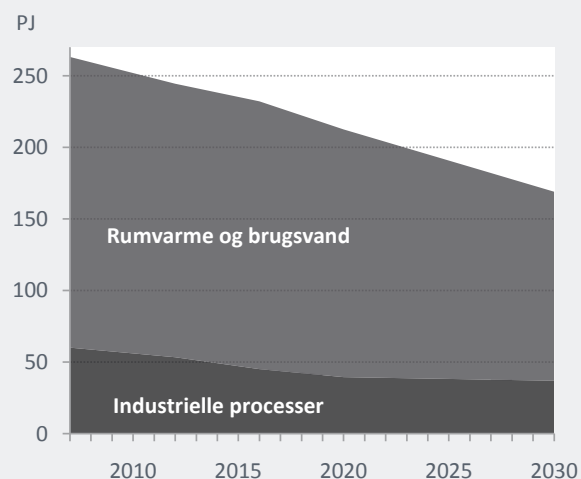
I slutningen af perioden regnes der også med store varmebassiner, der varmes op med solfangere sidst på sommeren og anvendes senere af varmepumper.

Også i områder uden fjernvarme opvarmes bygninger i stigende grad ved hjælp af individuelle varmepumper. Dertil kommer andre vedvarende eller fornyelige varmekilder, f.eks. solfangere og træ.

I naturgasområder installeres mini-kraftvarmeværker i enkelte bygninger og mindre bebyggelser med fælles varme anlæg,

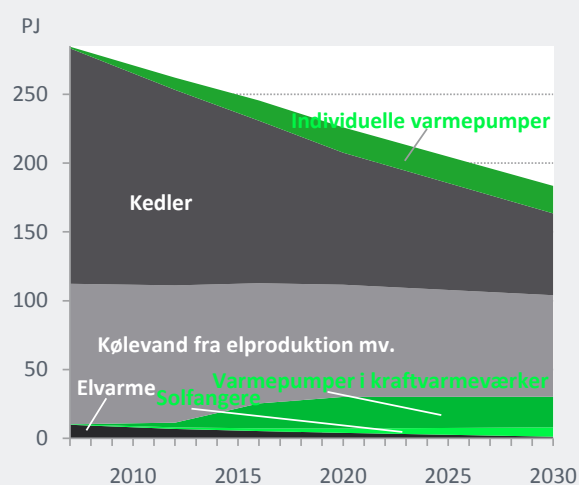
Forbrug af varme

Forbedring af bygningerne sparer varme



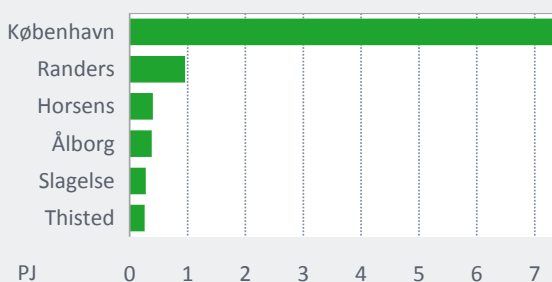
Produktion af varme

Ved at hæve effektiviteten i energisystemet kan varmeproduktion i fyr og kedler begrænses



Geotermisk energi

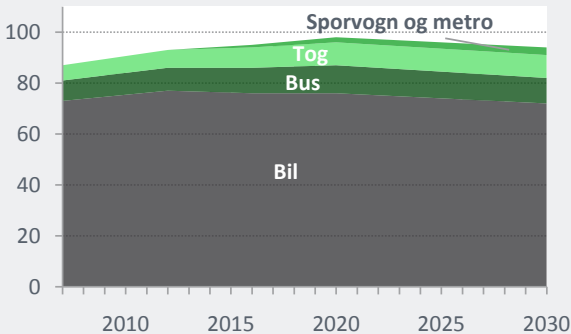
Varme fra undergrunden benyttes til fjernvarme, når kølevarmen fra kraftvarmeværker ikke er tilstrækkelig til at dække fjernvarmebehovet. Det forøger varmepumpenes effektivitet



Persontransport

Bilismen dæmpes i forhold til kollektiv transport

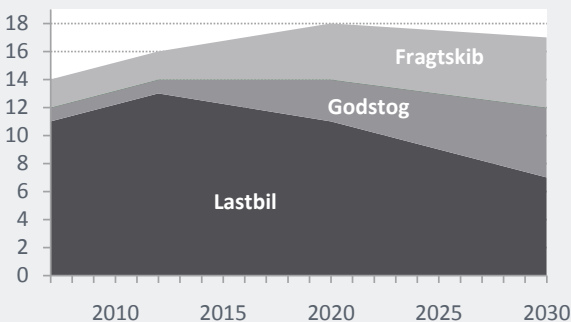
Milliarder personkilometer



Godstransport

Flere varer transporteres med godstog og skib

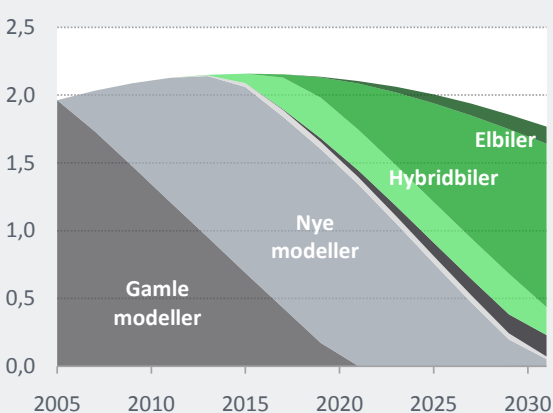
Milliarder tonskilometer



Bilparken

Efterhånden skiftes bilerne ud. Strøm fra nettet kan blive drivkraften i halvdelen af bilkørselen fra 2030

Antal biler, millioner



I begyndelsen erstattes de gamle biler med nye, der kører lidt længere på literen, men efterhånden trænger plug-in hybridbiler (der kan lades fra nettet) og rene elbiler ind på markedet. Det antages at halvdelen af deres drivmidler i 2030 er el fra nettet.

f.eks. skoler, institutioner og klyngehuse. Varmen bruges lokalt, strømmen sendes på elnettet.

Disse forandringer medfører tilsammen, at al direkte elvarme og to tredjedele af varmen fra kedler og fyr kan undværes. Nedtrapningen prioriteres sådan, at de fleste oliefyr og store oliefyrede kedler udgår.

Forbruget af olieprodukter til transport begrænses med 11 procent i år 2020 og 58 procent i år 2030. Det kan lade sig gøre ved at satse på el som drivmiddel i stedet for flydende brændstof. Den kollektive transport med tog, bus, metro og sporvogn, vokser i forhold til den private bilkørsel. Jernbanerne elektrificeres. De første nye sporvogne kommer i drift omkring år 2016. En del af bybusserne skiftes ud med trolleybusser.

De nuværende personbiler udskiftes i første omgang med modeller, der kører længere på literen, men efterhånden mere og mere med hybridbiler af plug-in-typen, dvs. biler, der både har elmotor og forbrændingsmotor. Batterierne kan lades op fra nettet eller af en motordreven generator og bremseenergi mens man kører. Det antages at hybridbilerne drives af el fra deres batterier i halvdelen af tiden. Efter 2020 antages det, at rene elbiler i stigende omfang trænger ind på bilmarkedet. Scenariets virkeliggørelse afhænger af, hvornår bilfabrikkerne omstiller deres produktion.

En stor del af godstransporten omlægges fra lastbil til bane og skib, sådan at 60 procent af den samlede mængde er overtaget af godstog og coastere i år 2030.

Elektriske biler kan udnytte energien tre-fire gange så effektivt som biler med forbrændingsmotor. Det skyldes, at varmetab aldrig kan undgås med forbrændingsmotorer – og at elektriske motorer kan udnytte bremseenergien. Noget tilsvarende gælder for elektriske tog, letbaner, sporvogne og trolleybusser. Bioethanol (sprit) og biodiesel (planteolie) er et meget dårligt alternativ, som derfor ikke indgår i scenariet. I Danmark er der kun begrænset biomasse til rådighed, og CO₂-reduktionen er

3-4 gange større ved at bruge biomasse som brændsel i stedet for kul i kraftvarmeværker. På verdensplan påvirker stigende produktion og forbrug af biobrændstoffer både miljø og fødevarer sikkerhed negativt.

Elektriske transportmidler passer godt til et energisystem med mange vindmøller. Det gælder især, hvis batterierne lades op, når der er meget vind, eller om natten, hvor der ikke er behov for strøm fra vindmøllerne til så mange andre formål. En yderligere gevinst kan opnås, hvis nogle af bilejerne automatisk sælger en del af strømmen fra deres batterier om dagen på de tidspunkter, hvor elforbruget topper.

Et hovedresultat er, at Danmarks forbrug af fossile brændsler nedtrappes til en tredjedel i 2030. Brugen af kul er praktisk talt hørt op, olie bruges næsten kun som brændstof i de biler, der stadig har forbrændingsmotor. Forbruget af naturgas reduceres med 24 procent.

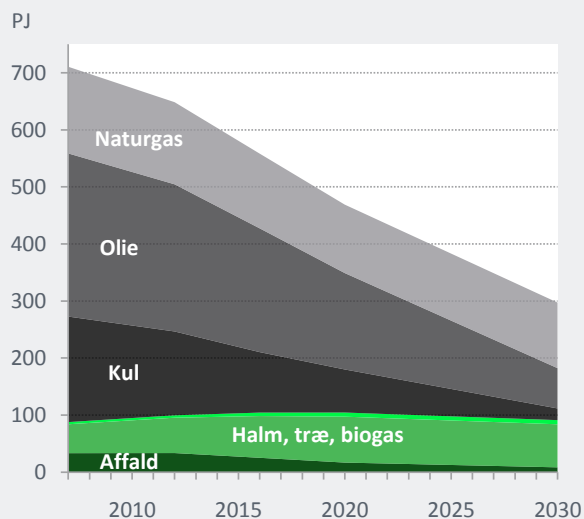
Nedtrapningen af CO₂-udledningerne er endnu større, fordi kul medfører større udledninger end olie og naturgas i forhold til brændværdien. De samlede udledninger fra faste anlæg og transportmidler reduceres med 46 procent i år 2020 og 73 procent i år 2030 i forhold til 1990.

Dette reduktionsbidrag fra energisektoren muliggør, at Danmark kan nedbringe udslippet af samtlige drivhusgasser med mindst 40 procent i 2020 i forhold til 1990. Et mål som de rige lande skal opfylde, for at der er en rimelig chance for at holde stigningen i den globale middeltemperatur under 2 grader i forhold til præindustrieltid.

Den sidste del af vejen mod et dansk energisystem, der er uafhængigt af fossile brændsler og baseret helt på vedvarende energi, er en stor udfordring. Men det er realistisk at nå målet ved at fortsætte omlægningerne i transportsektoren, forbedringen af bygningerne og energieffektiviteten i apparater og udstyr, el- og varmeproduktion og styringen af energisystemet. Der vil blive behov for at anvende mere vedvarende energi fra flere vedvarende energikilder, lidt mere biomasse og mere brint eller andre fremtidige muligheder for at lagre elektrisk energi.

Brændselsforbrug

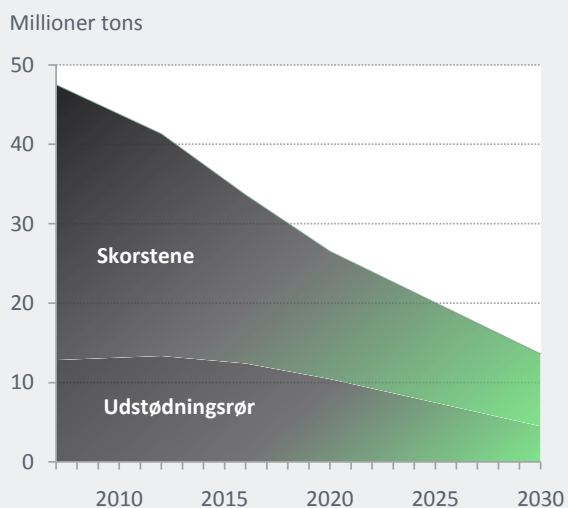
Det samlede forbrug af fossile brændsler falder kraftigt. Brugen af biomasse forøges kun lidt



Det samlede resultat af anstrengelserne er et energisystem med langt mindre behov for fossile brændsler

CO₂-udledningerne

Udledninger fra faste anlæg og transport begrænses 46 procent i 2020 og 73 procent i 2030



Danmark kan dermed leve op til kravet om at begrænse de samlede udledninger af drivhusgasser med mindst 40 procent i år 2020 og sigte mod fuldstændig uafhængighed af fossile brændsler om 30-40 år. Brug af kul fører til større CO₂-udledning end brug af naturgas. Derfor falder de samlede udledninger fra energisektoren endnu mere end det samlede forbrug af kul, olie og gas.

7.

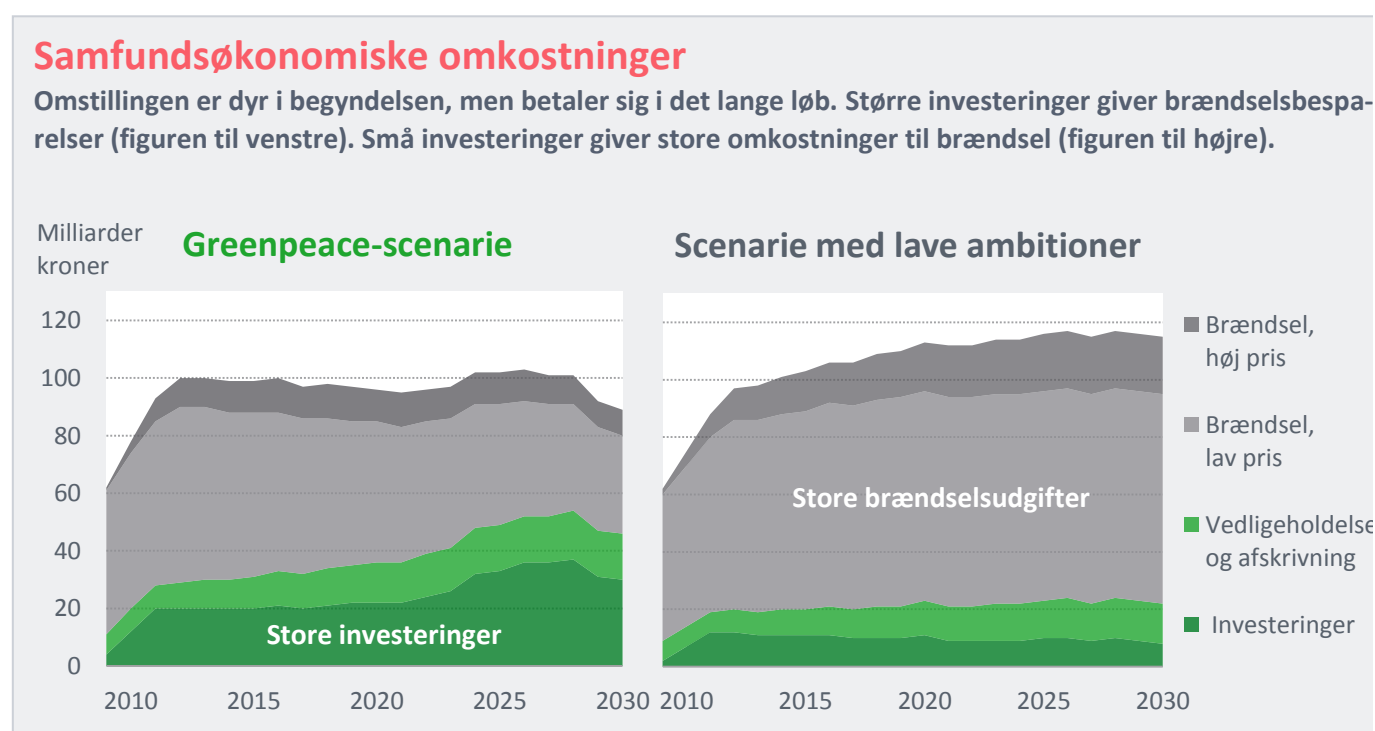
Samfundsøkonomisk giver det overskud

Det er dyrt at bygge et nyt energisystem op. Men det er endnu dyrere at lade være. Nederst på denne side er de samlede udgifter til investeringer, drift og vedligeholdelse i Greenpeace-scenariet sammenlignet med et scenarie, hvor investeringsindsatserne er meget mindre og de danske CO₂-udledninger derfor bliver meget større.

Greenpeace-scenariet er kun dyrest i de første år, indtil virkningen af investeringerne slår igennem. Derefter bliver det billigere, fordi man sparer brændsel. Der er en klar forventning om, at prisen på råolie stiger i fremtiden – og trækker de andre energipriser med op. Hvis olieprisen stiger i samme takt som den har gjort i de seneste ti år (se side 9) vil investeringerne give et overskud på mere end 10 milliarder om året efter 9 år, og det stiger med årene. Hvis olieprisen kun stiger halvt så meget, vil der alligevel være overskud. Selv om man indregner et krav om fem procents forrentning af investeringerne, er der i begge tilfælde alligevel overskud.

Det er ikke særlig realistisk, at Danmark kan sikre sin energiforsyning i et scenarie med lavt ambitionsniveau. Men selv hvis det lykkes, vil man ikke opnå andet end at bruge pengene til indkøb af kul, olie og gas hos de store energiselskaber, frem for at investere dem i en bedre fremtid. CO₂-udledningerne bliver i dette uambitiøse scenarie kun reduceret med 16 procent i år 2020 og 33 procent i år 2030, sammenlignet med 1990. Efter tyve år vil de årlige brændselsomkostninger være 70 – 90 milliarder kroner.

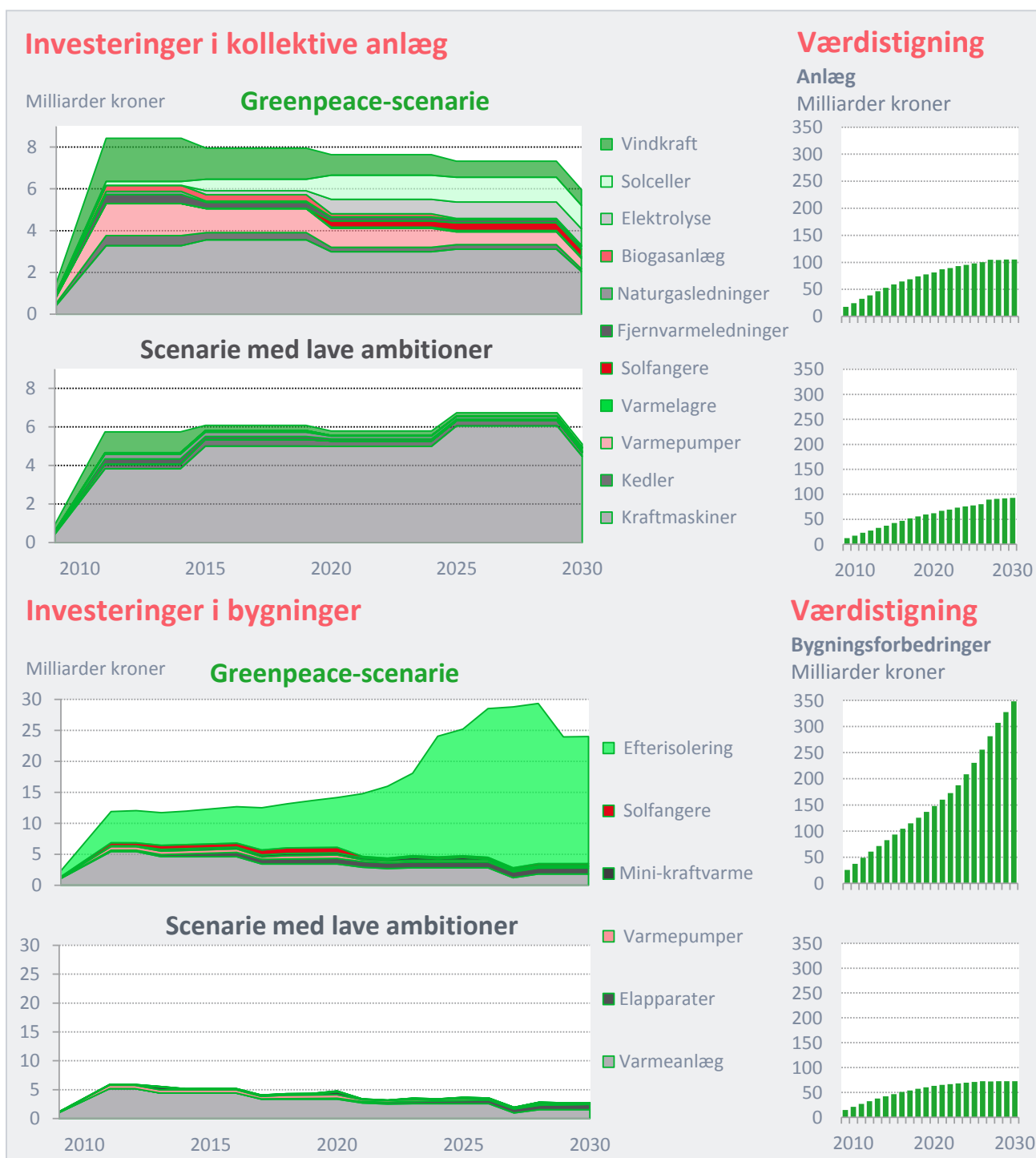
I Greenpeace-scenariet opnår man en langt større CO₂-reduktion. Efter tyve år er brændselsudgifterne halveret og der er et årligt samfundsøkonomisk overskud på 15 – 25 milliarder kroner. Der skabes ca. 25.000 ekstra arbejdspladser og opbygges nye virksomheder og teknologiske styrkepositioner. For ikke at tale om værdien af bedre klima, miljø og sundhed.



Under alle omstændigheder skal der i de kommende år investeres i energianlæg og bygninger. Forskellen mellem de to forløb er især, at der investeres flere penge i vindmøller, varmepumper, solceller, elektrolyseanlæg, biogas og fjernvarmeledninger i Greenpeace-scenariet. Samtidig investeres der langt mere i efterisolering og andre forbedringer af bygningernes evne til at holde på varmen, samt i solfangere og mini-kraftvarmeanlæg. Efter tyve år

vil værdien af de kollektive energianlæg og især værdien af bygningsforbedringerne derfor være større end i scenariet med lavt ambitionsniveau.

En del af det samfundsøkonomiske overskud skal investeres på transportområdet. Også her vil det resultere i varige værdier i form af infrastruktur og transportmidler med høj effektivitet og komfort.



GREENPEACE